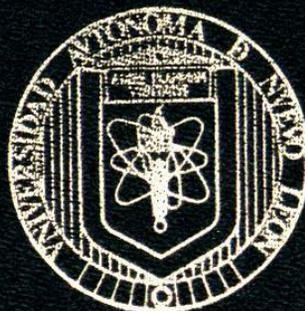


UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFFECTO DE LA INTERACCION
LEGUMINOSA - MATERIA ORGANICA SOBRE
LAS CARACTERISTICAS NUTRICIONALES
DEL SUELO

T E S I S

PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION
AGRICOLA

POR

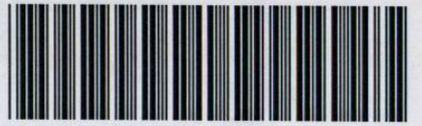
MARIA ALVA ANGEL LARA

TM

S661

.A5

e.1



1080060805

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE AGRONOMIA
SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



EFECTO DE LA INTERACCION
LEGUMINOSA - MATERIA ORGANICA SOBRE
LAS CARACTERISTICAS NUTRICIONALES
DEL SUELO

Ph. D. Rigoberto Vazquez Alvarado
Asesor principal

TESIS

PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN PRODUCCION
AGRICOLA

POR

MARIA ALVA ANGEL LARA

Febrero de 1995

11971 e

TM
5661
AS

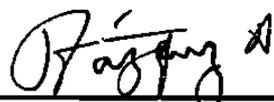


045.631
FAJ
1995
C.5

***EFFECTO DE LA INTERACCION
LEGUMINOSA-MATERIA ORGANICA SOBRE LAS
CARACTERISTICAS NUTRICIONALES DEL SUELO***

T E S I S

**SOMETIDA AL COMITE PARTICULAR COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS
EN PRODUCCION AGRICOLA.**



**Ph. D. Rigoberto Vázquez Alvarado
Asesor principal**



**Dr. Mario A. Ramírez de la Garza
Asesor**



**Ph. D. Rigoberto González González
Asesor**

Febrero de 1995

Dedicatoria

A ustedes, papá y mamá

Sr. Abel Angel López

Sra. Evelina Lara Vallejo

por todo lo que siempre han sido capaces de hacer por mí, y porque este logro, es más logro de ustedes que de nadie.

Con todo mi amor.

A ustedes, mis hermanos

Adán y familia, Judit y familia, Alvaro, Marco e Hiram.

Para mí, los mejores del mundo,

y porque un triunfo de cualquiera de nosotros,

será un triunfo de los demás. Los quiero mucho.

Y a tí, Horacio

porque te amo entrañablemente y porque eres lo que siempre esperé;
y porque sé que cualquier logro personal, nos hace crecer como pareja,
y al crecer juntos, también creceremos como individuos.

Agradecimientos

Al *Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)*.

Al *Dr. Juan Fco. Villarreal Arredondo* por su buena disposición y ayuda para la culminación de la maestría.

Al *Ph. D. Rigoberto Vázquez Alvarado*, asesor principal de la tesis de grado.

Al *Ph. D. Rigoberto González González*, como integrante del comité de tesis y por su colaboración durante el transcurso de los estudios de postgrado.

Al *Dr. Mario A. Ramírez de la Garza*, como colaborador del comité particular de tesis y por su amistad a lo largo de los estudios de maestría.

Al personal, tanto de campo como el de los laboratorios de suelos y de tecnología microbiana, por su ayuda durante el transcurso del trabajo de tesis.

Al *M.C. Maurilio Martínez Rodríguez*, por su amistad brindada, durante el transcurso del postgrado.

A los compañeros de la generación 92-94 de Producción agrícola y Producción animal, porque hicimos un buen grupo.

Y a todas las personas que me consideraron su amiga.

BIOGRAFIA

María Alva Angel Lara, nació en Orizaba, Veracruz el 7 de junio de 1965.

Egresó de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Veracruzana, donde obtuvo el grado de Químico Agrícola en 1990.

Colaboró como asistente de investigador de 1988-1990 en el Laboratorio de Ecología Química en el Centro de Graduados del Instituto Tecnológico de Veracruz (ITV), en Veracruz, Ver.

Colaboró como asistente de investigador en el área Agroecológica del Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste (CIES), en San Cristóbal de las Casas, Chis. durante el periodo de 1990-1992.

Alumna de postgrado, de tiempo completo de 1992-1994 en la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León y candidata para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Producción Agrícola.

INDICE

| Capítulo | Página |
|-----------------------------------------------------------------------------------|--------|
| RESUMEN..... | 1 |
| SUMMARY..... | 2 |
| I. INTRODUCCION..... | 3 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 5 |
| 2.1. Generalidades de los abonos orgánicos..... | 5 |
| 2.1.1. Compostas..... | 6 |
| 2.1.2. Abonos verdes..... | 8 |
| 2.1.2.1. Beneficios de los abonos verdes..... | 9 |
| 2.1.2.2. Características deseables en un abono verdes..... | 10 |
| 2.1.2.3. Plantas convenientes como abono verde..... | 11 |
| 2.1.3. Estiércoles..... | 12 |
| 2.1.3.1. Composición del estiércol..... | 12 |
| 2.1.3.2. Efectos del estiércol..... | 15 |
| 2.1.3.3. Fermentación del estiércol..... | 16 |
| 2.1.3.4. Usos del estiércol y de los abonos verdes..... | 17 |
| 2.2. Generalidades sobre las Leguminosas..... | 20 |
| 2.2.1. Beneficios de las leguminosas..... | 20 |
| 2.2.2. Desventajas de las leguminosas..... | 22 |
| 2.2.3. Frijol tépari (<i>Phaseolus acutifolius</i> var. <i>latifolius</i>)..... | 23 |
| 2.2.4. Trébol hubam (<i>Melilotus alba</i> var. <i>annua</i>)..... | 25 |
| 2.3. Microorganismos del suelo..... | 27 |
| 2.3.1. Bacterias..... | 27 |
| 2.3.1.1. Distribución y abundancia..... | 28 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| 2.3.2. Actinomicetos..... | 29 |
| 2.3.2.1 Distribución y abundancia..... | 30 |
| 2.3.3 Hongos..... | 30 |
| 2.3.3.1 Distribución y abundancia..... | 31 |
| III. MATERIALES Y METODOS..... | 33 |
| 3.1. Localización del sitio experimental..... | 33 |
| 3.2 Abonos orgánicos usados..... | 34 |
| 3.3. Material de siembra y establecimiento del experimento..... | 35 |
| 3.3.1. Trabajo de campo..... | 39 |
| 3.4. Observaciones en la planta..... | 40 |
| 3.5. Muestreo de suelo..... | 42 |
| 3.6. Cosecha..... | 43 |
| 3.7. Trabajo de laboratorio..... | 44 |
| 3.7.1. Análisis químico de suelo..... | 44 |
| 3.7.2. Análisis microbiológico de suelo..... | 45 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSION..... | 46 |
| 4.1. Resultados de la etapa de campo del experimento..... | 46 |
| 4.2. Resultados del análisis químico del suelo..... | 55 |
| 4.3. Resultados del análisis microbiológico del suelo..... | 60 |
| 4.4. Análisis de correlación..... | 61 |
| 4.5 Análisis de regresión..... | 63 |
| V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 64 |
| VI. BIBLIOGRAFIA..... | 67 |
| VII. APENDICE..... | 71 |

INDICE DE CUADROS

| | Pagina |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Cuadro 1..... Composición de la basura municipal (McCalla, 1974). | 7 |
| Cuadro 2..... Algunas de las plantas verdes que se usan como abonos verdes, (Buckman y Brady, 1966). | 11 |
| Cuadro 3..... Composición del estiércol procedente de distintas especies animales y por tonelada de estiércol (Datos de Duley, <i>Missouri Station Bulletin</i> 166). | 14 |
| Cuadro 4..... La composición de los estiércoles animales frescos (L. L. Van Slyke). | 14 |
| Cuadro 5..... Cantidades determinadas de N ₂ fijado por varias especies de leguminosas (adaptada de Heichel, 1987). | 21 |
| Cuadro 6. Efecto de un cultivo previo, sobre el rendimiento de maíz (Langer y Randall, 1981). | 22 |
| Cuadro 7..... Condiciones climatalógicas durante el establecimiento del experimento. | 34 |
| Cuadro 8..... Características químicas de la composta y gallinaza de acuerdo a su procesadora. | 35 |
| Cuadro 9..... Calendarización de las actividades de campo durante el desarrollo del experimento. | 41 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 10..... | 42 |
| Análisis de una muestra compuesta de suelo, antes de establecer los tratamientos. | |
| Cuadro 11..... | 47 |
| Comparación de las medias del área foliar (cm ²) y el peso seco (g) de 15 plantas de frijol. | |
| Cuadro 12..... | 47 |
| Comparación de las medias del altura (cm) de 50 plantas de con frijol. | |
| Cuadro 13..... | 48 |
| Comparación de las medias del altura (cm) de 50 plantas de con trébol. | |
| Cuadro 14..... | 48 |
| Efecto de los abonos sobre el área foliar (cm ²) y el peso seco (g) del trébol. | |
| Cuadro 15..... | 56 |
| Comparación de las medias por tratamiento para el contenido de fósforo (ppm) y de potasio (meq/100 ml). | |
| Cuadro 16..... | 57 |
| Comparación de las medias por tratamiento para el contenido de hierro (ppm) y de manganeso (ppm). | |
| Cuadro 17..... | 58 |
| Comparación de las medias del contenido de fósforo (ppm) y de potasio (meq/100 ml) de acuerdo al tipo de abono utilizado. | |
| Cuadro 18..... | 59 |
| Comparaciones de las medias del contenido de potasio (ppm), de hierro (ppm) y de manganeso (ppm), de acuerdo a la especie de leguminosa utilizada. | |
| Cuadro 19..... | 60 |
| Comparación de las medias del contenido de manganeso (ppm), en los tratamientos con trébol, de acuerdo a las fechas de muestreo. | |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 20..... | 61 |
| Variables con los coeficientes más altos de correlación ($p \leq 0.001$) del conjunto total de variables del experimento. | |
| Cuadro 21 (Apéndice)..... | 71 |
| Interpretación del pH por el método del potenciómetro. | |
| Cuadro 22 (Apéndice)..... | 71 |
| Interpretación del contenido de materia orgánica (Walkley y Black). | |
| Cuadro 23 (Apéndice)..... | 72 |
| Interpretación de la conductividad eléctrica (Puente de Wheastone). | |
| Cuadro 24 (Apéndice)..... | 72 |
| Interpretación del contenido de fósforo (NaHCO_3). | |
| Cuadro 25 (Apéndice)..... | 72 |
| Interpretación del contenido de potasio (NaHCO_3). | |
| Cuadro 26 (Apéndice)..... | 73 |
| Interpretación del contenido de hierro (NaHCO_3). | |
| Cuadro 27 (Apéndice)..... | 73 |
| Interpretación del contenido de cobre (NaHCO_3). | |
| Cuadro 28 (Apéndice)..... | 73 |
| Interpretación del contenido de manganeso (NaHCO_3). | |
| Cuadro 29 (Apéndice)..... | 73 |
| Interpretación del contenido de zinc (NaHCO_3). | |
| Cuadro 30 (Apéndice)..... | 77 |
| Coefficientes de correlación de todas las variables analizadas durante el desarrollo del experimento. | |
| Cuadro 31 (Apéndice)..... | 81 |
| Análisis de varianza del pH. | |

| | |
|----------------------------------------------|----|
| Cuadro 32 (Apéndice)..... | 81 |
| Análisis de varianza de la materia orgánica. | |
| Cuadro 33 (Apéndice)..... | 82 |
| Análisis de varianza del fósforo. | |
| Cuadro 34 (Apéndice)..... | 82 |
| Análisis de varianza del potasio. | |
| Cuadro 35 (Apéndice)..... | 83 |
| Análisis de varianza del fierro. | |
| Cuadro 36 (Apéndice)..... | 83 |
| Análisis de varianza del cobre. | |
| Cuadro 37 (Apéndice)..... | 84 |
| Análisis de varianza del manganeso. | |
| Cuadro 38 (Apéndice)..... | 84 |
| Análisis de varianza del zinc. | |

BIBLIOTECA Agronomía U.A.N.L.

INDICE DE FIGURAS

| | Página |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|
| Figura 1. Esquema de la distribución de los tratamientos en el campo..... | 36 |
| Figura 2. Comportamiento del área foliar (cm ²) en los diferentes tratamientos..... | 49 |
| Figura 3. Comportamiento de la altura (cm) en los diferentes tratamientos..... | 49 |
| Figura 4. Comportamiento del peso seco (g) en los diferentes tratamientos..... | 50 |
| Figura 5. Comportamiento del área foliar (AF) del trébol y del frijol durante el transcurso del experimento..... | 51 |
| Figura 6. Comportamiento de la altura (ALT) del trébol y del frijol durante el transcurso delexperimento..... | 51 |
| Figura 7. Comportamiento de la peso seco (PS) del trébol y del frijol durante el transcurso del experimento..... | 52 |
| Figura 8. Efecto de los tratamientos en la cantidad en ppm de P, Fe y Zn..... | 52 |
| Figura 9. Efecto de de los tratamientos en la cantidad en meq/100 ml de K. | 54. |
| Figura 10. Efecto de la interacción tratamiento-fecha en la presencia del manganeso en los tratamientos con trébol..... | 54 |
| Figura 11. Dinámica de la población de los microorganismos del suelo durante el desarrollo del experimento en función del tiempo y número de colonias..... | 62 |
| Figura 12. Gráfica de la ecuación de regresión lineal encontrada entre el área foliar y el peso seco..... | 62 |

RESUMEN

Seis tratamientos establecidos en el campo experimental, de la FAUANL en Marín, N. L., que involucraron dos tipos de abonos orgánicos, gallinaza y composta de basura, y dos especies de leguminosas, trébol "hubam" (*Melilotus alba* var. *annua*) y frijol "tépari" (*Phaseolus acutifolius* var. *latifolius*), fueron evaluados para determinar el efecto de la interacción leguminosa-materia orgánica sobre las características nutricionales del suelo.

Durante el experimento se evaluaron, área foliar, altura, peso seco y rendimiento de la planta; dinámica de algunas propiedades físicas y químicas en el suelo, como: pH, contenido de materia orgánica, de fósforo, de potasio, de cobre, de fierro, de manganeso y de zinc, así como conductividad eléctrica; y la dinámica poblacional de bacterias, hongos y actinomicetos.

El área foliar, la altura y el peso seco del frijol se vieron más favorecidos por la gallinaza. No hubo diferencias entre abonos para el rendimiento. En el trébol, la gallinaza favoreció a la altura de la planta, pero no existieron diferencias entre abonos para el área foliar, el peso seco y el rendimiento.

En el suelo, se vieron favorecidos los contenidos de fósforo, de potasio, de fierro y de manganeso, para los tratamientos que involucraban al frijol, independientemente del abono utilizado. Sin embargo, existió una tendencia de la gallinaza a favorecer los contenidos de fósforo y potasio en el suelo; y del frijol sobre el trébol a presentar mayor contenido de potasio, fierro y manganeso, en el suelo. No se observó un efecto de interacción leguminosa-materia orgánica sobre las propiedades químicas del suelo. Los microorganismos del suelo no presentaron diferencias entre tratamientos, ni durante el transcurso del experimento.

SUMMARY

Six treatments established in the experimental station of the FAUANL, in Marín, N.L. that considered two manures, hen manure and compost garbage, and two legume species, "hubam" clover (*Melilotus alba* var. *annua*) and "tépari" bean (*Phaseolus acutifolius* var. *latifolius*). Were evaluated to determine, the effect of legume-organic matter interaction in soil nutritional characteristics.

In the experiment were evaluated, leaf area, height, dry matter and yield in the plant; dynamics of some chemical properties of the soil, pH, organic matter, phosphorus, potassium, iron, manganese and zinc contents; furthermore, electrical conductivity and bacteria, fungi, and actinomycetes population dynamics.

The hen manure helped the leaf area, height and dry matter of bean. In the yield, no differences among manures were observed. In clover, the hen manure helped to increase the plant height, but not differences among manures were observed, between leaf area, dry matter, and yield.

In the soil, the phosphorus, potassium, iron, manganese contents were affected positively in all the bean treatments, independently the manure used. However the hen manure showed a tendency to increase the phosphorus and potassium contents in the soil; in the other hand, the bean increased more the potassium, iron and manganese contents than the clover. The interaction between legume and organic matter did not affect the soil chemical properties. About the soil microorganisms there were not differences among treatments, along the evolution of the experiment.

I. INTRODUCCIÓN

La continua e intensa explotación de los suelos agrícolas del país ha contribuido al agotamiento prematuro y quizá irreversible de éstos. La práctica de medidas agronómicas de tipo orgánico, que contribuyan a corregir la capacidad de producción de un suelo agrícola, permitirá subsecuentemente la recuperación y estabilización de la fertilidad del mismo. Situación que se verá reflejada en la calidad y cantidad de los productos agrícolas.

El uso de abonos orgánicos y de plantas de la familia de las leguminosas, que tienen la capacidad de establecer simbiosis naturales con bacterias del suelo, fijadoras de nitrógeno, del género *Rhizobium* y *Bradyrhizobium*, ha sido una práctica agronómica común entre los agricultores de bajos insumos, sin embargo, el constante desarrollo tecnológico en la agricultura, ha contribuido a una gradual pérdida de este conocimiento. Esto tiene un efecto determinante en la degradación del suelo, por la creciente demanda de una mayor producción agrícola. Así, es necesario, considerar este tipo de prácticas agronómicas en pro de la conservación de los suelos agrícolas del país. Debido a que, la práctica constante de este tipo de insumos contribuirá a optimizar el recurso suelo no solo para un ciclo de cultivo sino también para ciclos agrícolas posteriores.

La composta y la gallinaza son abonos orgánicos de fácil adquisición, ya que en la actualidad existen plantas productoras de estos insumos a nivel industrial. Su costo no es más elevado que el de cualquier fertilizante químico, pero su beneficio sí supera a éstos

por la capacidad de su efecto residual, manteniendo y mejorando la fertilidad del suelo, beneficiando aún a cultivos de ciclos agrícolas posteriores.

El trébol hubam (*Melilotus alba* var. *annua*) es una variedad de reciente introducción a la zona. Además, de los beneficios que otorga al suelo por la simbiosis que establece con las bacterias fijadoras de nitrógeno por ser una planta leguminosa, su aceptable contenido de proteína la ubican como una opción muy aceptable para ser utilizada como forraje en ganado, aunado a su uso más común, el de abono verde.

El frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* var. *latifolius*) es una leguminosa de buenas expectativas para las zonas de bajos temporales, ya que su resistencia a la falta de agua y a las altas temperaturas permite su éxito en éstas zonas. Su grano, con alto contenido de proteína y buena digestibilidad lo muestran como una opción adecuada en la dieta humana. Su follaje, además de mostrar la opción de ser utilizado como abono verde, puede ser utilizado como forraje en ganado.

Los objetivos de este trabajo son los siguientes:

1. Evaluar la interacción de dos tipos de abonos orgánicos, composta y gallinaza, con dos leguminosas, trébol "hubam" (*Melilotus alba* var. *annua*) y frijol "tépari" (*Phaseolus acutifolius* var. *latifolius*).

2. Evaluar los efectos de los abonos en algunas características nutricionales del suelo, de acuerdo a sus propiedades químicas y biológicas.

Para llevar a cabo esta investigación se plantearon las siguientes hipótesis:

H1. La materia orgánica promueve la nodulación de las bacterias fijadoras de nitrógeno en las leguminosas.

H2. La mayor actividad microbiana mejora la capacidad de asimilación de nitrógeno y por ende la producción del cultivo.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. Generalidades de los abonos orgánicos.

El uso de abonos orgánicos en terrenos cultivados se remonta casi al nacimiento mismo de la agricultura. El incremento en la producción y consumo de fertilizantes químicos en una agricultura intensiva disminuyó la atención hacia los abonos orgánicos en la época de 1940-1970, pero en la actualidad vuelven a cobrar importancia los estudios con abonos orgánicos, por las siguientes razones:

1. Aun en las épocas de máxima producción de abonos químicos, el consumo mundial de nitrógeno y fósforo en abonos orgánicos ha superado al consumo de abonos químicos;

2. La creciente escasez y el alto costo de los energéticos en el mundo restringirá la producción de abonos químicos; por lo que debe buscarse el aprovechamiento máximo de los abonos orgánicos;

3. Los problemas de contaminación ambiental derivados de las plantas productoras de fertilizantes, así como el uso excesivo de abonos químicos y orgánicos, hacen más perentoria la necesidad de determinar las dosis óptimas económicas de nutrientes procedentes tanto de fuentes orgánicas como químicas.

Los abonos orgánicos muestran sobre los químicos, las siguientes ventajas:

a). Mayor efecto residual.

b). Aumento en la capacidad de retención de humedad del suelo a través de su efecto sobre la estructura (granulación y estabilidad de agregados), la porosidad y la densidad aparente;

c). Formación de complejos orgánicos con los nutrimentos manteniendo a éstos en forma aprovechable para las plantas;

d). Reducción de la erosión de los suelos, al aumentar la resistencia de los agregados a la dispersión por el impacto de las gotas de lluvia y al reducir el escurrimiento superficial.

e). Elevación de la capacidad de intercambio catiónico del suelo, protegiendo a los nutrimentos de la lixiviación;

f). Liberación de CO_2 que propicia la solubilización de nutrimentos;

g). Abastecimiento de carbono orgánico, como fuente de energía, a la flora microbiana heterótrofa.

Uno de los efectos más importantes de los abonos orgánicos en el suelo es el suministro de nitrógeno aprovechable para las plantas. Sin embargo, la liberación de este nutrimento sólo ocurre mediante una relación estrecha carbono/nitrógeno (C/N) del material utilizado. En términos generales, (Tisdale, 1975 mencionado por Nuñez, 1980) indican que si la relación C/N es mayor de 30, no hay liberación inmediata de nitrógeno aprovechable, sino más bien una fijación de las formas nítricas y amoniacales, reduciéndose la aprovechabilidad del nitrógeno en el suelo; por el contrario, si dicha relación es menor de 20, algo del nitrógeno se mineraliza quedando disponible para las plantas.

2.1.1 Compostas.

La fabricación de composta a partir de la basura de las ciudades se está popularizando como una forma de reducir la contaminación y generar un producto de utilización agrícola. Su composición es de alrededor de 1.3% de N, 1.2% de P_2O_5 y 0.8% de K_2O . Su uso no se ha popularizado en el medio campesino de México,

principalmente porque los gastos de transporte le hacen menos competitiva que el estiércol.

Los desechos municipales pueden incluir cualquier desperdicio generado por el sector doméstico e industrial de la municipalidad. La composición de estos desechos pueden variar grandemente. La composición de una muestra representativa, de acuerdo con McCalla, 1974 mencionado por la ASA, 1986 de algunas ciudades industriales, como: Miami, Tokio, Ontario, etc. es presentada en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición de la basura municipal (McCalla, 1974)

| Constituyente | % en peso |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Derivados del papel. | 58.79 |
| Restos de comida. | 9.24 |
| Desechos de madera y plantas de jardín. | 10.08 |
| Metales. | 7.52 |
| Vidrio, cerámica y cenizas. | 8.49 |
| Miscelánea: plásticos, piel, pinturas, aceites, telas, polvo, tierra, excremento. | 5.88 |

El papel, la comida y la fracción de desechos vegetales puede considerarse como un 80% del desecho municipal. El otro 20% podría separarse para que este desecho sea utilizado en el suelo o por su fertilidad como materia orgánica. La separación requiere de una labor intensiva y/o gastos de maquinaria, donde la fracción inerte puede ser utilizada, como por ejemplo el metal y el vidrio, pueden reciclarse.

Existen alrededor de 25 métodos mecánicos para el composteo, pero pueden ser agrupados como: procesos dinámicos o procesos estáticos. En el método estático; el

desecho es apilado en estratos o capas bien ventiladas y al mismo tiempo en pilas en forma de capas, moviéndolo solo una o dos veces durante el proceso de composteo. En este método el desarrollo fungico es intenso.

El proceso dinámico requiere de un mezclado continuo de la composta por lo que la flora, está constituida principalmente por bacterias, siendo esto seguido por una fase estática, donde la composta madura. Esta fase de mezclado es importante si se incorporan líquidos por ejemplo orina y/o aguas negras, a los desechos desmenuzados, porque disminuyen los malos e intensos olores provocados en el proceso de degradación (Mc Calla *et. al.*, 1986).

2.1.2 Abonos verdes.

Los abonos verdes son cultivos por lo general de leguminosas, desarrollados específicamente con el propósito de ser incorporados al terreno antes de su fructificación, para elevar la fertilidad del suelo. En la actualidad, su uso en México solo es factible en circunstancias especiales como las siguientes:

1. Cuando la humedad disponible no es un fuerte limitante de la producción.
2. Cuando el cultivo no mantiene ocupado el terreno durante un periodo largo, permitiendo levantar una cosecha de valor económico inmediato. Por ejemplo, ha resultado práctico sembrar trébol hubam o veza de invierno en la segunda escarda del maíz, e incorporar la leguminosa unos 30 o 40 días después de la cosecha del maíz.
3. Cuando el terreno no puede usarse en un cultivo de cosecha económica inmediata.
4. Cuando la leguminosa tiene un valor inmediato adicional a su acción de enriquecer el suelo.

Debe tenerse en cuenta que la adición al suelo, de un material orgánico de fácil descomposición, como los abonos verdes, puede acelerar la mineralización de materiales orgánicos más resistentes. (Broadbent, 1947 mencionado por Nuñez, 1980). Por lo tanto, son útiles por la liberación de nutrientes y la activación temporal de la flora del suelo, pero si el objetivo que se persigue es elevar el contenido de materia orgánica, es preferible agregar materiales orgánicos de difícil descomposición (Nuñez, 1980).

2.1.2.1. Beneficios de un abono verde. Entre los beneficios de los abonos verdes podemos considerar los siguientes:

a). **Provisión de materia orgánica.** La influencia ejercida por el abono verde se refiere en primer lugar, al abastecimiento de materia orgánica al suelo. Cuando existe escasez de estiércol, la práctica resulta de importancia especial, ya que las raíces y otros restos de cultivos pueden no ser suficientes para mantener el humus contenido en el suelo.

b). **Adición de nitrógeno.** La incorporación de un abono verde al suelo no solo añade carbono orgánico, sino que incluso le devuelve nitrógeno. La cantidad de nitrógeno puede ser grande o pequeña, según las condiciones. Si el cultivo enterrado es una leguminosa y los organismos nodulares han sido activos, el depósito de nitrógeno del suelo puede quedar así incrementado. El contenido de materia orgánica es también aumentado, ya que la cantidad de humus del suelo finalmente formado viene determinada en gran parte por la cantidad del nitrógeno orgánico presente.

c). **Beneficios bioquímicos.** El material orgánico añadido en vegetales verdes también actúa como alimento para los organismos del suelo y tiende a estimular los cambios biológicos a veces marcadamente. Esta acción bioquímica es de especial consecuencia en la producción de anhídrido carbónico, amoníaco, nitratos y quizá otros compuestos sencillos.

d). **Conservación y aprovechamiento de nutrientes.** El abono verde ejerce una influencia conservadora sobre los nutrientes del suelo, ya que proporciona constituyentes solubles que pueden, de otro modo, perderse por el drenaje o por la erosión. A este respecto, funciona como un cultivo de cubierta.

El aumento del aprovechamiento de los constituyentes inorgánicos del suelo es una fase que no debe ser olvidada a este respecto. Buckman y Brady, 1966, halló que la adición del 3% de abono verde al suelo aumentaba la solubilidad de la cal y ácido fosfórico en un 30 a un 100%. Esto sucede antes y por encima de los constituyentes minerales que se producen directamente de la descomposición del cultivo verde. El potasio, magnesio, y fierro pueden igualmente quedar influidos en la misma forma.

2.1.2.2 Características deseables en un abono verde. Un abono verde ideal posee tres características importantes: (1) un crecimiento rápido; (2) follaje abundante y succulento, y (3) habilidad para crecer bien en suelos pobres. A más rápido crecimiento, mayor es la posibilidad de aptitud para ser introducido en una rotación y uso económico como medios de mejoramiento del suelo. Follaje abundante y raíces poderosas son, desde luego, algo necesario, además a mayor contenido de humedad en el abono verde, más rápida es la descomposición y más pronto se obtienen beneficios. Como la necesidad de materia orgánica es urgente, en especial en la tierra pobre, un cultivo jugoso tendrá grandes ventajas.

Cuando las demás condiciones son iguales, es mejor hacer uso de las leguminosas en el abono verde, preferentemente a las no leguminosas, a causa del nitrógeno ganado por el suelo y la actividad orgánica que provocan. Sin embargo, a veces es difícil obtener un intercalado de leguminosas, pues pueden ser tan valiosos como alimento de ganado, que sería antieconómico usarlo como abono verde. Además, las semillas de las leguminosas son caras, casi es prohibitivo su uso como abono verde.

Algunas leguminosas no encajan dentro de las rotaciones comunes de forma tal que puedan luego ser enterradas convenientemente como abono verde, (Buckman y Brady, 1966).

2.1.2.3. Plantas convenientes como abono verde. Algunas de las plantas utilizadas en varios sitios de E.U.A. como abono verde se muestran en el Cuadro 2. Su valor, desde luego, depende en parte del clima, siendo algunas de las que se citan usadas y convenientes para las regiones del Norte y viceversa.

El crecimiento de dos cultivos juntos con el propósito de obtener abono verde a veces es recomendable. Si se escogen al respecto cultivos de crecimiento rápido, adaptación climática y necesidades del suelo, las ventajas son a veces notables. Con ellos no solo pueden obtenerse mayores cantidades de material verde sino que también si uno de los dos cultivos es una leguminosa puede aumentarse la fijación del nitrógeno. Además, uno de los cultivos puede ser el soporte físico del otro, factor de no escasa importancia cuando se trata de plantas que tienden a fijarse.

Cuadro 2. Algunas de las plantas verdes que se usan como abonos orgánicos (Buckman y Brady, 1966).

| Leguminosas | | No leguminosas | |
|------------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------|----------------------------|
| Regiones del Sur en especial | De amplia aplicación | De amplia aplicación en la mayor parte de los casos | |
| Zulla carmesí | Alfalfa | Centeno | Avena |
| Zulla áspera | Zulla roja | Avena | Césped sudanés |
| Lespedeza | Trébol dulce | Cebada | Mostaza |
| Crotalaria | Soya | Mijo | Nabo |
| Veas lisas | Frijol del Canadá | Trigo sarraceno | Hierbajos |
| Frijol austríaco de invierno | Guisante forrajero | Trigo | Avena de invierno y Cebada |

La avena y los guisantes, centeno y vezas son ejemplos excelentes de tales combinaciones verdes. Las dos plantas no leguminosas en estos casos son altamente deseables a causa de su crecimiento rápido, abundante y succulento y debido a que pueden acomodarse casi a cualquier rotación. Estas no leguminosas crecen bien ante condiciones adversas y lechos pobremente preparados. Son así, extremadamente valiosas en suelos pobres. Además, su influencia está notablemente mejorada sembrando una leguminosa con ellas. En cualquier caso las mezclas pueden labrarse durante su desarrollo y algo después, que es cuando la razón carbono-nitrógeno es comparativamente pequeña (Buckman y Brady, 1966).

2.1.3. Estiércoles.

El estiércol está constituido por las deyecciones de los animales mezcladas o no con las sustancias que les sirven de cama, la cama es la paja, u otros materiales absorbentes que se usan en los establos y granjas.

2.1.3.1. Composición del estiércol. El estiércol fresco se compone de elementos sólidos y líquidos; los primeros constituyen el 75% del peso total y los segundos el 25%. Por lo regular, casi la mitad del nitrógeno y potasio y cerca de la totalidad del fósforo se encuentran en la parte sólida. El estiércol tal como se evacua, contiene numerosas especies microbianas, que incluyen hongos, actinomicetos y, sobre todo, bacterias. Una parte relativamente elevada del peso total del estiércol se compone de los cuerpos de bacterias vivas y muertas. Los componentes de las sustancias alimenticias que mayor resistencia ofrecen a la digestión son las distintas ligninas vegetales, aún cuando escapan también a la digestión cantidades considerables de celulosa y hemicelulosa. En el tubo intestinal de los animales, la lignina se combina con proteínas (sobre todo con proteínas bacterianas) para formar complejos de lignoproteínas llamados humus.

Aparentemente el *humus* del estiércol es idéntico al de la tierra.

La composición química de las porciones sólidas y líquidas de los excrementos de varios estiércoles animales, es muy difícil de precisar. Esto es, a causa de un número variable de factores que intervienen y pueden cambiar radicalmente las cantidades y proporciones de nitrógeno, ácido fosfórico y potasa presentes. La calidad del estiércol está determinada por la especie animal, edad, alimentación, tipo de cama y manejo de la materia.

Adams *et. al.*, 1954 al igual que Buckman y Brady, 1966 concuerdan en que la composición del estiércol fresco o en descomposición, varía notablemente y sólo puede ser establecida de una manera aproximada. Su contenido en N, P y K es comparable al de un fertilizante débil y puede no ser superior a 0.5% de N, 0.25% de P_2O_5 y 0.5% de K_2O . Sólo cerca de la mitad del nitrógeno y el potasio y una sexta parte, aproximadamente, del fósforo son fácilmente asimilables por las plantas. Además, del N, P, y K, el estiércol contiene también calcio, magnesio, azufre y probablemente, todos los oligoelementos. Estos últimos son extremadamente importantes, en algunos casos, para mantener el equilibrio de la condición de los nutrientes en suelos tratados por estiércol. (Buckman y Brady, 1966).

En los Cuadros 3 y 4, se presentan la composición de los excrementos frescos de acuerdo a los trabajos citados por Adams *et. al.*, 1954 y Buckman y Brady, 1966, respectivamente.

Cuadro 3. Composición del estiércol proveniente de distintas especies animales y por tonelada de estiércol.
(Datos de Duley, *Missouri Station Bulletin*, 1966).

| Animal | Peso del estiércol lb | Nitrogeno lb | Fósforo lb | Potasio lb |
|----------------|--------------------------|-----------------|---------------|---------------|
| Caballo | | | | |
| sólido | 1632.2 | 8.06 | 2.12 | 3.26 |
| líquido | 367.8 | 4.41 | indicios | 4.56 |
| total | 2000.0 | 12.47 | 2.12 | 7.82 |
| Vaca | | | | |
| sólido | 1456.6 | 4.71 | 1.31 | 1.80 |
| líquido | 543.5 | 5.16 | 0.06 | 4.29 |
| total | 2000.0 | 9.87 | 1.37 | 6.09 |
| Ovejas | | | | |
| sólido | 1200.0 | 7.8 | 2.40 | 2.28 |
| líquido | 800.0 | 13.44 | 0.10 | 14.08 |
| total | 2000.0 | 21.24 | 2.50 | 16.36 |
| Cerdo | | | | |
| sólido | 1290.3 | 7.74 | 2.58 | 4.77 |
| líquido | 709.7 | 2.12 | 0.39 | 5.89 |
| total | 2000.0 | 9.86 | 2.97 | 10.66 |
| Gallina | 2000.0 | 23.0 | 8.10 | 7.46 |

Cuadro 4. La composición de los estiércoles animales frescos (L. L. Van Slyke)

| % de estiércol | | Porcentaje de | | | |
|----------------|-----------------|------------------|------|-------------------------------|------------------|
| | | H ₂ O | N | P ₂ O ₅ | K ₂ O |
| Caballo | Sólido 80 | 75 | 0.55 | 0.30 | 0.40 |
| | Orina 20 | 90 | 1.35 | trazas | 1.25 |
| | Estiércol total | 78 | 0.70 | 0.25 | 0.55 |
| Vaca | Sólido 70 | 85 | 0.40 | 0.20 | 0.10 |
| | Orina 30 | 92 | 1.00 | trazas | 1.35 |
| | Estiércol total | 86 | 0.60 | 0.15 | 0.45 |
| Carnero | Sólido 67 | 60 | 0.75 | 0.50 | 0.45 |
| | Orina 33 | 85 | 1.35 | 0.05 | 2.10 |
| | Estiércol total | 68 | 0.95 | 0.35 | 1.00 |
| Cerdo | Sólido 60 | 80 | 0.55 | 0.50 | 0.40 |
| | Orina 40 | 97 | 0.40 | 0.10 | 0.45 |
| | Estiércol total | 87 | 0.50 | 0.35 | 0.40 |
| Aves | Estiércol total | 55 | 1.00 | 0.80 | 0.40 |

El mal manejo del estiércol conduce a fuertes pérdidas de nitrógeno por volatilización, y de éste y de otros nutrimentos, por lavado. Las pérdidas aumentan por el desecamiento, el viento, el pH alcalino y las altas temperaturas, por lo tanto un buen almacenamiento deberá considerar la compactación del material, circulación de la fracción líquida y protección contra el sol, el viento, la lluvia y el escurrimiento (Nuñez, 1980).

2.1.3.2. Efectos del estiércol. La acción benéfica de una aplicación de estiércol, reflejada en la respuesta de las plantas cultivadas, puede ser muy grande. Este efecto puede ponerse en manifiesto por espacio de un año solamente cuando el estiércol se aplica a terrenos muy sueltos o arenosos, pero si son más consistentes los efectos beneficiosos de la aplicación pueden seguir manifestándose posteriormente de dos a cuatro años.

a). **Efectos químicos.** La aplicación del estiércol a un terreno aumenta el número de elementos minerales utilizables para el crecimiento de las plantas. Este aumento de los elementos minerales procede, en parte, de la liberación de los principios nutritivos que acarrea el estiércol y, en parte, de las sustancias que se hacen asimilables a expensas de los minerales insolubles del suelo.

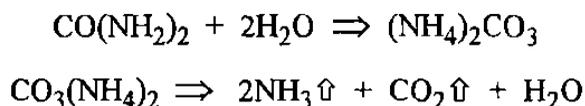
b). **Efectos físicos.** Cuando en los terrenos compactos, el estiércol sufre una descomposición rápida, mejora la estructura de los mismos y permite una mejor aireación. El primer efecto favorece el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas, al tiempo que disminuye la erosión del suelo. La aplicación de un estiércol perfectamente descompuesto mejora los terrenos sueltos y arenosos porque aumenta su capacidad de imbibición.

c). **Efectos biológicos.** Los efectos biológicos que resultan de la aplicación del estiércol pueden ser más importantes que los efectos físicos o químicos. La aplicación

de estiércol aporta numerosas bacterias y otros organismos, que, en parte, continuarán prosperando y multiplicándose. El metabolismo de los microorganismos del suelo produce sustancias aglutinantes llamadas *cemento bacteriano*, el que aglutina las partículas del suelo. El hecho de que las pequeñas cantidades de estiércol aplicadas al terreno ejerzan un efecto favorable sobre el crecimiento de las plantas, mucho más intenso de lo que cabría esperar por su solo contenido en principios minerales asimilables, se ha atribuido a la inoculación en el terreno de organismos deseables y al mayor desarrollo de organismos similares del propio terreno. Este aumento de la actividad bacteriana se supone que da lugar a la producción de estimulantes de los vegetales análogos a las vitaminas y hormonas (Adams *et. al.*, 1954).

2.1.3.3. Fermentación del estiércol.

a). **Fermentación aerobia.** Recién producido el estiércol, se presenta algo suelto. Los primeros cambios bacterianos, son de naturaleza aerobia. Estas transformaciones son generalmente rápidas y se producen con bastante calor. Los compuestos nitrogenados sencillos son los primeros en ser afectados, mientras que los complicados son poco afectados. El anhídrido carbónico se desprende en grandes cantidades. La urea es influenciada por las condiciones aerobias y rápidamente se hidroliza. El carbonato de amonio es inestable y pronto produce amoníaco (olor característico de los establos).



Si las condiciones son favorables para la nitrificación, pueden aparecer nitratos en abundancia. Estos compuestos son muy solubles y sujetos a una adsorción, que aunque pequeñas, pueden provocar pérdidas por lavado. En consecuencia, en los

estados iniciales y mejor aireados de descomposición del estiércol puede ser agotado su nitrógeno en dos formas: amoniacal y nitrato.

b). **Descomposición anaerobia.** En un estiércol el oxígeno gaseoso se usa gradualmente a medida que se expulsa el anhídrido carbónico. La descomposición pasa de aerobia a anaerobia, se hace lenta y la temperatura baja. Nuevos organismos entran en funcionamiento, algunos que funcionaron en condiciones aerobias pueden seguir haciéndolo en condiciones anaerobias. Los productos cambian. El anhídrido carbónico, se sigue expulsando en grandes cantidades, pero en lugar de amoníaco, la materia nitrogenada, se convierte en parte, en productos de putrefacción. (Buckman y Brady, 1966).

2.1.3.4. Usos del estiércol y de los abonos verdes. De acuerdo con algunos autores, tenemos, que los abonos orgánicos tienen numerosas ventajas para ser usados en la agricultura. A continuación se enumeran algunos de estos trabajos.

El estiércol de gallina se considera como un abono apropiado para las gramíneas forrajeras, maíz, sorgo, mijo, pasto Sudán; así como, para cosechas destinadas a la protección del suelo como abono verde (González, 1957, mencionado por López, 1980).

Teuscher, 1965, mencionado por López, 1980, establece que una tercera parte del total del nitrógeno aplicado por medio del estiércol, es aprovechado al primer año, una tercera parte se pierde y el resto se puede aprovechar en los dos ó tres años subsecuentes, de tal forma, que los efectos benéficos de la aplicación duran 3 ó 4 años.

Smith, *et. al.*, 1979, mostraron que la producción de biomasa de árboles de *Pinus elliottii* tratados con composta de basura, fue alrededor de 3 veces mayor que sin el tratamiento.

López, 1980, encontró que aunque no existió diferencia estadísticamente significativa en las dosis de gallinaza utilizadas en su trabajo de tesis, que fueron de 0, 5, 10, 15, 20 y 25 ton/ha, si existió una tendencia de incremento en la producción de grano en trigo a la dosis de 20 ton/ha.

Talashikar *et. al.*, 1986, Mencionan que los rendimientos de grano y materia seca y la toma de nutrimentos revelaron que arriba del 25% de los requerimientos de nitrógeno y sobre el 50% de los requerimientos de fósforo de arroz pueden ser sustituidos por productos enriquecidos con composta.

Werner *et. al.*, 1988, manifiesta que la aplicación de materiales orgánicos en un periodo de 24 años resultó en un incremento del carbono (C) y el nitrógeno (N) totales del suelo. El alto contenido de N total fue causado por los altos contenidos de compuestos orgánicos de N hidrolisables así como no hidrolisables. El potencial de mineralización de N del suelo fue intensificado por la aplicación de los materiales inorgánicos, especialmente por la composta de desperdicios y el estiércol de las granjas. La actividad de la deshidrogenasa y la respiración del suelo fueron positivamente influenciados por todos los tratamientos orgánicos con el mayor efecto en los suelos con más altos contenidos de Carbonatos totales.

Zhu, B.Y. *et. al.*, 1989, muestran un estudio en cuatro tipos de suelos de 9 localidades tratadas con composta de basura (CB) para 0, 10, 10-30 y 30 años, respectivamente. Las aplicaciones en tiempos largos (10-30 años) de CB alcalina (pH=7.44) incrementó la materia orgánica en la capa arable por 0.05-1.84% y en el subsuelo por 0.34-0.92. El nitrógeno (N) total fue incrementado por 0.013-0.031%, pero el fósforo (P) y el potasio (K) total y aprovechable no fueron afectados.

Alcalá, 1989, menciona que la mezcla de composta-abono nitrogenado muestra una tendencia lenta del mejoramiento de algunas características del suelo, como son

micronutrientes, pH, conductividad eléctrica y módulo de ruptura en el suelo, situación que desde luego favorece al cultivo presente.

Warman, 1990, menciona que los estiercoles de vaca, cerdo y gallina suplementan efectivamente todos los nutrientes requeridos por los cultivos de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y calabaza (*Brassica oleracea*), cultivos con altos requerimientos de nutrientes, éstos también contribuyen a la aprovechabilidad de los micro y la totalidad de nutrientes, a pesar de que la gallinaza eleva el pH y reduce la toma y aprovechabilidad del manganeso.

Díaz, 1991, muestra en su trabajo de tesis, que aunque el efecto residual de la composta no es estadísticamente significativo, existió una tendencia de este abono a aumentar las cantidades de algunos micronutrientes como son: el cobre (Cu), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Las cantidades de hierro (Fe) y magnesio (Mg) no muestran variación.

García, 1994, mostró que los abonos orgánicos, gallinaza y estiércol, presentaron un efecto importante en la altura y el área foliar, del maíz, el usó un tratamiento con Profit-G, un producto orgánico sintético de tipo comercial, que no mostró ser superior que los tratamientos con gallinaza y estiércol bovino de igual dosis. Sin embargo, los tratamientos de gallinaza y estiércol con dosis equivalente al precio del Profit-G fueron superiores a éste. Profit-G, no presentó mayor efecto en la concentración de NPK en las hojas, actividad fotosintética y el rendimiento al igual que los abonos orgánicos. Así, resulta de más beneficio para el productor aplicar abonos orgánicos de origen animal, por su accesibilidad en cuanto a precio, comparado con productos de origen industrial; por su disponibilidad en las cantidades requeridas y por su efecto residual prolongado.

2.2. Generalidades sobre las leguminosas.

Aunque las leguminosas pueden ser producidas en muchos ambientes la extensión de la producción y consumo varía considerablemente entre nacionalidades y culturas. Los cultivos de leguminosas importantes en el intercambio mundial son pocos; la diversidad de las leguminosas en las dietas de grupos culturales locales abundan. Las leguminosas nativas, recolectadas de recursos silvestres, o sembradas de semillas guardadas durante años, por familiares, se venden a veces en los mercados locales y normalmente se preparan utilizando recetas tradicionales (Nabhan, 1983).

2.2.1. Beneficios de las leguminosas.

La habilidad de las leguminosas para fijar N_2 atmosférico, y adicionar N externo al ecosistema suelo-cultivo, es un beneficio distintivo de esta familia de plantas. Cuando los fertilizantes nitrogenados son caros y no aprovechables, los sistemas de producción de cultivos dependen del nitrógeno fijado por las leguminosas para mantener el ciclo del nitrógeno a un nivel productivo sostenible. Tales limitaciones de la aprovechabilidad y el costo de los fertilizantes nitrogenados no son comunes en muchos países desarrollados.

La cantidad de nitrógeno fijado biológicamente por las leguminosas cada año varía enormemente de cero a varios cientos de kg./ha. Muchas leguminosas de grano son eficientes en la fijación del nitrógeno. Pero, las variables que afectan la cantidad de nitrógeno fijado no solamente incluyen la especie de leguminosa y el cultivar, sino también otros factores como: tipo de suelo y textura, pH, nivel en el suelo de N-nitrato, temperatura y regímenes de humedad, aprovechabilidad de otros nutrientes y manejo del cultivo (especialmente el cosechado).

De acuerdo con Heichel, 1987, mencionado por Power, 1987, en el Cuadro 5 se presentan las cantidades de nitrógeno fijado por algunas de las leguminosas más comunes.

Cuadro 5. Cantidades determinadas de N₂ fijado por varias especies de leguminosas (adaptada por Heichel, 1987).

| ESPECIES | N FIJADO kg/ha/año | ESPECIES | N FIJADO kg/ha/año |
|----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Alfalfa | 114-223 | Veza vellosa | 111 |
| Alfalfa-pasto de huerto | 15-136 | Trébol Ladino | 164-188 |
| Trébol Clarke | 21 | Lenteja | 167-189 |
| Chicharo | 24-84 | Trebol rojo | 68-113 |
| Birdsfoot trifoliada | 49-112 | Soya | 22-310 |
| Frijol común | 2--121 | Trébol subterráneo | 58-183 |
| Trébol Crimson | 64 | Trébol dulce | 5 |
| Haba | 178-251 | Trébol blanco | 128 |
| Guisante silvestre | 174-196 | | |

El valor económico del nitrógeno fijado por las leguminosas varía ampliamente. Se debe considerar el costo de producción de las leguminosas, la cantidad de N fijado y devuelto al suelo, y la aprovechabilidad de este N por cultivos futuros.

Existen otros beneficios de usar leguminosas en un sistema de cultivo que podrían permitir la comparación con cualquier fertilizante nitrogenado, pero, desafortunadamente a menudo se omiten por lo difícil de su cuantificación. Generalmente, los rendimientos mínimos de un cultivo de grano creciendo en rotación

son de 10-20% mas altos que aquellos para cultivos continuos de gramineas a pesar de la cantidad de fertilizante aplicado al cultivo de granos. Esta respuesta se refiere, a menudo, como el efecto de la rotación. Porque el nitrógeno adicional no se puede eliminar totalmente de la diferencia en rendimiento. En el Cuadro 6 , de acuerdo con Langer y Randall, 1981, mencionados por Power, 1987, podemos observar la diferencia en el rendimiento de maíz, considerando el tipo de cultivar que precedió a éste.

Cuadro 6. Efecto de un cultivo previo, sobre el rendimiento de maíz (Langer y Randall, 1981).

| N aplicado (kg./ha) | Cultivo anterior | | | |
|------------------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------------|
| | Maíz (Mg./ha) | Soya (Mg./ha) | Trigo (Mg./ha) | Trigo-alfalfa (Mg./ha) |
| 0 | 4.45 | 6.89 | 6.85 | 7.25 |
| 45 | 5.8 | 8.14 | 8.00 | 8.00 |
| 90 | 6.46 | 8.70 | 8.78 | 8.80 |
| 135 | 6.85 | 8.97 | 8.78 | 9.05 |
| 180 | 7.36 | 9.37 | 8.98 | 9.24 |
| 225 | 7.53 | 9.37 | 9.20 | 9.11 |

¹ Mg. = megagramos = 10⁶ gm = toneladas métricas.

2.2.2. Desventajas de las leguminosas.

Son obvias las desventajas monetarias inmediatas por el uso de las leguminosas en un sistema de producción por la amplia y fácil adquisición de los fertilizantes nitrogenados. Sin embargo, para el futuro éstos no representan una perspectiva atractiva por ser un recurso finito y por los fuertes problemas de contaminación que acarrearán.

Cuando las leguminosas crecen en sistemas de cultivos de rotación, pueden reducir la producción total de grano por unidad de área, comparado con un cultivo

continuo. Si se práctica este sistema a escala nacional, la producción total de grano por nación puede decrementarse.

La producción de leguminosas de grano, como la soya, puede resultar en una fuerte erosionabilidad del suelo que aparece después de un cultivo de grano.

Algunas veces, las plagas se incrementan por la inclusión de ciertos cultivares de leguminosas en una secuencia de cultivo (Egunjobi, 1984, mencionado por Power, 1987). Por ejemplo, los problemas de nemátodos pueden ser mayores en una rotación maíz-soya que si se usar veza (*Vicia villosa*) como cultivo de cobertera de invierno. Uno de los problemas más comunes y más difíciles de controlar son algunas malezas cuando existe cultivo de legumbres por las limitaciones de las clases de herbicidas que pueden ser usados. Sin embargo, esta desventaja puede ser neutralizada porque la inclusión de una leguminosa puede romper con los ciclos de crecimiento de las malezas.

En la agricultura de temporal, la principal objeción para la inclusión de leguminosas en un sistema de producción es la competencia por el agua que puede existir entre las leguminosas y el cultivo de grano siguiente. Esta competencia es especialmente significativa en zonas semiáridas.

2.2.3. Frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* var. *latifolius*).

El frijol tépari representa una especie adaptada a las condiciones de altas temperaturas del desierto, la viabilidad de sus semillas es de periodos largos, con una alta probabilidad de resistir ciclos largos de sequía. Su ciclo de vida es extremadamente corto. Su raíz se extiende a gran profundidad lo que le permite sobrevivir a condiciones extremas en comparación con el frijol común (*P. vulgaris*). Esta especie constituye un cultivo de gran importancia en las zonas desérticas del Estado de Sonora, México, donde se cultivan desde pocos surcos hasta varias hectáreas.

El nutrimento principal que se obtiene por consumo de frijol es obviamente la proteína. Los contenidos de proteína entre las leguminosas de grano puede variar de 15-40 % (Earle and Jones, 1962, mencionados por Nabhan, 1983). Varios estudios han mostrado que los niveles de proteína cruda para los téparis domesticados estan entre 22-24%. La comparación nutricional entre fuentes de frijol , no se puede hacer solamente a base de la cantidad de proteína, se tiene que considerar la calidad de la proteína y su relativa digestibilidad (Nabhan,1983).

Freeman, 1918, mencionado por Montoya, 1985 describe al *P. acutifolius* var. *latifolius* de la siguiente manera: planta anual, tallo decumbente, extendido o voluble, 0.5-3 m de longitud de glabro a pubescente. Haz de la hoja liso, con nervaduras prominentes en el envés. Razón promedio de longitud a ancho 1.74, de ovado a ampliamente lanceolado, ápice gradualmente angosto y agudo. inflorescencias axilares a las hojas, pedúnculos delgados, la parte superior de la inflorescencia presenta de 2-5 flores, bráctea y bractéolas pequeñas, deciduas. Flores de tamaño medio, pediceladas, blancas o violeta pálido. Vainas con 2-7 semillas, de 5-9 cm. de longitud y de 8-13 mm. de espesor, ciliadas cuando jóvenes, pubescentes a lisas cuando maduras, rectas o ligeramente curvas. El tamaño de la semilla varía de 6.9 a 9.8 mm. de longitud, 3.8-6.7 mm. de ancho y 2.7-4.8 mm. de grosor, colores variables, blancas, amarillas, café o negro azulado a violeta oscuro, de un solo color o pintas; forma de la semilla ovada a casi redonda y lenticular. En México, el frijol tépari se encuentra distribuido en los Estados de Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Nayarit, Morelos Campeche y Chiapas.

Evans, 1979, citado por Montoya 1985, refiere que los efectos más obvios de la domesticación y subsecuente mejoramiento de plantas en *Phaseolus* es la modificación del hábito de crecimiento; sin embargo, en el tépari todos los cultivares son de hábito

indeterminado. Los cambios más importantes son: reducción en dehiscencia y contenido de fibra de las vainas y número de semillas por vaina. En las formas silvestres encontramos nueve semillas pero rara vez más de cinco en las cultivadas.

Nabhan y Felger, 1978, mencionados por Montoya 1985, explican que el tépari ha sido tradicionalmente cultivado utilizando una gran variedad de prácticas, las que dependen de la disponibilidad de agua, capacidad de retención de humedad del suelo y duración del ciclo de cultivo.

Felger y Nabhan, 1976, citados por Montoya (1985) indican que con un solo riego como mínimo en cada siembra, se pueden fácilmente producir dos cosechas por año en el desierto de Sonora, ya que este frijol se suele cosechar de los 60-90 días después de sembrado. El forraje de esta leguminosa agrada al ganado y es comparable con la alfalfa por su calidad nutritiva y supera en producción a otros forrajes de leguminosas en las regiones áridas de América del norte.

2.2.4. Trébol hubam (*Melilotus alba* var. *annua*).

El trébol hubam pertenece a la familia Leguminosae; género *Melilotus*; especie *alba*; nombre común , trébol hubam, trébol dulce, trébol oloroso ó trébol blanco.

La raíz principal (pivotante) larga y leñosa que penetra profundamente en el suelo, los tallos son cilíndricos y huecos poco nervados, presenta ramas erectas en su base, son jugosos, al principio de color verde brillante, puede alcanzar una altura de 3 m, pero por lo general es de 1.80 m.

Las hojas son parecidas a la alfalfa, compuestas, trifoliadas con un peciolo más corto que los mismos foliolos; las flores son amariposadas, el conjunto de flores forman una inflorescencia, constituido por un racimo alargado que presenta flores sueltas, el pedúnculo floral es alargado y de nacimiento axilar, las flores son pequeñas de color

blanco; la semilla es de 2 mm. de diametro, de color amarillo marrón, cotiledones gruesos y redondeados.

Su ciclo es anual y bianual; el tipo de crecimiento es erecto, se adapta a temperaturas de regiones templadas, resiste la sequia, se adapta a suelos pesados calcáreos, alcalinos y suelos neutros; se usa como forraje verde y conservado para abono verde y cobertera del suelo.

Zamudio, 1979, citado por Quintanilla 1979, menciona a las leguminosas más recomendadas como abono verde en México, en la siguiente forma: En las zonas templadas (el Bajío y la Mesa Central), se recomienda la alfalfa, el trébol hubam, la veza y el trébol blanco bianual; en las zonas calientes con lluvias escasas (Valle del Yaqui, Son.) la sesbania, los tréboles, amarillo y hubam, y la alfalfa (en invierno con riego).

2.3. Microorganismos en el suelo.

Las características físicas y químicas del suelo determinan la naturaleza del medio ambiente en el que se encuentran los microorganismos, estas características del medio ambiente afectan, a su vez, la composición de la comunidad microscópica tanto cualitativa como cuantitativamente. El agua, aire, y los nutrientes orgánicos e inorgánicos se obtienen del suelo, el que sirve además como amortiguador de los cambios drásticos que ocurren en la superficie. El suelo es un medio vasto y dinámico para los habitantes subterráneos así como un sitio en el que las sustancias que no están disponibles para las plantas superiores se transforman en otras, que sí son aprovechables mediante la actividad de los agentes microbianos.

El suelo contiene cinco grupos principales de microorganismos: bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios (Alexander, 1981).

2.3.1. Bacterias.

Las bacterias son el grupo más abundante, por lo general más abundante que los otros cuatro juntos; las bacterias representan mucho menos de la mitad de la masa celular microbiana total. En suelos aireados adecuadamente predominan bacterias y hongos, mientras que en los ambientes que contienen poco o nada de O₂, únicamente las bacterias son las responsables de casi todos los cambios químicos y biológicos, éstas sobresalen porque son capaces de crecer rápidamente y de descomponer una gran variedad de sustratos naturales. Las poblaciones nativas ó autóctonas pueden presentarse en estados resistentes y perduran por largos periodos sin tener actividad metabólica, pero en determinado momento, estas formas nativas proliferan y participan en las funciones bioquímicas de la comunidad. Entre las poblaciones nativas existen especies que se desarrollan considerablemente cuando se agregan nutrientes orgánicos

fácilmente degradables. Estas bacterias de gran actividad metabólica necesitan ser provistas de nutrimentos para un crecimiento rápido, pero el abasto se consume fácilmente; entonces estas bacterias responden de inmediato a la adición de sustancias y se mantienen en gran número mientras haya nutrientes disponibles, pero disminuyen una vez que se agota su fuente alimenticia (Alexander, 1981).

2.3.1.1. Distribución y abundancia. Por medio del conteo en placa o de otras técnicas, la determinación del número de bacterias viables en un cultivo resulta relativamente simple. La situación es mucho más difícil en un sistema tan heterogéneo como el suelo, donde las técnicas microbiológicas convencionales sólo estiman una parte del número total de bacterias. Desde el punto de vista nutritivo, ningún medio es adecuado para todas las especies presentes puesto que se desconocen los requerimientos para el crecimiento de muchas cepas y las cifras representan sólo una fracción del total. Una segunda limitación surge porque muchas bacterias se encuentran en el suelo en colonias, que no se desintegran cuando las diluciones del suelo se agitan por lo que las estimaciones tienden a ser bajas. Los métodos estándar usados para el conteo de organismos viables en el suelo proporcionan cifras variables y, frecuentemente, los errores de muestreo y de preparación de muestras son mayores que la variación inherente al procedimiento de conteo. Esta limitación puede ser minimizada usando mezclas de suelo preparadas de numerosos muestreos hechos en el campo. Es mejor usar más submuestras que tener numerosas réplicas de diluciones de placas, puesto que la variación entre réplicas de muestras de suelo es mucho mayor que entre réplicas de placa o dilución (Alexander, 1981).

2.3.2. Actinomicetos.

El término actinomiceto no tiene validez taxonómica ya que estos organismos se clasifican como bacterias en un sentido estricto y son miembros del orden Actinomycetales, pero no todos los géneros de los Actinomycetales se consideran como actinomicetos en el sentido común. Los actinomicetos son microorganismos que producen filamentos delgados, ramificados que se desarrollan en un *micelio* en todos los géneros del suelo, excepto el género *Actinomyces*: El filamento del actinomiceto puede ser bastante largo -aunque en algunos grupos es corto y puede fragmentarse en muchas unidades más pequeñas. Las *hifas* o filamentos individuales se asemejan morfológicamente a los filamentos fúngicos pero son mucho más delgados, generalmente de 0.5 a 1 μm de diámetro (dimensión análoga a la de las células bacterianas). Muchos de los actinomicetos del suelo producen sobre sus hifas esporas asexuales, conocidas como *conidias*, aisladas, en pares o formando cadenas, mientras que unos cuantos habitantes del suelo producen sus esporas en una estructura especializada conocida como *esporangio*. A pesar de estar colocados junto con las bacterias, la relación de los actinomicetos con los hongos se manifiesta en tres propiedades: a) el micelio de los actinomicetos superiores tiene las extensas ramificaciones características de los hongos; b) muchos actinomicetos forman un micelio aéreo, y c) el crecimiento de los actinomicetos en cultivo líquido raramente producen la turbidez asociada con las bacterias unicelulares sino que produce la formación de filamentos, grumos y esferas.

El reconocimiento de las colonias de actinomicetos más abundantes en medios de agar es relativamente sencillo, con tal de que el período de incubación sea lo suficientemente largo. Las colonias bacterianas comunes consisten en una gran población de individuos derivados de una sola célula por fisión binaria, mientras que

los actinomicetos, antes de la esporulación, constan de un organismo, un micelio derivado de una sola unidad de propagación. Las colonias de algunos géneros que se desarrollan sobre la superficie de agar pueden tener una consistencia firme y se adhieren fuertemente al sustrato solidificado (Alexander, 1981)

2.3.2.1. Distribución y abundancia. Los actinomicetos son numerosos y están ampliamente distribuidos, no solo en el suelo sino en una amplia variedad de hábitats diferentes, incluyendo estiércol, fango de los ríos y el fondo de los lagos. Se encuentran en la superficie del suelo así como en los horizontes inferiores, a profundidades considerables. En abundancia, siguen a las bacterias y a veces el número viable de ambos es casi igual. Particularmente, en ambientes de pH elevado, los actinomicetos constituyen una gran proporción de la comunidad. Como regla general son saprófitos, aunque algunas especies pueden provocar enfermedades a las plantas, animales domésticos e incluso al hombre (Alexander, 1981).

2.3.3. Hongos.

Aunque los procedimientos usados para contar otros grupos microbianos parecen indicar que los hongos no son los habitantes más importantes del suelo, éstos sí aportan una parte significativa a la biomasa debido al gran diámetro de sus filamentos y a la extensa red que forman. Los hongos predominan en el protoplasma microbiano que se encuentra en el lecho en descomposición particularmente en los estratos orgánicos de suelos boscosos o selváticos pero, en general, son los principales agentes de descomposición en ambientes ácidos.

Característicamente, los hongos filamentosos presentan una red de micelio constituida por cadenas de hifas independientes. El micelio puede subdividirse en células individuales mediante paredes transversales o *septos*; sin embargo, muchas

especies de hongos no son septadas. Las hifas de los hongos sin septos son continuas y multinucleadas, sin tales paredes transversales. La hifa misma es más ancha y tiene un diámetro considerablemente mayor al de los filamentos de los actinomicetos comunes. Las hifas individuales pueden ser vegetativas o fértiles; los filamentos fértiles producen esporas sexuales o asexuales. En la naturaleza las conidias o esporas asexuales son abundantes y están bastante diseminadas mientras que las esporas sexuales no son comunes. En medios de cultivo el micelio es incoloro pero las esporas asexuales están coloreadas en forma impresionante. el tamaño, la forma, la estructura y sus características en cultivo son de importancia en la taxonomía del grupo ya que, en contraste con las bacterias, los hongos pueden diferenciarse, en forma efectiva, en géneros y especies con base a su morfología (Alexander, 1981).

2.3.3.1. Distribución y abundancia. Se han desarrollado varias técnicas para el estudio de la flora fúngica, cada una con ventajas propias. Pero, ningún procedimiento aislado describe por completo y en forma adecuada la composición genérica de la flora, y ningún método describe correctamente la masa o las capacidades bioquímicas de las hifas. La técnica usada con más frecuencia para enumerarlas es el conteo en placa en la que se colocan diluciones de un suelo con agua esterilizada sobre un medio de agar adecuado. Debido a que, por lo general, las bacterias y los actinomicetos son más numerosos que los hongos, no pueden usarse los medios convencionales de laboratorio ya que en las cajas de petri se detendría el desarrollo de las colonias fúngicas. Los primeros microbiólogos resolvieron este problema acidificando agar a pH 4.0 en el que se desarrollan pocas bacterias y actinomicetos pero sí bastantes hongos. Por otra parte, la acidificación no es necesaria siempre y cuando se incluyan en el medio agentes bacteriostáticos adecuados; se han usado penicilina, novobiocina, rosa de bengala y estreptomycinina para inhibir bacterias y actinomicetos.

Los calculos de poblacion de hongos que se basan en el conteo de placa estan sujetos a severas críticas. Debido a que las colonias que aparecen sobre el agar pueden derivarse de una spora o de un fragmento de micelio vegetativo, se desconoce la naturaleza activa o latente de la unidad viable en la muestra original. Más aun, los géneros que producen esporas aparecen con facilidad en grandes cantidades sobre las placas de agar debido a que cada spora individual da origen a una colonia. El simple hecho de agitar introduce un error al estimar la población debido a que la agitación rompe el micelio y los cuerpos de esporulación en un número indeterminado de fragmentos , cada uno de los que puede producir una colonia. A causa de ésta y otras razones, los resultados de conteo en placa deben interpretarse con mucho cuidado, teniendo presente las numerosas limitaciones de la técnica (Alexander, 1981).

II. MATERIALES Y METODOS

En la evaluación del primer objetivo se seguirán los siguientes procedimientos, para determinar la interacción de los dos tipos de abonos orgánicos, la composta y la gallinaza, con las dos leguminosas, el trébol "hubam" y el frijol "tépari", efectuar observaciones del desarrollo fenológico y algunas características de la planta. En cuanto al segundo objetivo, el que consiste en evaluar los efectos de los abonos en algunas características nutricionales del suelo, de acuerdo a sus propiedades químicas y biológicas, se efectuaron análisis químico y microbiológico del suelo a diferentes etapas del desarrollo del cultivo. Los pasos específicos se describen a continuación:

3.1. Localización del sitio experimental.

El presente experimento se estableció en el ciclo primavera-verano 1994 (ciclo temprano) en el campo agrícola experimental de la Facultad de Agronomía de la U.A.N.L., ubicado en Marín, Nuevo León cuya altitud es de 375 msnm y se encuentra situado entre las coordenadas 25° 53' de latitud norte y 100° 03' de longitud oeste (Robledo, 1985). Las condiciones climatológicas prevalecientes durante el desarrollo del trabajo de campo se resumen por meses en el Cuadro 7. Donde observamos que las mayores temperaturas se presentaron durante los meses de julio y agosto y las mínimas ocurrieron en abril, durante el establecimiento del experimento, la mayor precipitación, así como el tiempo más prolongado de ésta fue en junio a los dos meses de edad el cultivo.

Cuadro 7. Condiciones climatológicas durante el establecimiento del experimento.

| MES | TEMPERATURA | TEMPERATURA | TEMPERATURA | PRECIPITACIÓN | DÍAS DE |
|------------|-------------|-------------|-------------|---------------|---------------|
| | MÁXIMA (°C) | MÍNIMA (°C) | MEDIA (°C) | (mm.) | PRECIPITACIÓN |
| Abril | 28.7 | 15.3 | 22 | 4.3 | 1 |
| Mayo | 33 | 18 | 25.5 | 51.70 | 5 |
| Junio | 33.4 | 21.7 | 28 | 233.60 | 16 |
| Julio | 35 | 23 | 29 | 5.0 | 1 |
| Agosto | 35.5 | 23 | 29 | 0 | 0 |
| Septiembre | 32 | 21 | 26 | 111.0 | 8 |

3.2. Abonos orgánicos usados.

La composta (basura de origen orgánico) se utilizó a una dosis de 3.5 ton/ha, y se obtuvo de la Planta industrializadora de desperdicios sólidos urbanos ubicada en Monterrey, N.L.. La gallinaza, obtenida de la Procesadora de gallinaza, S.A. de C.V. en Zuazua, N.L. se usó a una dosis de 2 ton/ha. Las características químicas de los dos abonos de acuerdo al control de calidad de sus procesadoras se encuentran resumidos en el Cuadro 8. Las dosis incorporadas fueron determinadas de acuerdo a los rangos de aplicación utilizados en experimentos anteriores realizados en la FAUANL y en la región (López, 1980, Alcalá, 1989, Díaz, 1991, Villagómez, 1992, García, 1994), y al contenido de humedad y nitrógeno total de los abonos determinados en el laboratorio de suelos de la Facultad que fueron de 11% de humedad y 1.62% de N en la gallinaza y 17% de humedad y 0.94% de N en la composta. Se pretendió la incorporación de cantidades similares de nitrógeno total independientemente del abono utilizado. Los dos tipos de abonos fueron incorporados en banda al centro del surco.

Cuadro 8. Características químicas de la composta y de la gallinaza de acuerdo a sus procesadoras.

| | Composta (1) | Gallinaza (2) |
|----------------------|--------------|-----------------|
| Humedad (%) | --- | 10.82 |
| Nitrógeno total (%) | 1.895 | 2.61 |
| Cenizas (%) | --- | 45.86 |
| pH | 8.5 | 6.85 |
| Materia orgánica (%) | 37.965 | 43.33 |
| Carbono (%) | 22.021 | --- |
| Fósforo (%) | 0.895 | 2.173 |
| Potasio (%) | 0.300 | 2.211 |
| Calcio (%) | 6.300 | 16.681 |
| Manganeso | 0.078 (%) | 513.9 (ppm) |
| Fierro | 5.935 (%) | 2233.1 (ppm) |

(1) Boletín informativo sobre la Planta Industrializadora de desperdicios sólidos urbanos, Monterrey, N.L.

(2) Boletín informativo sobre la Procesadora de Gallinaza, S.A. de C.V.

3.3. Material de siembra y establecimiento del experimento.

Las leguminosas utilizadas fueron: trébol hubam (*Melilotus alba* var. *annua*), con un 78% de germinación y un 98% de pureza, y el frijol tépari (*Phaseolus acutifolius* var. *latifolius*. Gray), obtenida a través del "Proyecto de mejoramiento de maíz, frijol y sorgo (PMMFyS)" de la FAUANL, con un 96% de germinación.

Se usó un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo factorial incompleto donde se establecieron seis tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos evaluados fueron:

T1 = *Melilotus alba* + composta; **T2** = *Phaseolus acutifolius* + composta;

T3 = *Melilotus alba* + gallinaza; **T4** = *Phaseolus acutifolius* + gallinaza;

T5 = *Melilotus alba* sin abono (testigo); **T6** = *Phaseolus acutifolius* sin abono (testigo).

Los tratamientos fueron distribuidos aleatoriamente y se establecieron como se muestra en la figura 1.

Para fines de la discusión de los resultados estos tratamientos se identificaron como siguen: T + C = Trébol + composta; F + C = Frijol + composta; T + G = Trébol + gallinaza; F + G = Frijol + gallinaza; Frijol solo y Trébol solo.

| | | | | | | | |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------|
| | | | | | | 4.0 m | |
| RI | T2 | T1 | T4 | T3 | T5 | T6 | 7.0 m |
| RII | T1 | T3 | T6 | T5 | T4 | T2 | |
| RIII | T6 | T2 | T4 | T3 | T1 | T5 | |
| RIV | T3 | T6 | T5 | T1 | T2 | T4 | |

Fig. 1. Esquema de la distribución de los tratamientos en el campo.

Cada parcela experimental constó de 5 surcos de 0.8 m de ancho por 7 m de largo, quedando un surco de separación entre tratamientos y un espacio de 2.0 m entre repeticiones para las regaderas. Se consideró como parcela útil a los tres surcos centrales eliminando 1 m de orilla a lo largo del surco. Es decir, tres surcos centrales de 5 m de \neq largo.

Los datos obtenidos en el trabajo de campo se analizaron por un modelo de bloques al azar, analizando de forma separada los tratamientos de acuerdo a la especie de leguminosa. Para esto se establecieron las siguientes hipótesis estadísticas:

TREBOL

Ho. No existe diferencia entre tratamientos. $T1 = T3 = T5$.

Ha. Al menos un tratamiento es diferente. $T1 \neq T3 \neq T5$.

FRIJOL

Ho. No existe diferencia entre tratamientos. $T2 = T4 = T6$.

Ha. Al menos un tratamiento es diferente. $T2 \neq T4 \neq T6$.

Se utilizó el modelo general de bloques al azar que a continuación se describe:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

y_{ij} = es la observación del tratamiento i en el bloque j.

μ = es el efecto verdadero de la media general.

τ_i = es el efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = es el efecto del j-ésimo bloque.

ε_{ij} = es el error experimental.

Las variables obtenidas en el laboratorio, de las muestras de suelo (pH, % MO, CE, P, K, Fe, Mn, Cu y Zn) fueron analizadas por un diseño factorial cuyo modelo general es el siguiente:

$$y_{ijk} = \mu + i + L_j + A_k + L_j A_k + \varepsilon_{ijk}$$

Dónde:

y_{ij} = es la observación del tratamiento i en el bloque j .

μ = es el efecto verdadero de la media general.

i = es el efecto del i -ésimo bloque.

L_j = es el efecto de la j -ésima leguminosa

A_k = es el efecto del k -ésimo abono.

$L_j A_k$ = es el efecto de la interacción de la j -ésima leguminosa y el k -ésimo abono.

ε_{ij} = es el error experimental.

Los análisis de varianza (ANVA) de los datos obtenidos en el trabajo de campo (altura, área foliar y peso seco) y del trabajo de laboratorio (pH, % MO, P, K, Fe, Mn, Cu y Zn) fueron procesados con el paquete computacional LSMLMW de Walter R. Harvey versión 1990, en este mismo programa, se corrieron las comparaciones de medias de los tratamientos con diferencias estadísticamente significativas mediante el método de contrastes ortogonales. El procesamiento de estos análisis, fue auxiliado por el programa de Diseños experimentales de E. Olivares S. de la FAUANL versión 1994.

Después de haber realizado los ANVA se llevó a cabo un análisis de correlación de todas las variables obtenidas durante el experimento, el que se procesó mediante el programa computacional Statistical Package for Social Sciences (SPSS) versión 3.0 (1990). De aquí se seleccionaron los datos cuyos grados de correlación fueran lógicos y el coeficiente de correlación mostrado fuera superior al 65% ($r > 0.65$) debido a que con las variables que presenten estas características se puede tener una alta capacidad de predicción al proponer un modelo estadístico.

Con las variables seleccionadas, mediante el análisis de correlación se procesó un análisis de regresión mediante el mismo programa computacional, y se estableció el mejor modelo estadístico para estas variables.

3.3.1. Trabajo de campo

La siembra de ambos cultivos se realizó en forma manual el 9 de marzo de 1994. *Melilotus alba* se sembró al voleo dentro del surco, a la dosis comercial recomendada de 25 kg./ha. Y *Phaseolus acutifolius* se sembró a chorrillo en el centro del surco a una densidad media de acuerdo al PMMFyS de 187,500 pl/ha que equivalen a 23.7 kg./ha. Tanto la composta como la gallinaza fueron incorporadas 24 horas antes de la siembra.

Posterior a la siembra (24 horas después) se efectuó el primer riego al experimento, los riegos subsecuentes fueron administrados cuando se consideró que los cultivos presentaban necesidades de agua. En el cuadro 9 se muestra el resumen de las actividades de campo.

3.4. Observaciones de la planta.

La emergencia se inició 15 días después de la siembra, para el frijol y 25 días después para el trébol.

A partir de los 10 días después de la emergencia del frijol, se efectuaron los muestreos para altura, área foliar y peso seco, cada 15 días hasta el momento de la cosecha. En el trébol la toma de las alturas, la determinación de área foliar y la evaluación del peso seco se inició 15 días después de la emergencia siguiendo el mismo patrón de muestreos que en el frijol.

La toma de alturas se llevó a cabo con una regla graduada, desde el raz del suelo hasta la última hoja en ambas especies, se midieron 10 plantas seleccionadas al azar en cada tratamiento en cada una de las cuatro repeticiones; para la determinación del área foliar se seleccionaron 3 plantas al azar de cada tratamiento en las cuatro repeticiones, las hojas fueron separadas del tallo y se calculó el área foliar mediante un integrador de área foliar LI-COR modelo LI-3050A/4 . El peso seco se evaluó en las plantas completas después de la determinación de su área foliar. Durante el transcurso del experimento se consideraron 4 fechas de muestreo para *M. alba* y 5 fechas para *P. acutifolius*.

Cuadro 9. Calendarización de las actividades de campo durante el desarrollo del experimento.

| FECHA | ACTIVIDAD |
|---------------|------------------------------------------------------------------------|
| 23/febrero/93 | Toma de muestras de suelo antes de establecer los tratamientos. |
| 8/marzo/93 | Incorporación de los abonos orgánicos (composta y gallinaza) |
| 9/marzo/93 | Siembra del frijol y del trébol. |
| 10/marzo/93 | Riego. |
| 16/marzo/93 | Emergencia del frijol. |
| 19/marzo/93 | Riego. |
| 22/marzo/93 | Emergencia del trébol. |
| 5/abril/93 | 1ª toma de datos de campo, para frijol. |
| 6/abril/93 | Riego. |
| 14/abril/93 | 1ª toma de muestras de suelo después de establecidos los tratamientos |
| 19/abril/93 | 1ª toma de datos de campo, para trébol. |
| 20/abril/93 | 2ª toma de datos de campo, para frijol. |
| 27/abril/93 | Riego. |
| 1/mayo/93 | 2ª toma de muestras de suelo después de establecidos los tratamientos |
| 3/mayo/93 | 2ª toma de datos de campo, para trébol. |
| 4/mayo/93 | 3ª toma de datos de campo, para frijol. |
| 15/mayo/93 | 3ª toma de muestras de suelo después de establecidos los tratamientos |
| 19/mayo/93 | 3ª toma de datos de campo, para trébol. |
| 21/mayo/93 | 4ª toma de datos de campo, para frijol. |
| 25/mayo/93 | 1ª cosecha de frijol (solo vainas maduras). |
| 31/mayo/93 | 4ª toma de datos de campo, para trébol. |
| 1/junio/93 | 5ª toma de datos de campo, para frijol. |
| 10/junio/93 | Corte del trébol (planta completa) y reincorporación al suelo. |
| 11/junio/93 | 2ª cosecha de frijol (totalidad de vainas). |
| 24/junio/93 | 4ª toma de muestras de suelo después de establecidos los tratamientos. |
| 30/junio/93 | Corte de la planta completa de frijol y reincorporación al suelo. |
| 1/julio/93 | 5ª toma de muestras de suelo después de establecidos los tratamientos |
| 20/julio/93 | 6ª toma de muestras de suelo después de establecidos los tratamientos |
| 20/agosto/93 | 7ª toma de muestras de suelo después de establecidos los tratamientos. |

3.5. Muestreo de suelo.

La toma de muestras de suelo se realizó desde el comienzo del experimento, llevándose a cabo el primer muestreo antes de la ubicación de las parcelas experimentales, se tomaron 5 puntos de muestreo en el área delimitada para el experimento y se trabajó como una muestra compuesta en el laboratorio. En el Cuadro 10, se muestran los resultados de laboratorio obtenidos de esta muestra compuesta (guías de interpretación de los análisis de suelo en el Apéndice 1).

Cuadro 10. Análisis de la muestra compuesta de suelo, antes de establecer los tratamientos.

| pH | % MO | CE (mhos) | P (ppm) | K (meq/100ml) | Fe (ppm) | Cu (ppm) | Mn (ppm) | Zn (ppm) |
|------|------|--------------|------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 8.18 | 1.45 | 2.1 | 0.89 | 0.0295 | 9.1 | 3.1 | 5.8 | 3.2 |

Después del establecimiento de los tratamientos se realizaron tomas de muestra de suelo de todos los tratamientos en las cuatro repeticiones hasta después de la incorporación del cultivo, aproximadamente cada 20 días, en total se llevaron a cabo 8 muestreos de suelo durante el transcurso del experimento; las muestras de suelo se tomaron en estrato de 0-30 cm. utilizando una barrena y una pala de jardinería. Estas fueron secadas a la sombra a temperatura ambiente y posteriormente se tamizaron con un tamiz de malla # 20 de perforaciones de 2 mm. de diámetro y se procesaron en el laboratorio de suelos de la FAUANL.

3.6. Cosecha.

A los 96 días de la siembra se realizó una primera cosecha en frijol, colectando las vainas maduras, obteniendo una segunda cosecha de vainas maduras, una semana después (a los 103 días), las vainas fueron deshidratadas en una cámara de secado y se calculó el peso de la producción de grano con un contenido de 12% de humedad; dos semanas después de la primera cosecha se cortó la planta completa y este follaje fue reincorporado al suelo, colectando previamente una muestra fresca de follaje para determinar la incorporación de biomasa, peso seco, al suelo.

En trébol, se realizó un solo corte a los 90 días de la siembra, el corte se efectuó al ras del suelo, se pesó la biomasa cosechada y se tomó una muestra en peso fresco para determinar la materia seca total producida por tratamiento. El follaje fue reincorporado al suelo.

Durante el transcurso del ciclo del cultivo y principalmente al 50% de la floración, para ambas especies, se obtuvieron plantas de los surcos de orilla, con las raíces completas y un volumen adecuado de rizoosfera para supervisar la presencia de nódulos activos de *Rhizobium*.

3.7. Trabajo de laboratorio.

El trabajo de laboratorio consistió en analizar algunas variables químicas y biológicas del suelo. Las variables químicas se determinaron en el Laboratorio de Suelos, y las variables de tipo microbiológico en el Laboratorio de Biotecnología microbiana, ambos situados en la FAUANL.

3.7.1. Análisis químico de suelo.

En el laboratorio de suelos de la FAUANL se procesaron las muestras de suelo para las siguientes determinaciones: % de materia orgánica (MO), pH, conductividad eléctrica (CE), contenido de N total (Nt), de fósforo (P), de potasio (K), de cobre (Cu), de hierro (Fe), de manganeso (Mn) y de zinc (Zn).

El contenido de materia orgánica se determinó mediante el método de Walkley y Black; para la determinación de pH se utilizó un potenciómetro marca Química Instrumental modelo CL351 la dilución de suelo usada fue de 1:2 (10 g de suelo: 20 ml de agua), de acuerdo al estándar manejado por el Lab. de suelos de la FAUANL; la conductividad eléctrica fue determinada por el puente de Wheatstone, modelo RD 26, SER: 18765 de Beckman Instruments Inc. de un extracto acuoso de suelo (200 g de suelo a saturación); el método de Olsen modificado por el Centro de Agricultura Tropical y Enseñanza (CATIE) para micronutrientes fue usado para determinar el contenido de fósforo, potasio, cobre, hierro, manganeso y zinc. Para la determinación de fósforo se usó un fotolorímetro PMQ3-MQ3 marca Zeiss Serie: 131.355; y para determinar el contenido de potasio, cobre, hierro, manganeso y zinc se utilizó el equipo Atom-Absorptions-Spektrometer FMD4 marca Zeiss.

3.7.2. Análisis microbiológico de suelo.

El análisis microbiológico del suelo consistió en la determinación del contenido total de bacterias, hongos y actinomicetos, de la rizoosfera, en tres fechas de muestreo (inicio, medio y final) de suelo. Se utilizó el método de dilución en placa con medios de cultivo selectivos para cada tipo de microorganismo, Agar-levadura-manitol (ALM) para bacterias, Agar-Dextrosa-Papa (PDA) para hongos y Czapeck para actinomicetos (Apéndice 2). Asumiendo, que cada organismo individual es capaz de formar una colonia, al final de la etapa de crecimiento se contaron las colonias presentes, extrapolando estos datos a 1 g de suelo seco. Las diluciones usadas, se determinaron realizando pruebas previas al análisis, para determinar en que diluciones existía un buen crecimiento de estos microorganismos y además que fueran factibles de contar. Para tener menor rango de error en cuanto al número y crecimiento de las colonias, se sembraron dos diluciones por microorganismo, con dos repeticiones en cada dilución. Así, las diluciones usadas fueron: 1:100,000 (10^{-5}) y 1:1,000,000 (10^{-6}) para bacterias, 1:10,00 (10^{-4}) y 1:100,00 (10^{-5}) para actinomicetos y, 1:1000 (10^{-3}) y 1:10,000 (10^{-4}) para hongos, efectuándose el conteo de colonias a los 3, 5 y 6 días después de la siembra, respectivamente. El conteo se realizó a simple vista colocando las cajas a trasluz, considerando las características diferenciales de cada microorganismo.

V. RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1. Resultados de la etapa de campo del experimento.

Los datos de campo, fueron analizados estadísticamente, de manera independiente, para observar las diferencias que existen entre tratamientos que involucran especies diferentes. De tal manera, que las comparaciones fueron hechas entre abonos y entre fechas de muestreo dentro de una misma especie, para las siguientes variables: área foliar, altura peso seco y rendimiento.

Para el frijol, los análisis estadísticos mostraron diferencias altamente significativas en el área foliar y el peso seco ($p \leq 0.01$) en cuanto al tipo de abono utilizado, en la comparación de medias que se muestra en el Cuadro 11 se observa que la gallinaza resultó ser el mejor abono y estadísticamente diferente a los otros tratamientos, en estas variables. Esto se debe probablemente, a la capacidad de mineralización más acelerada por parte de la gallinaza en comparación con la composta, lo que permite la presencia de compuestos nutritivos para la planta casi de manera inmediata, observándose la respuesta por parte de ella en el ciclo en cuestión. Así, observamos un mayor crecimiento en área y en número de hojas que dan como resultado un peso seco mayor.

Cuadro 11. Comparación de las medias del área foliar (cm²) y del peso seco (g) de 15 plantas de frijol.

| ABONO | AREA FOLIAR | ABONO | PESO SECO |
|-----------|-------------|-----------|-----------|
| Gallinaza | 911.29 a | Gallinaza | 15.94 a |
| Composta | 689.53 b | Sin abono | 11.77 b |
| Sin abono | 674.43 b | Composta | 11.59 b |

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.01$).

Se encontró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en la altura, para frijol, con respecto al tipo de abono utilizado. La comparación de medias que se observa en el Cuadro 12, muestra que los dos abonos utilizados fueron estadísticamente iguales entre ellos, pero estadísticamente diferentes al tratamiento en donde no se abonó, lo que indica indudablemente que los suelos abonados presentan un ambiente más apropiado para el crecimiento de las plantas, que los no abonados.

Cuadro 12. Comparación de las medias de altura (cm) de 50 plantas de frijol.

| ABONO | ALTURA |
|-----------|-----------|
| Gallinaza | 25.22 a |
| Composta | 25.07 a b |
| Sin abono | 23.88 b |

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$).

En el trébol, la gallinaza fue el mejor abono para la altura, en donde se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) con respecto a los otros tratamientos (Cuadro 13), esto nos permite establecer que la rápida disposición de

nitrógeno al descomponerse la gallinaza de una manera más acelerada que la composta, redundando en el crecimiento del follaje de la planta, incrementándose el porte de ella.

Cuadro 13. Comparación de las medias de la altura (cm) de 50 plantas de trébol.

| ABONO | ALTURA | |
|-----------|--------|---|
| Gallinaza | 58.86 | a |
| Sin abono | 56.13 | b |
| Composta | 55.91 | b |

Letras diferentes indican que no existe diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

Con respecto al área foliar y al peso seco, no se encontraron diferencias significativas entre abonos, para estas variables. Sin embargo, las tendencias mostraron que las plantas que no se habían abonado resultaron más favorecidas, como se observa en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Efecto de los abonos sobre el área foliar (cm²) y el peso seco (g) del trébol.

| ABONO | AREA FOLIAR | PESO SECO |
|-----------|-------------|-----------|
| Sin abono | 641.67 | 8.66 |
| Composta | 583.22 | 7.47 |
| Gallinaza | 557.61 | 7.90 |

No hubo diferencia significativa ($p > 0.1$)

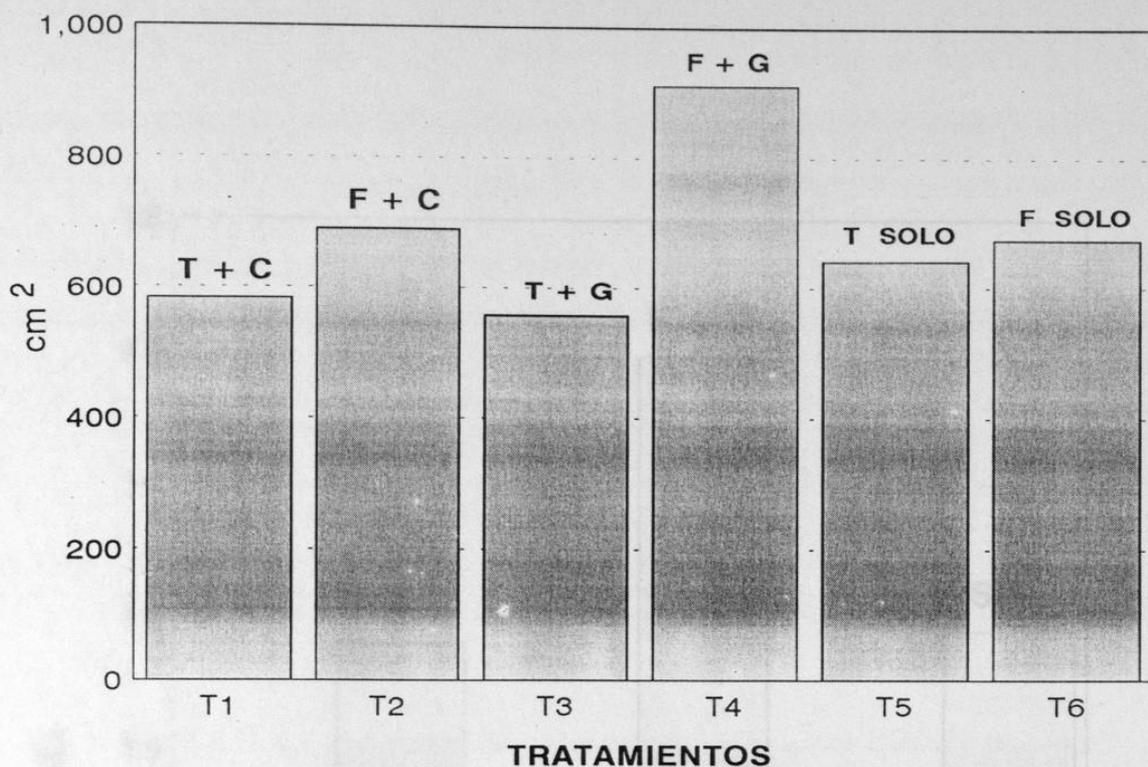


Fig. 2. Comportamiento del área foliar en los diferentes tratamientos.

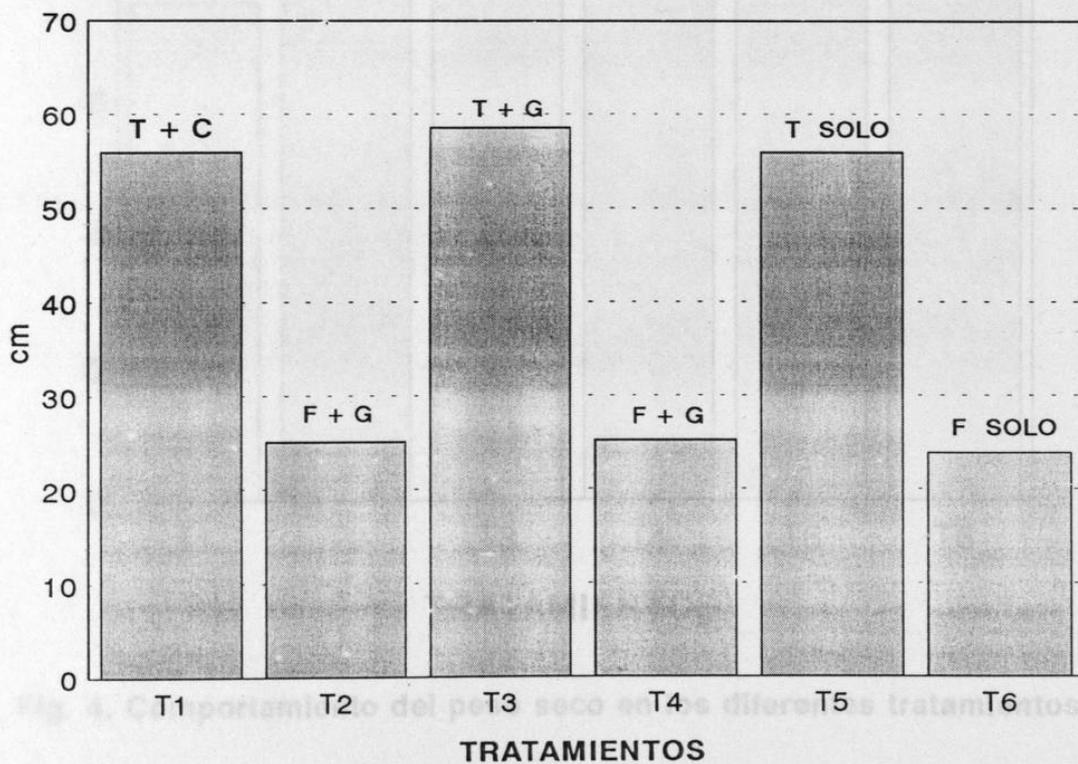


Fig. 3. Comportamiento de la altura en los diferentes tratamientos.

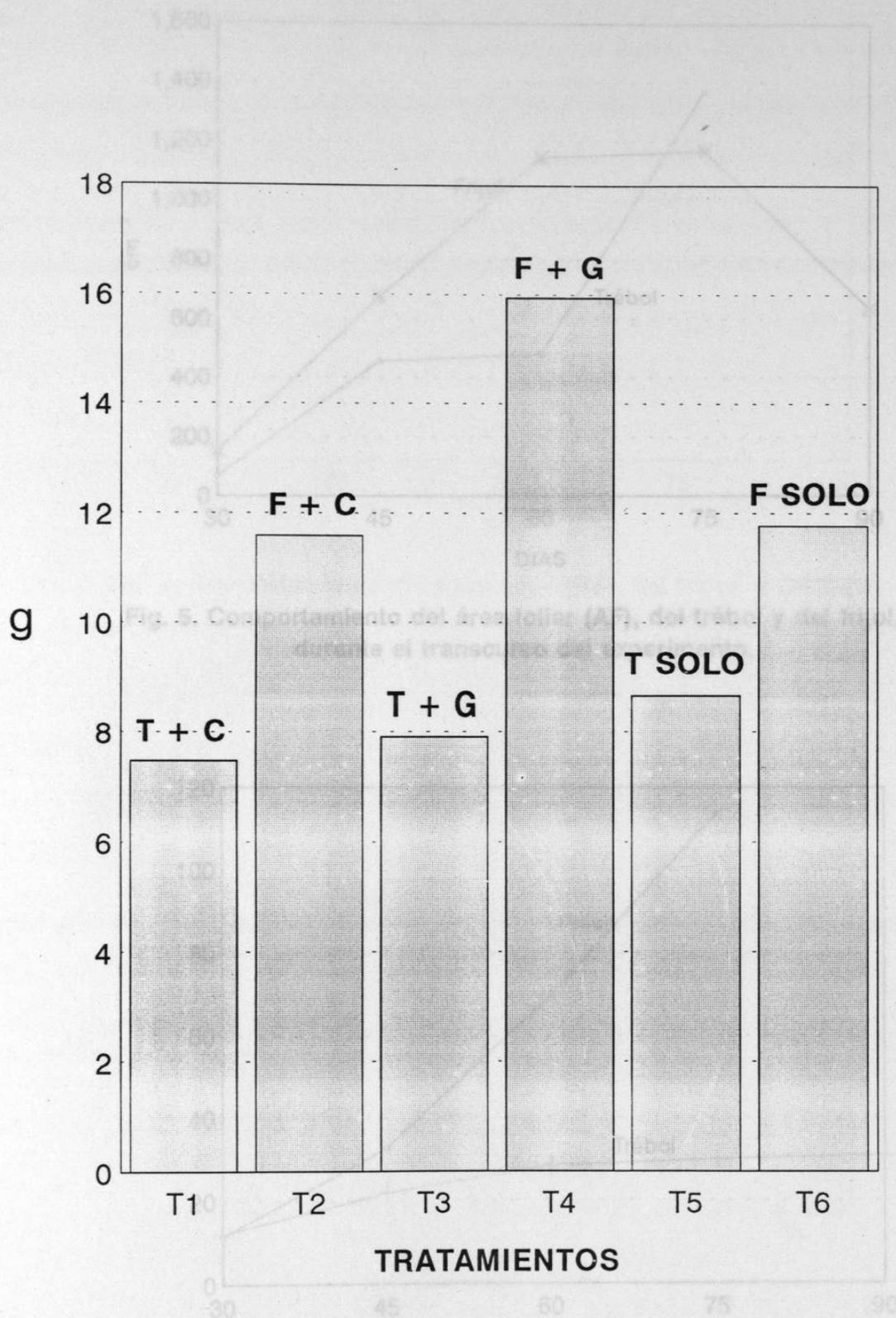


Fig. 4. Comportamiento del peso seco en los diferentes tratamientos.

Fig. 5. Comportamiento de la altura (ALT), del trébol y del frijol, durante el transcurso del experimento.

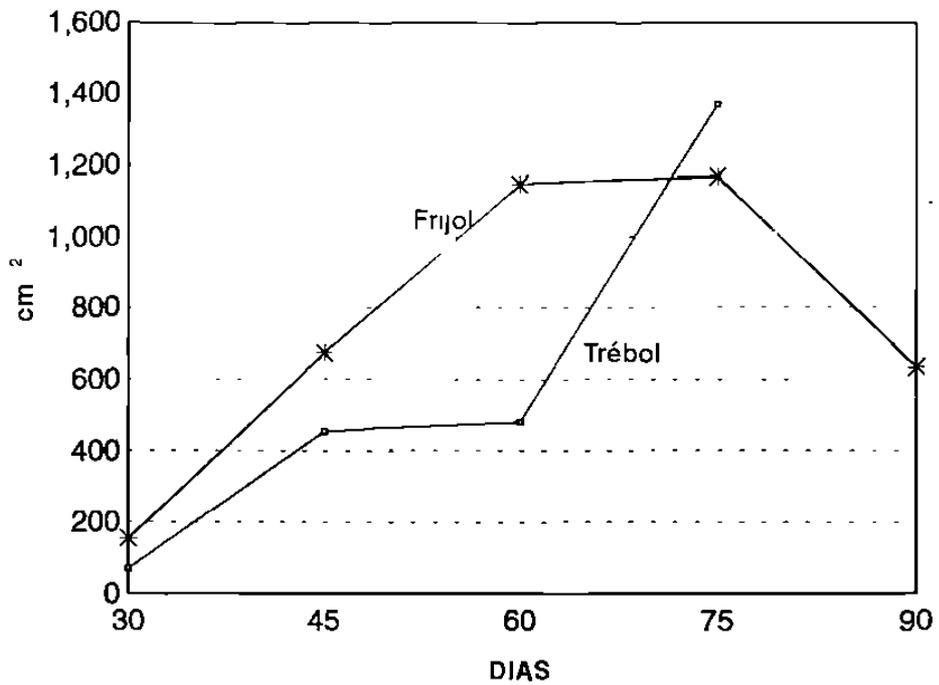


Fig. 5. Comportamiento del área foliar (AF), del trébol y del frijol, durante el transcurso del experimento.

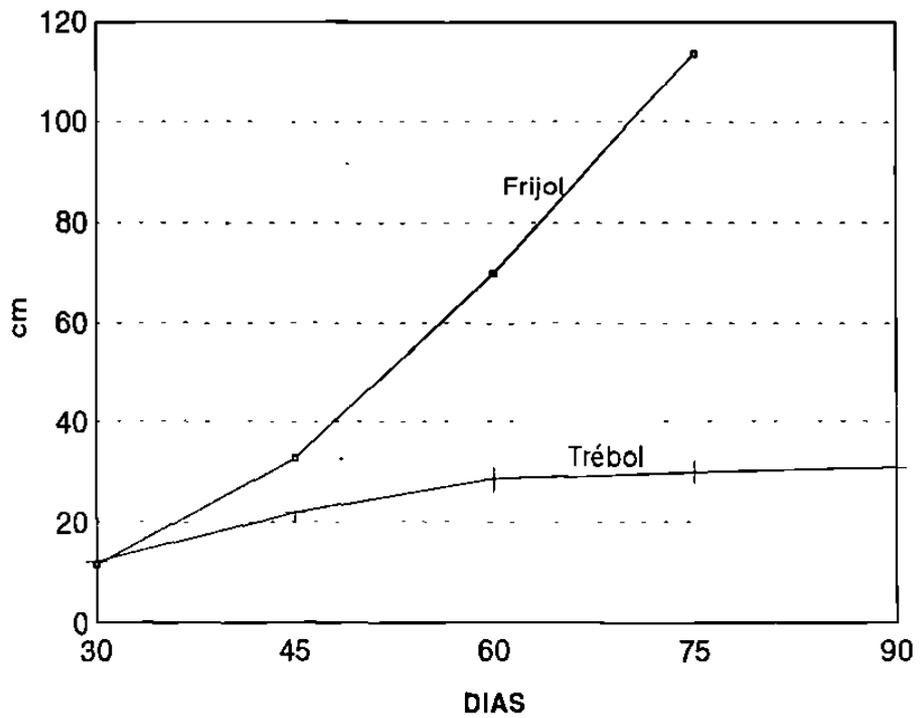


Fig. 6. Comportamiento de la altura (ALT), del trébol y del frijol, durante el transcurso del experimento.

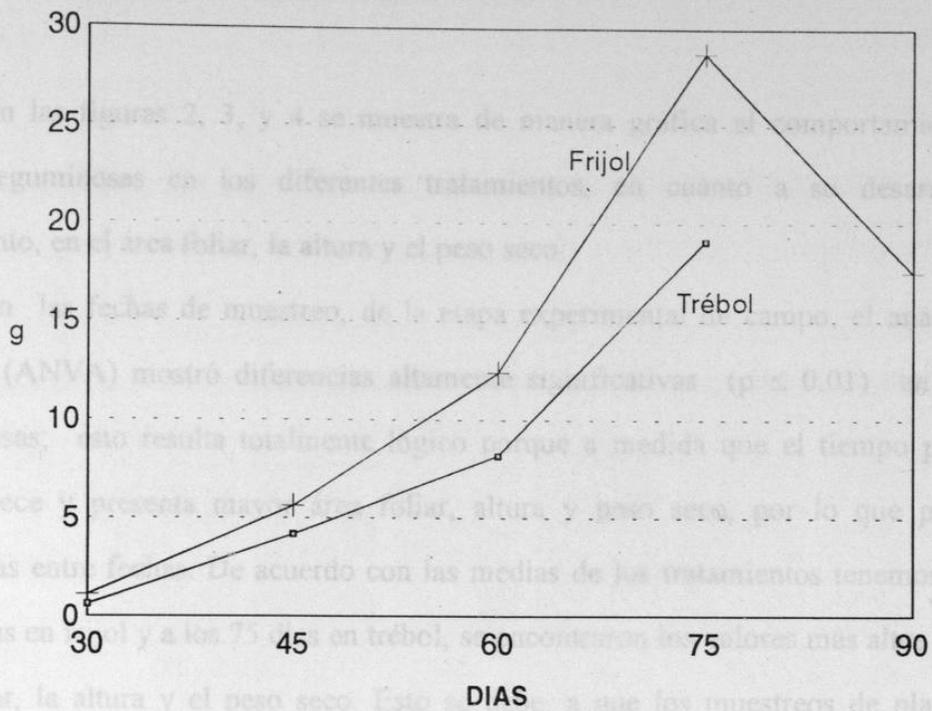


Fig. 7. Comportamiento del peso seco (PS), del trébol y del frijol, durante el transcurso del experimento.

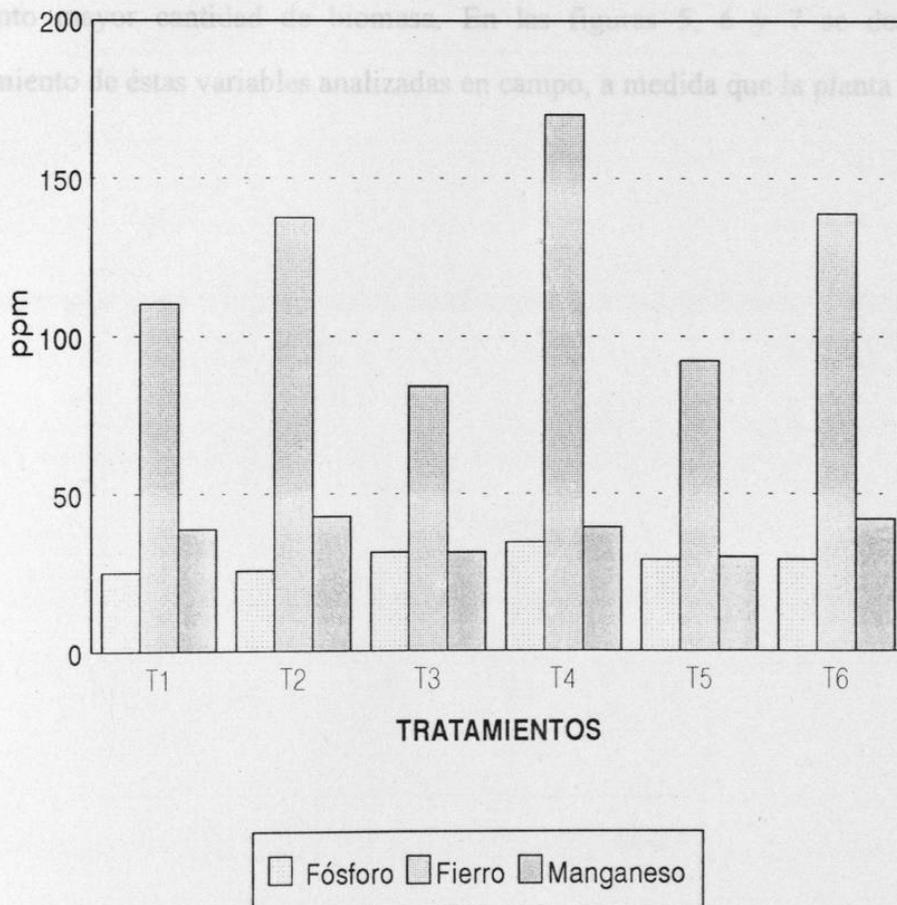


Fig. 8. Efecto de los tratamientos en la cantidad de P, K, Fe y Mn.

En las figuras 2, 3, y 4 se muestra de manera gráfica el comportamiento de ambas leguminosas en los diferentes tratamientos, en cuanto a su desarrollo y crecimiento, en el área foliar, la altura y el peso seco.

En las fechas de muestreo, de la etapa experimental de campo, el análisis de varianza (ANVA) mostró diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en ambas leguminosas; esto resulta totalmente lógico porque a medida que el tiempo pasa, la planta crece y presenta mayor área foliar, altura y peso seco, por lo que presenta diferencias entre fechas. De acuerdo con las medias de los tratamientos tenemos que a los 75 días en frijol y a los 75 días en trébol, se encontraron los valores más altos para el área foliar, la altura y el peso seco. Esto se debe, a que los muestreos de plantas se realizaron hasta la madurez fisiológica de la misma, antes de la caída de la curva de crecimiento. Así, a mayor edad de la planta, mayor número de hojas, mayor altura, y por lo tanto mayor cantidad de biomasa. En las figuras 5, 6 y 7 se describe el comportamiento de éstas variables analizadas en campo, a medida que la planta crece.

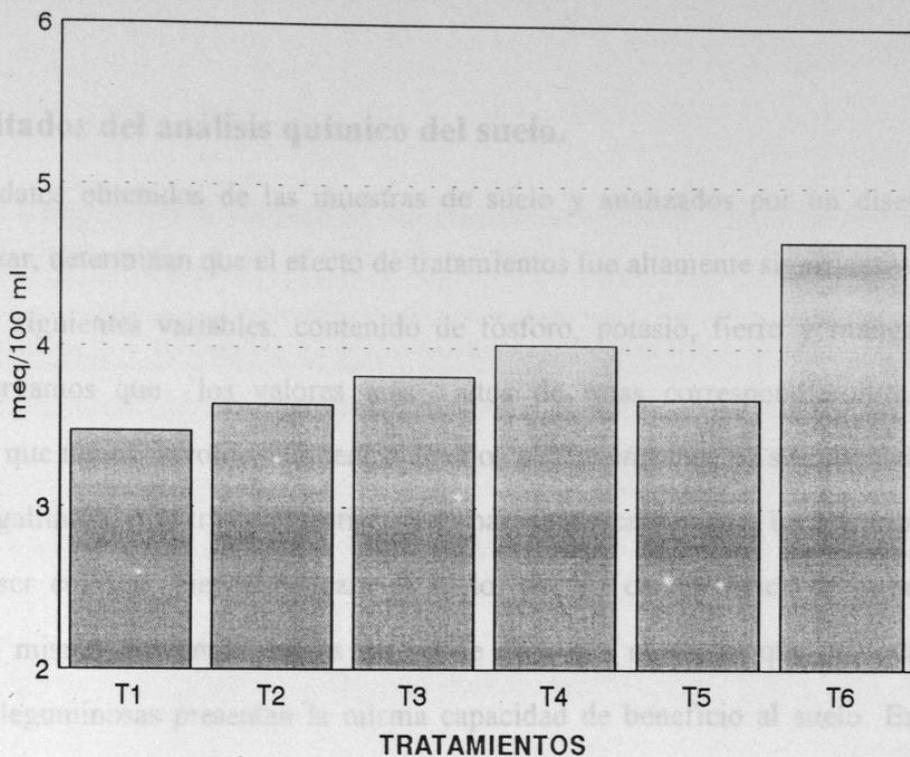


Fig. 9. Efecto de los tratamientos en la cantidad de K.

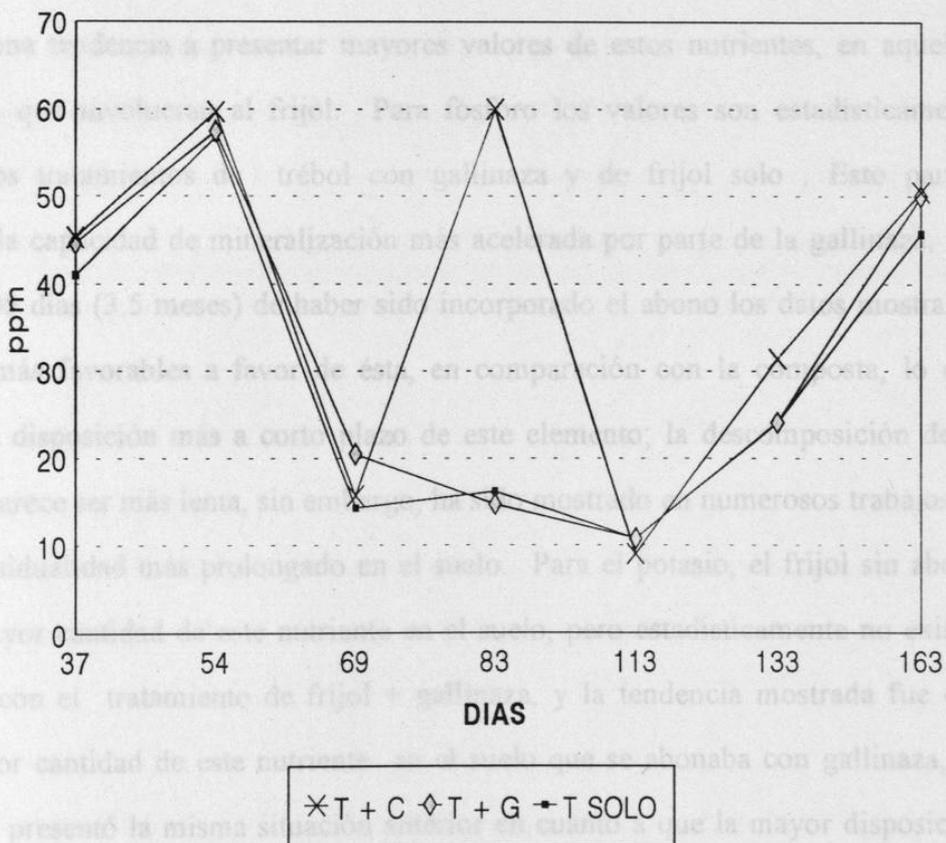


Fig. 10. Efecto de la interacción tratamiento-fecha en la presencia de manganeso, en los tratamientos con trébol.

4.2. Resultados del análisis químico del suelo.

Los datos obtenidos de las muestras de suelo y analizados por un diseño de bloques al azar, determinan que el efecto de tratamientos fue altamente significativo ($p \leq 0.01$) en las siguientes variables: contenido de fósforo, potasio, fierro y manganeso. Donde observamos que los valores más altos de éstas correspondieron a los tratamientos que tienen involucrado dentro de ellos a *P. acutifolius*, ya sea abonado con composta o gallinaza, o se trate del testigo. Esto parece indicarnos que las leguminosas, a pesar de ser cultivos benéficos para el suelo, por su característica de aporte de nutrientes al mismo, presentan rangos dentro de ellas que muestran que no todas las especies de leguminosas presentan la misma capacidad de beneficio al suelo. En este caso particular el frijol tépari presentó tendencias, aparentemente, de mayor beneficio, que el trébol hubam, en cuanto a la presencia de ciertos nutrientes esenciales en el suelo.

En la comparación de medias del Cuadro 15, de fósforo y potasio, se observa que existe una tendencia a presentar mayores valores de estos nutrientes, en aquellos tratamientos que involucran al frijol. Para fósforo los valores son estadísticamente iguales a los tratamientos de trébol con gallinaza y de frijol solo. Esto parece indicarnos, la capacidad de mineralización más acelerada por parte de la gallinaza, ya que a los 105 días (3.5 meses) de haber sido incorporado el abono los datos mostraron tendencias más favorables a favor de ésta, en comparación con la composta, lo que permite una disposición más a corto plazo de este elemento; la descomposición de la composta, parece ser más lenta, sin embargo, ha sido mostrado en numerosos trabajos su poder de residualidad más prolongado en el suelo. Para el potasio, el frijol sin abono presentó mayor cantidad de este nutriente en el suelo, pero estadísticamente no existió diferencia con el tratamiento de frijol + gallinaza, y la tendencia mostrada fue que existió mayor cantidad de este nutriente en el suelo que se abonaba con gallinaza, en este caso se presentó la misma situación anterior en cuanto a que la mayor disposición de este elemento existió a los 3.5 meses de haber sido incorporado el abono.

Cuadro 15. Comparación de las medias por tratamiento para el contenido de fósforo (ppm) y de potasio (meq/100ml).

| Tratamiento | Fósforo (P) | Tratamiento | Potasio (K) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| F + G | 34.472 a | Frijol solo | 4.665 a |
| T + G | 31.266 a | F + G | 4.025 ab |
| Frijol solo | 28.985 ab | T + G | 3.825 b |
| Trébol solo | 28.881 ab | Trébol solo | 3.676 b |
| F + C | 25.524 b | F + C | 3.639 b |
| T + C | 25.016 b | T + C | 3.468 b |

Letras diferentes indican que existe diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

En el Cuadro 16 tenemos la comparación de medias por tratamiento para dos de los micronutrientes que presentaron efecto significativo de tratamientos, los mayores valores se encontraron, en los tratamientos: frijol + gallinaza para fierro, y en frijol + composta para manganeso, en los dos casos estos valores resultaron estadísticamente iguales a el testigo de frijol, y a los tratamientos restantes de frijol. Parece existir una especificidad en cuanto al tipo de leguminosa, para el aporte mayor al suelo de estos micronutrientes, ya que no se mostró ninguna tendencia en cuanto al tipo de abono utilizado.

Cuadro 16. Comparación de las medias por tratamiento para el contenido de hierro (ppm) y de manganeso (ppm).

| Tratamiento | Fierro (Fe) | | Tratamiento | Manganeso (Mn) | |
|-------------|-------------|----|-------------|----------------|-----|
| F + G | 170.254 | a | F + C | 42.815 | a |
| Frijol solo | 138.865 | ab | Frijol solo | 41.974 | a |
| F + C | 137.505 | ab | F + G | 39.585 | ab |
| T + C | 110.251 | bc | T + C | 38.778 | abc |
| Trébol solo | 92.353 | c | T + G | 31.312 | bc |
| T + G | 84.157 | c | Trébol solo | 29.846 | c |

Letras diferentes indican que existe diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

En las figuras 8 y 9 se observa de forma gráfica, la tendencia de las variables analizadas en el suelo, que resultaron significativas por efecto del tratamiento.

El ANVA del modelo factorial, utilizado para las variables analizadas en el suelo nos indicó efectos estadísticamente significativos, en cuanto al tipo de abono utilizado para el contenido de fósforo ($p \leq 0.01$) y al contenido de potasio ($p \leq 0.05$) y efectos estadísticamente significativos de la leguminosa utilizada, para la presencia de hierro ($p \leq 0.01$), manganeso ($p \leq 0.01$) y potasio ($p \leq 0.05$). Estadísticamente, no existió diferencia significativa para el caso de la interacción (abono-leguminosa) para cualquiera de las variables analizadas en suelo.

En la comparación de medias entre abonos utilizados (Cuadro 17), tenemos que, para fósforo existió una tendencia de la gallinaza a aportar mayor cantidad del nutrimento al suelo, estadísticamente la gallinaza es igual al testigo (sin abono); situación que no se ve reflejada en la presencia del potasio, debido a que éste se vio incrementado cuando existía ausencia de los dos abonos utilizados. La tendencia fue de que la gallinaza presentó mayores cantidades de fósforo y potasio, que la composta. Sin

embargo, como los resultados son estadísticamente iguales entre la gallinaza y la ausencia de abono, para el fósforo, muestran que la leguminosa por sí sola tiene un efecto importante en la presencia de este nutriente en el suelo. Posiblemente la incorporación del abono junto con la leguminosa provee un ambiente más rico en nutrientes a los microorganismos de la rizoosfera que tendrán una mayor capacidad de multiplicarse y agotar las fuentes alimenticias de forma más acelerada, es decir, existirá un mayor número de consumidores, disminuyendo la presencia de los nutrientes en el suelo, cuando existe una combinación leguminosa-abono.

Cuadro 17. Comparación de las medias del contenido de fósforo (ppm) y de potasio (meq/100 ml), de acuerdo al tipo de abono utilizado.

| ABONO | Fósforo | ABONO | Potasio |
|-----------|----------|-----------|---------|
| Gallinaza | 32.87 a | Testigo | 4.17 a |
| Testigo | 28.93 ab | Gallinaza | 3.92 b |
| Composta | 25.27 b | Composta | 3.55 b |

Letras diferentes indican que existe diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

En la comparación de medias de las variables cuyas diferencias fueron significativas por efecto de la leguminosa utilizada (Cuadro 18), tenemos que la presencia de potasio, fierro y manganeso siempre se vieron favorecidas por el *P. acutifolius*. Esto también lo pudimos observar en los ANVA de los diferentes tratamientos (Cuadros 15 y 16), donde los tratamientos que resultaron estadísticamente significativos para estas variables fueron los de frijol. Es decir, que puede existir especificidad para un mayor aporte de nutrientes dependiendo de la leguminosa de que se trate ó por otro lado el trébol hubam presenta una mayor demanda de estos nutrientes del suelo lo que provoca un mayor agotamiento de ellos en el mismo. Esto, tal vez se

deba , a que el trébol es una planta de mayor porte, y mayor biomasa, por lo tanto, tendrá mayores requerimientos de nutrientes.

Cuadro 18. Comparaciones de las medias del contenido de potasio (ppm), de fierro (ppm) y de manganeso (ppm), de acuerdo a la especie de leguminosa utilizada.

| LEGUMINOSA | POTASIO | FIERRO | MANGANESO |
|------------|---------|----------|-----------|
| Frijol | 4.11 a | 148.87 a | 41.36 a |
| Trébol | 3.66 b | 95.44 b | 33.36 b |

Letras diferentes indican que existe diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

De todas las variables analizadas en suelo (pH, contenido de materia orgánica (MO), conductividad eléctrica (CE), contenido de: fósforo (P), de potasio (K), de fierro (Fe), de cobre (Cu), de manganeso (Mn) y de zinc (Zn), solo existió diferencia significativa de la interacción fecha-tratamiento para manganeso en una de las leguminosas utilizadas en el experimento. En el Cuadro 19 observamos la comparación de medias de los tratamientos con trébol por fechas de muestreo. Donde se logra ver que existe una tendencia a presentar un mayor aporte de manganeso al suelo por parte del tratamiento de trébol + composta a todo lo largo del experimento. En general se observa que la mayor presencia de manganeso se da en los primeras y últimas fechas de muestreo del suelo, 54 y 37 días después de la incorporación del abono y de la siembra del cultivo y 163 días después, una vez reincorporado la materia verde al suelo; al final del ciclo vegetativo del trébol. Tal situación, parece indicar que en estas etapas del experimento, el proceso de mineralización de la materia orgánica así como la baja necesidad de nutrientes por parte del cultivo por su recién inicio de crecimiento y desarrollo, y la descomposición de la materia verde al final del ciclo del trébol,

permitieron la mayor aportación de este microelemento al suelo, elevando las cantidades totales del mismo. En la figura 10 se muestra gráficamente la dinámica del cobre a través del transcurso del experimento, en los tratamientos con trébol, para los que resultó un efecto estadísticamente significativo de la interacción fecha-tratamiento. La figura muestra que el tratamiento que presentó un mayor aporte de cobre al suelo fue el de trébol + composta, a los 83 días tal como lo indica la comparación de medias del Cuadro 19.

Cuadro 19. Comparación de las medias del contenido de manganeso (ppm) en los tratamientos con trébol, de acuerdo a las fechas de muestreo .

| Días | T + C | Días | T + G | Días | Trébol solo |
|------|-----------|------|-----------|------|-------------|
| 83 | 60.01 a | 54 | 57.49 ab | 54 | 56.75 ab |
| 54 | 59.74 ab | 163 | 49.94 abc | 163 | 45.70 abc |
| 163 | 50.55 ab | 37 | 44.61 abc | 37 | 41.04 bcd |
| 37 | 45.13 abc | 133 | 24.10 def | 133 | 24.10 def |
| 133 | 31.40 cde | 69 | 20.53 ef | 83 | 16.20 ef |
| 69 | 15.68 ef | 83 | 14.72 ef | 69 | 14.30 ef |
| 113 | 8.9 f | 113 | 10.82 f | 113 | 10.81 f |

Letras diferentes indican que existe diferencia estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$).

4.3. Resultados del análisis microbiológico del suelo.

El análisis microbiológico del suelo, se llevó a cabo para dos diluciones de bacterias, de hongos y de actinomicetos. El ANVA de cada una de estas diluciones, indicó que no existió efecto significativo del abono, de la leguminosa, o de la interacción abono-leguminosa, así como de la interacción abono-leguminosa-fecha para alguna de estas variables. Existió una tendencia de variación en la dinámica poblacional de algunas diluciones de bacterias y actinomicetos, tanto en los tratamientos de frijol como de trébol, pero esto se explica básicamente por el comportamiento inherente en la

cantidad de los microorganismos del suelo al presentarse las condiciones microambientales adecuadas para su desarrollo cuando existe la presencia de un cultivo.

De manera descriptiva se muestra en la figura 11 la dinámica poblacional que presentaron los microorganismos del suelo a través del desarrollo del experimento.

4.4. Análisis de correlación.

En el Cuadro 20 se muestran las variables que presentaron las características definidas al procesar el análisis de correlación, después de analizar todo el conjunto de variables del experimento.

Cuadro 20. Variables con los coeficientes más altos de correlación ($p \leq 0.001$) del conjunto total de variables del experimento.

| | Bact 10 ⁻⁵ | Bact 10 ⁻⁶ | Actin 10 ⁻⁴ | Area foliar |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-------------|
| Hong 10 ⁻³ | 0.7361 ** | 0.6962 ** | 0.6876 ** | - 0.0760 |
| Hong 10 ⁻⁴ | 0.7421 ** | 0.6119 ** | 0.7368 ** | - 0.1197 |
| Altura | 0.0144 | 0.0367 | - 0.1508 | 0.6799 ** |
| Peso seco | 0.0332 | 0.0854 | - 0.1990 * | 0.8583 ** |

En este cuadro podemos observar que las más altas correlaciones se obtuvieron básicamente en los datos microbiológicos, lo que nos permite indicar que al mejorarse el ambiente para el desarrollo de cualquiera de los microorganismos analizados en el suelo (bacterias, hongos o actinomicetos), la presencia de estos influirá fuertemente en el desarrollo y crecimiento de los demás. En este cuadro también podemos observar que el área foliar tiene una alta correlación con la altura y el peso seco, y es que existe un crecimiento proporcionalmente lineal en la planta, el aumento o disminución de cualquiera de estas características tendrá un efecto en igual magnitud en las otras.

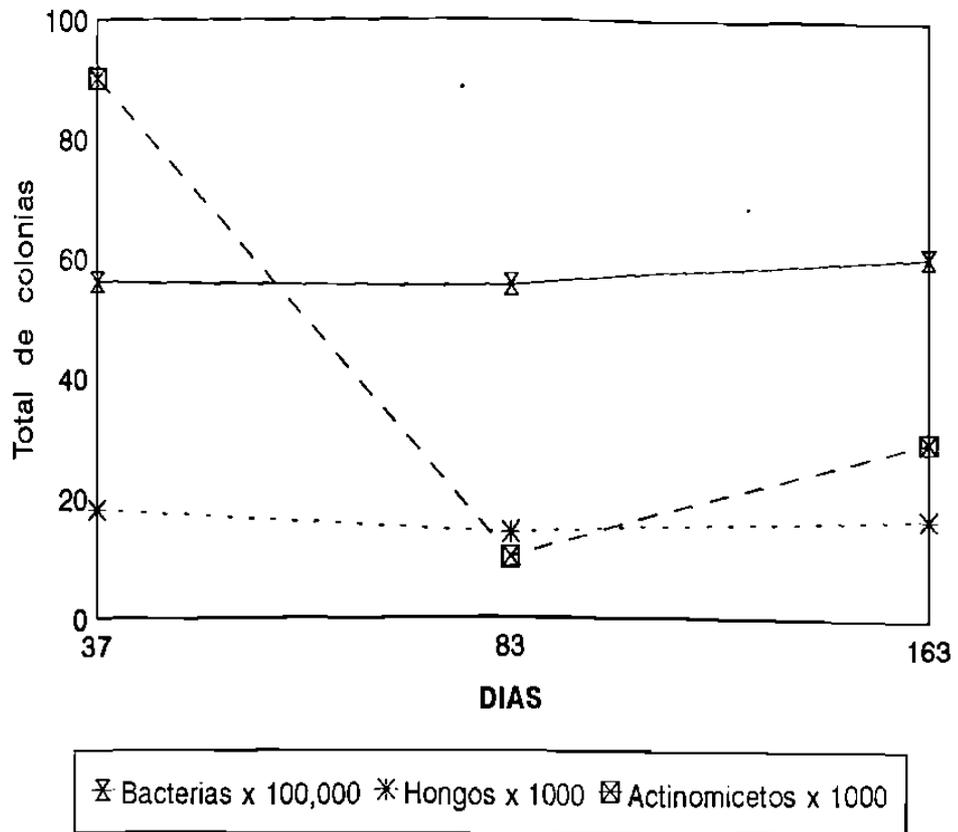


Fig. 11. Dinámica de la población de los microorganismos del suelo

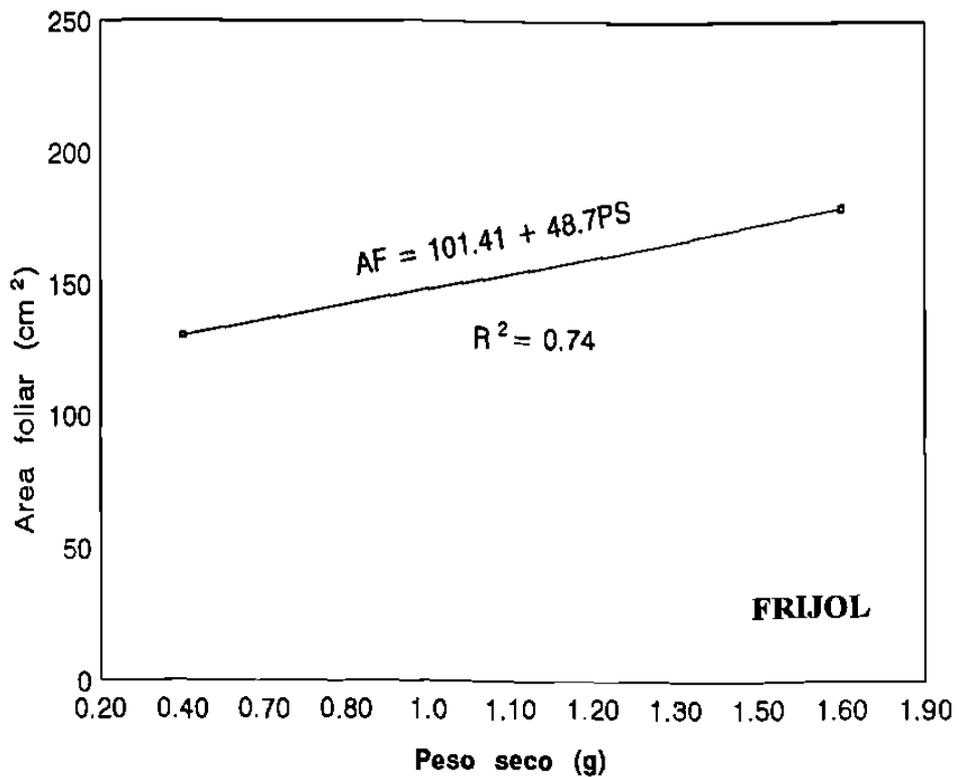


Fig. 12. Gráfica de la ecuación de regresión lineal encontrada entre el AF y el PS.

4.5. Análisis de regresión.

Se procesaron para un análisis de regresión de modelos lineales, cuadráticos y logarítmicos, las variables con los valores de correlación más altos de los análisis de correlación y se seleccionaron como de alta predicción, aquellos cuyos coeficientes de determinación fueran mayores a 0.65. En este análisis se encontró una ecuación lineal con una R^2 de 0.74, que nos permite establecer el modelo que a continuación se muestra y que se observa en forma gráfica en la figura 12, donde observamos una correlación de tipo positivo entre el área foliar y el peso seco.

$$AF = 101.4121 + 48.7037PS$$

Dónde:

AF = Area foliar ; PS = Peso seco.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo con este trabajo, podemos concluir con respecto a la hipótesis 1 que si existió un efecto de la materia orgánica en mejora de las condiciones ambientales del suelo para el desarrollo de los microorganismos de la rizoosfera, determinado por la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno; en una de las leguminosas.

- En el trébol se presentaron nódulos nativos en las raíces.

-El hecho de existir nodulación en trébol indica, que las bacterias que la propiciaron son lo suficientemente agresivas como para soportar las condiciones de altas temperaturas y de sequías frecuentes presentadas en la zona.

-A pesar de que no se realizaron pruebas de incidencia y de efectividad en las bacterias aisladas de los nódulos del trébol, su color rosa, nos da una cierta certeza de su capacidad efectiva para fijar nitrógeno (Keuk-ki y Klucas,1984 , y Paul y Clark, 1989).

- En el frijol no se estableció la simbiosis entre bacterias y planta, es decir, no se presentó nodulación nativa, sin embargo, la incorporación de materia orgánica así como la presencia de la leguminosa y la actividad microbiana resultante de estos dos factores, fueron capaces de incrementar la presencia de algunos nutrientes esenciales en el suelo.

De acuerdo con la hipótesis 2 que establece, que la actividad microbiana y simbiótica mejora la producción del cultivo tenemos que:

-En frijol la actividad microbiana es mejorada, en cuanto al tipo de abono utilizado que determinó su mayor crecimiento, y producción de biomasa.

-En trébol, la nodulación presente en todos los tratamientos, permitieron el buen desarrollo y crecimiento de éste, determinado por su área foliar, talla y apariencia física (plantas sanas y vigorosas) a través de todo su ciclo vegetativo

-El frijol tépari tiende a aumentar su biomasa en área y peso cuando es abonado con gallinaza en mayor grado, que cuando se abona con composta.

-El trébol presenta un crecimiento similar, con cualquiera de los dos abonos, o creciendo sin ellos. Su crecimiento parece responder en gran parte al propio vigor de la planta.

-La gallinaza influye más en el crecimiento del frijol que en el del trébol.

-La composta aparentemente no presentó un efecto determinante en el crecimiento y desarrollo de la planta y en las propiedades del suelo.

-A través del experimento, en el inicio del proceso de mineralización (al principio y al final del experimento, cuando se incorporó el abono y el follaje, respectivamente) determinó la mayor presencia de manganeso en el suelo, en los tratamientos con trébol.

-Las diferencias encontradas en las características del suelo parecen estar más determinadas por la presencia de la leguminosa, que por la presencia del abono. ya que de acuerdo a los resultados, las propiedades químicas del suelo que lograron mejorarse en este trabajo, fueron en donde existía la presencia del frijol, independientemente del abono incorporado.

-No se presentó un efecto evidente de la interacción leguminosa-abono.

Las conclusiones presentadas permiten proponer algunas sugerencias que podrían ser consideradas en trabajos posteriores.

1. El vigoroso crecimiento del trébol hubam, permite promover y recomendar a este cultivo como abono verde o forraje, por su gran capacidad de adaptación en la zona.

2. Sería muy conveniente analizar el efecto residual de los abonos utilizados, interaccionando con leguminosas con trabajos de secuencia continua, y poder determinar un efecto más preciso.

3. Es conveniente analizar los nutrientes del suelo, como potasio, fierro, cobre, manganeso y zinc que fueron extraídos con la misma solución (Na_2HCO_3 , 1:10), comunmente empleada para la extracción de fósforo aprovechable, mediante métodos específicos para cada elemento, para considerar un efecto más real de la presencia de éstos. Se sugieren usar el método de Peech-Morgan (solución extractora de acetato de sodio), desarrollado en 1941 para potasio y el análisis mediante DTPA desarrollado por Lindsay y Norvell, en 1978, para fierro, cobre, manganeso y zinc.

4 Como existen bacterias nativas adaptadas a las condiciones ambientales prevalecientes en la zona, existe la factibilidad de la creación de un cepario de *Rhizobium* con características de adaptación local.

5. Realizar análisis microbiológicos más completos y utilizando metodologías con un mayor margen de precisión.

VI. BIBLIOGRAFIA

- Adams, D. R., C. O., Jense, y P. M., Althouse. 1954. Fundamentos de Bioquímica Agrícola. Salvat Editores. España. pp. 196-202.
- Alcalá, P. O. 1989. Efecto de la aplicación compost-nitrógeno en bandas en la producción de elote, forraje y grano en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) bajo riego, y su influencia en algunas propiedades físicas y químicas del suelo, en Marín, N.L. Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. pp. 66-70.
- Alexander, M. 1980. Introducción a la Microbiología del suelo. AGT Editor, S.A. México. pp. 27-30, 47-50 y 63,64.
- Buckman, H. O. y N. C, Brady . 1966. "Naturaleza y Propiedades de los Suelos". U.T.E.H.A. México. Cap. 20, pp. 528-547.
- Cuatle, F. E., N. R. Escobar y R. M. Valdés. 1981. Efecto de la fertilización, fumigación del suelo con *Rhizobium*, sobre la nodulación, contenido de nitrógeno y rendimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Chapingo, México. *Agrociencia*. 19-35.
- Díaz, M. J. L. 1991. Evaluación del efecto residual del compost en algunas propiedades físico-químicas del suelo y su influencia en el cultivo del sorgo (var. Less 0) al segundo corte bajo riego en Marín, N.L. Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. pp. 33-34.
- García, O. J. G. 1994. Efecto de Profit-G, gallinaza y estiércol bovino sobre la actividad fotosintética y el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) en el Distrito de Riego No. 26 del Bajo Río San Juan. Tesis M.en C. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. pp. 63,64,68.

- Gresshoff, P. M. and A. N. Rao. 1987. Symbiotic nitrogen fixation, genetic engineering and food production. pp.27-41. In: Agricultural applications of biotechnology. COSTED, Madras, India.
- Gresshoff, P. M. 1990. The Importance of Biological Nitrogen Fixation to New Crop Development. In: Advances in New Crop. J. Janick (ed.), Timber Press, Portland, Oregon. pp. 113-119.
- Keuk-ki, L. and R. V. Klucas. 1984. Reduction of ferric leghemoglobin in soybean root nodules. *Plant Physiol.* 74. pp. 984-988.
- López, S. H. E. 1980. Prueba de seis niveles de gallinaza en trigo (Yecora F-70) bajo riego en la región de Marín, N.L. Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. pp. 47-49.
- Mc Calla, T. M., J. R., C., and Lue-Hing. 1986. "Properties of agricultural municipal wastes". Published in: Soils for management of organic wastes and wastes waters. ASA, CSSA, SSA. U.S.A. pp. 38-43.
- Montoya, C. L. 1985. Respuesta del frijol tepari (*Phaseolus acutifolius* Gray var. *latifolius* Freeman) a dos regímenes de humedad en el suelo. Tesis de M. C. especialita en Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México. pp. 3-7,11-14.
- Núñez E. R.. 1980. Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos. AGT Editor, S.A. México. pp. 57-63.
- Nabhan, G. P.. 1983. The Desert Tepary as Food Resource. Desert Plants. Vol.5 No.1 Published by The Univ. of Arizona. U.S.A. 63 pp.
- Paul, E. A. and F. E., Clark. 1989. Soil Microbiology and Biochemistry. Academic Press Inc. U.S.A. pp. 164-197, 183-185.

- Power, J. F. 1987. Legumes: Their potential role in agricultural production. *Am. J. of Alternative Agriculture*, Vol. II(2):69-73.
- Quintanilla, F., J. A. 1979. Determinación de la mejor fecha de siembra para trébol hubam como abono verde en Marín, N.L. Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. pp. 5-6,8-9.
- Robledo, A., L. A. y L. F., Cabrieles. 1985. Efecto de diferentes labores de cultivo y época de las mismas en el control de malezas y la captación de agua en el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. U.A.N.L.
- Smith, W. H., D. M. Post and F.W. Adrian. 1979. Waste management to maintain or enhance productivity. Proceedings: Impact of intensive harvesting on forest nutrient cycling. 1979, 304-320. Syracuse, New York, USA; State University of New York, College of Environmental Science and Forestry.
- Talashilkar, S. C. and O. P. Vimal. 1986. Studies on increasing the use efficiency of N and P fertilizers in combination with city solid waste. *J. of the Indian Soc. of Soil Sc.* 34:4, 780-784.
- Villagómez, A. E. 1992. Prueba seis niveles de nitrógeno, fósforo y gallinaza en trigo (*Triticum vulgare*), en el campo experimental de la FAUANL en el municipio de Marín, N.L. Tesis de licenciatura. Facultad de Agronomía. U.A.N.L. pp. 36-38.
- Warman, P. R. 1990. Fertilization with manures and legume intercrops and their influence on brassica and tomato growth, and on tissue and soil copper, manganese and zinc. *Biological Agriculture and Horticulture*, Vol. 6, pp. 325-335.

- Werner, W., H. W., Scherer and H.W., Olf. 1988. Influence of long-term application of sewage sludge and compost from garbage with sewage sludge on soil fertility criteria *J. of Agronomy and Crop Sc.* 160:3, 173-179.
- Zhu, B. Y., X. Y., Chu, Y. X., Lin and J. G., Hu.1989. Effects of garbage compost on chemical and physical properties of soils in vegetable fields of Hangzhou suburbs. *Zhejiang Agric. Sc.*, No.1, 34-37.

VII. APENDICE

APENDICE I. Guía de interpretación para análisis de suelos.

Cuadro 21. Interpretación del pH por el método del potenciómetro

| | |
|-----------|------------------------|
| 0 - 4.0 | Muy ácido |
| 4.1 - 5.0 | ácido |
| 5.1 - 6.0 | Moderadamente ácido |
| 6.1 - 6.7 | Ligeramente ácido |
| 6.8 - 7.2 | Neutro |
| 7.3 - 7.8 | Ligeramente alcalino |
| 7.9 - 8.5 | Moderadamente alcalino |
| 8.6 - 9.5 | Alcalino |
| > 9.6 | Muy alcalino |

Cuadro 22. Interpretación del contenido de materia orgánica (Walkley y Black).

| | |
|-------------|----------------------|
| 0.00 - 0.60 | Extremadamente pobre |
| 0.61 - 1.20 | Pobre |
| 1.21 - 1.80 | Medianamente pobre |
| 1.81 - 2.41 | Medio |
| 2.42 - 3.00 | Medianamente rico |
| 3.01 - 4.20 | Rico |
| > 4.20 | Extremadamente rico |

Cuadro 23. Interpretación de la conductividad eléctrica (Puente de Wheastone).

| | |
|------------|-----------------------|
| 0.0 - 2.0 | No salino |
| 2.1 - 4.0 | Ligeramente salino |
| 4.1 - 8.0 | Medianamente salino |
| 8.1 - 12.0 | Fuertemente salino |
| > 12.0 | Extremadamente salino |

Cuadro 24. Interpretación del contenido de fósforo (NaHCO_3).

| | |
|---------|---------------|
| 2.0 | Deficiente |
| 12 | Nivel crítico |
| 20 - 80 | Optimo |

Cuadro 25. Interpretación del contenido de potasio (NaHCO_3).

| | |
|-----------|---------------|
| 0.03 | Deficiente |
| 0.2 | Nivel crítico |
| 0.4 - 3.0 | Optimo |

Cuadro 26. Interpretación del contenido de fierro (NaHCO₃).

| | |
|---------|---------------|
| 1.0 | Deficiente |
| 10 | Nivel crítico |
| 20 - 80 | Optimo |

Cuadro 27. Interpretación del contenido de cobre (NaHCO₃).

| | |
|--------|---------------|
| 0.1 | Deficiente |
| 1.0 | Nivel crítico |
| 3 - 20 | Optimo |

Cuadro 28. Interpretación del contenido de manganeso (NaHCO₃).

| | |
|----------|---------------|
| 0.7 | Deficiente |
| 5.0 | Nivel crítico |
| 10 - 100 | Optimo |

Cuadro 29. Interpretación del contenido de zinc (NaHCO₃).

| | |
|----------|---------------|
| 0.4 | Deficiente |
| 3.0 | Nivel crítico |
| 25 - 150 | Optimo |

APENDICE II. Medios de cultivo selectivos para bacterias, hongos y actinomicetos.

Agar levadura manitol (ALM) para bacterias.

| | | |
|----------------------|-------|---------|
| K_2HPO_4 | ----- | 0.5 g |
| $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | ----- | 0.2 g |
| NaCl | ----- | 0.1 g |
| Manitol | ----- | 10.0 g |
| Extracto de levadura | ----- | 0.4 g |
| Agar bacteriológico | ----- | 14.0 g |
| Agua destilada | ----- | 1000 ml |
| pH | ----- | 7.0 |

Czapeck para actinomicetos.

| | | |
|----------------------|-------|---------|
| KNO_3 o $NaNO_3$ | ----- | 2.0 g |
| Sacarosa | ----- | 30.0 g |
| K_2HPO_4 | ----- | 0.5 g |
| $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ | ----- | 0.2 g |
| KCl | ----- | 0.5 g |
| $FeSO_4$ | ----- | 0.1 g |
| Agar bacteriológico | ----- | 15.0 g |
| Agua destilada | ----- | 1000 ml |
| pH | ----- | 7.0 |

Agar papa dextrosa (PDA) para hongos.

| | | |
|----------------|-------|---------|
| PDA | ----- | 39.0 g |
| Agua destilada | ----- | 1000 ml |
| pH | ----- | 3.5 |

APENDICE III. Determinación de cuenta total de bacterias, hongos y actinomicetos por el método de conteo en placa.

1. Se pesa 1 g de suelo seco y se preparan de la dilución 1:10 hasta la dilución 1:1,000,000, o hasta la que se requiera.

Las diluciones se prepararan de la siguiente manera:

- a). 1 g de suelo seco se agrega a 9 ml de agua estéril y fría, y se mezcla vigorosamente, usando un Vortex, esta dilución será 1:10.
- b). De la dilución 1:10 se toma 1 ml con una pipeta graduada y estéril, y se agrega a 9 ml de agua estéril y fría, esta dilución será 1:100.
- c). De la dilución 1:100 se procede como en el paso anterior para tener una dilución 1:1000, y así sucesivamente hasta obtener la última dilución deseada.

Las diluciones deben prepararse en la cámara de siembra, en un ambiente estéril y utilizando material previamente esterilizado, en cada dilución nueva a prepararse se debe tener cuidado en que la anterior debe esté completamente homogénea, mediante una vigorosa agitación.

2. En la cámara de flujo laminar, se siembran las diluciones en cajas de petri de la siguiente manera:

- a). De las diluciones a usar para cada microorganismo evaluado, se toma 1 ml con una pipeta graduada y estéril, y se coloca en el fondo de la caja petri.
- b). Se agrega el medio nutritivo específico, según el microorganismo a evaluar. El medio previamente preparado, debe estar esterilizado y a la menor temperatura que le permita estar en estado líquido, para que pueda verterse a las cajas sobre la dilución, sin riesgo de dañar a los microorganismos por su elevada temperatura.

c). Antes de que el medio gelifique, se debe mezclar con la dilución, dentro de la caja, mediante movimientos lentos y circulares, teniendo una base de apoyo.

d). Una vez que el medio ha gelificado se colocan las cajas de petri, en sentido inverso, en una cámara de incubación a una temperatura de 32-35 °C.

e). Deben sembrarse por duplicado cada dilución, para asegurar un menor rango de error.

3. Se revisan las cajas diariamente, y se cuentan los microorganismos una vez que han cumplido con su tiempo de crecimiento. La cuenta se hace usando un contador de colonias, o colocando las cajas a trasluz para contarlas directamente.

Cuadro 30. Coeficientes de correlación de todas las variables analizadas durante el desarrollo del experimento.

F = fecha; R = repetición; T = tratamiento; L = leguminosa; A = abono; PH = pH; MO = materia orgánica; CE = conductividad eléctrica; NT = Nitrógeno total; P = fósforo; K = potasio; FE = hierro; CU = Cobre; MN = manganeso; ZN = Zinc; RDTO = rendimiento; B5 = bacterias 1:10,000; B6 = bacterias 1:1,000,000; H3 = hongos 1:1,000; H4 = hongos 1:10,000; A4 = actinomicetos 1:10,000; A5 = actinomicetos 1:100,000; AF = área foliar; ALT = altura; PS = peso seco.

| | F | R | T | L | A | PH |
|-------------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| F | .0000 | -.0013 | -.0009 | -.0030 | .0000 | .3521** |
| R | -.0013 | 1.0000 | -.0008 | -.0027 | .0000 | .0732 |
| T | -.0009 | -.0008 | 1.0000 | .2920** | .9564** | -.0655 |
| L | -.0030 | -.0027 | .2920** | 1.0000 | .0000 | -.0997 |
| A | .0000 | .0000 | .9564** | .0000 | 1.0000 | -.0381 |
| PH | .3521** | .0732 | -.0655 | -.0997 | -.0381 | 1.0000 |
| MO | -.0086 | .0093 | .0115 | .0195 | .0061 | -.2659** |
| CE | -.0602 | -.0190 | .0362 | .0578 | .0202 | .0043 |
| NT | -.0277 | .0073 | .2666** | .8984** | .0045 | -.0813 |
| P | .0300 | .0751 | .0876 | .0375 | .0802 | .1282 |
| K | .1451 | .0353 | .1699 | .1276 | .1387 | .1217 |
| FE | .2561** | -.2155* | .0492 | .2904** | -.0372 | .1070 |
| CU | -.1635 | -.0754 | -.1434 | .0173 | -.1552 | -.2706** |
| MN | -.1237 | -.0851 | -.0326 | .1628 | -.0838 | -.0962 |
| ZN | -.0468 | -.0221 | -.1481 | -.0306 | -.1455 | .0106 |
| RDTO | -.5250** | .0162 | -.0584 | -.1923* | -.0023 | .0051 |
| B5 | .0171 | -.4119** | .0260 | -.0424 | .0401 | -.0880 |
| B6 | .1389 | -.3803** | .0491 | -.0377 | .0629 | -.0779 |
| H3 | -.0246 | -.4431** | -.0008 | .0036 | -.0020 | -.0919 |
| H4 | -.0273 | -.3500** | .0494 | .0062 | .0497 | -.0563 |
| A4 | -.2159* | -.2779** | -.0090 | .0223 | -.0162 | -.0156 |
| A5 | -.2246* | -.2184* | -.0350 | -.0253 | -.0288 | .0002 |
| AF | -.2751** | -.0296 | .0165 | .0773 | -.0063 | -.4035** |
| ALT | -.2933** | .0230 | -.0324 | -.1089 | -.0006 | -.3656** |
| PS | -.1147 | -.0146 | .0809 | .2364* | .0124 | -.2591** |

| | MO | CE | NT | P | K | FE |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
| F | -.0086 | -.0602 | -.0277 | .0300 | .1451 | .2561** |
| R | .0093 | -.0190 | .0073 | .0751 | .0353 | -.2155* |
| T | .0115 | .0362 | .2666** | .0876 | .1699 | .0492 |
| L | .0195 | .0578 | .8984** | .0375 | .1276 | .2904** |
| A | .0061 | .0202 | .0045 | .0802 | .1387 | -.0372 |
| PH | .2659** | .0043 | -.0813 | .1282 | .1217 | .1070 |
| MO | 1.0000 | .0112 | .0457 | .5561** | .3513** | -.4580** |
| CE | .0112 | 1.0000 | .1876* | .0040 | -.2774** | -.1135 |
| NT | .0457 | .1876* | 1.0000 | .0189 | .0817 | .2695** |
| P | .5561** | .0040 | .0189 | 1.0000 | .6071** | -.2579** |
| K | .3513** | -.2774** | .0817 | .6071** | 1.0000 | .0001 |
| FE | -.4580** | -.1135 | .2695** | -.2579** | .0001 | 1.0000 |
| CU | .2640** | -.0046 | -.0351 | .1288 | .0384 | -.0609 |
| MN | -.0787 | .2268* | .1814* | -.3622** | -.3170** | .0891 |
| ZN | .0570 | .1520 | -.0525 | .1891* | .0509 | .0385 |
| RDTO | -.1899* | .4162** | -.1150 | -.0387 | -.2640** | -.1149 |
| B5 | .0116 | .4671** | .0421 | -.1041 | -.1515 | .0036 |
| B6 | .0351 | .4087** | -.0159 | -.0911 | -.1300 | -.0167 |
| H3 | -.0255 | .5448** | .1346 | -.1126 | -.1766 | .1274 |
| H4 | -.0041 | .4467** | .1709 | -.0874 | -.1174 | .0398 |
| A4 | -.0528 | .3428** | .2023* | -.0778 | -.1237 | .0712 |
| A5 | -.0622 | .2896** | .1444 | -.0562 | -.0930 | .0717 |
| AF | .1777 | .0715 | -.0060 | .0542 | -.0490 | -.2460** |
| ALT | .1765 | .0862 | -.1533 | .0222 | -.1201 | -.2578** |
| PS | .1558 | .2158* | .1162 | .1474 | .0030 | -.2378** |
| | CU | MN | ZN | RDTO | B5 | B6 |
| F | -.1635 | -.1237 | -.0468 | -.5250** | .0171 | .1389 |
| R | -.0754 | -.0851 | -.0221 | .0162 | -.4119** | -.3803** |
| T | -.1434 | -.0326 | -.1481 | -.0584 | .0260 | .0491 |
| L | .0173 | .1628 | -.0306 | -.1923* | -.0424 | -.0377 |
| A | -.1552 | -.0838 | -.1455 | -.0023 | .0401 | .0629 |
| PH | -.2706** | -.0962 | .0106 | .0051 | -.0880 | -.0779 |
| MO | .2640** | -.0787 | .0570 | -.1899* | .0116 | .0351 |
| CE | -.0046 | .2268* | .1520 | .4162** | .4671** | .4087** |
| NT | -.0351 | .1814* | -.0525 | -.1150 | .0421 | -.0159 |
| P | .1288 | -.3622** | .1891* | -.0387 | -.1041 | -.0911 |
| K | .0384 | -.3170** | .0509 | -.2640** | -.1515 | -.1300 |
| FE | -.0609 | .0891 | .0385 | -.1149 | .0036 | -.0167 |

| | CU | MN | ZN | RDTO | B5 | B6 |
|------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|
| CU | 1.0000 | -.0020 | .1149 | -.0353 | .0169 | .0503 |
| MN | -.0020 | 1.0000 | -.1278 | .0946 | .1954* | .2189* |
| ZN | .1149 | -.1278 | 1.0000 | .2380** | .0750 | .0256 |
| RDTO | -.0353 | .0946 | .2380** | 1.0000 | .2013* | .0823 |
| B5 | .0169 | .1954* | .0750 | .2013* | 1.0000 | .8576** |
| B6 | .0503 | .2189* | .0256 | .0823 | .8576** | 1.0000 |
| H3 | .0192 | .2810** | -.0102 | .2185* | .7631** | .6962** |
| H4 | -.0627 | .1867* | -.0538 | .1716 | .7421** | .6119** |
| A4 | -.1015 | .1509 | -.0086 | .3986** | .5703** | .4870** |
| A5 | -.1160 | .1314 | .0489 | .4071** | .5514** | .4608** |
| AF | .4200** | .0126 | .0397 | -.2306* | -.0334 | .0121 |
| ALT | .4460** | -.1279 | .0064 | -.1477 | .0144 | .0367 |
| PS | .3541** | -.0030 | .1228 | -.2338* | .0332 | .0854 |
| | H3 | H4 | A4 | A5 | AF | ALT |
| F | -.0246 | -.0273 | -.2159* | -.2246* | -.2751** | -.2933** |
| R | -.4431** | -.3500** | -.2779** | -.2184* | -.0296 | .0230 |
| T | -.0008 | .0494 | -.0090 | -.0350 | .0165 | -.0324 |
| L | .0036 | .0062 | .0223 | -.0253 | .0773 | -.1089 |
| A | -.0020 | .0497 | -.0162 | -.0288 | -.0063 | -.0006 |
| PH | -.0919 | -.0563 | -.0156 | .0002 | -.4035** | -.3656** |
| MO | -.0255 | -.0041 | -.0528 | -.0622 | .1777 | .1765 |
| CE | .5448** | .4467** | .3428** | .2896** | .0715 | .0862 |
| NT | .1346 | .1709 | .2023* | .1444 | -.0060 | -.1533 |
| P | -.1126 | -.0874 | -.0778 | -.0562 | .0542 | .0222 |
| K | -.1766 | -.1174 | -.1237 | -.0930 | -.0490 | -.1201 |
| FE | .1274 | .0398 | .0712 | .0717 | -.2460** | -.2578** |
| CU | .0192 | -.0627 | -.1015 | -.1160 | .4200** | .4460** |
| MN | .2810** | .1867* | .1509 | .1314 | .0126 | -.1279 |
| ZN | -.0102 | -.0538 | -.0086 | .0489 | .0397 | .0064 |
| RDTO | .2185* | .1716 | .3986** | .4071** | -.2306* | -.1477 |
| B5 | .7631** | .7421** | .5703** | .5514** | -.0334 | .0144 |
| B6 | .6962** | .6119** | .4870** | .4608** | .0121 | .0367 |
| H3 | 1.0000 | .8048** | .6876** | .6000** | -.0760 | .0288 |
| H4 | .8048** | 1.0000 | .7368** | .5965** | -.1197 | -.0195 |
| A4 | .6876** | .7368** | 1.0000 | .8404** | -.2058* | -.1508 |
| A5 | .6000** | .5965** | .8404** | 1.0000 | -.1904* | -.1491 |
| AF | -.0760 | -.1197 | -.2058* | -.1904* | 1.0000 | .6799** |
| ALT | .0288 | -.0195 | -.1508 | -.1491 | .6799** | 1.0000 |
| PS | -.0233 | -.0790 | -.1990* | -.1901* | .8583** | .5764** |

| | PS |
|-------------|-----------|
| F | -.1147 |
| R | -.0146 |
| T | .0809 |
| L | .2364* |
| A | .0124 |
| PH | -.2591** |
| MO | .1558 |
| CE | .2158* |
| NT | .1162 |
| P | .1474 |
| K | .0030 |
| FE | -.2378** |
| CU | .3541** |
| MN | -.0030 |
| ZN | .1228 |
| RDTO | -.2338* |
| B5 | .0332 |
| B6 | .0854 |
| H3 | -.0233 |
| H4 | -.0790 |
| A4 | -.1990* |
| A5 | -.1901* |
| AF | .8583** |
| ALT | .5764** |
| PS | 1.0000 |

Nivel de significancia: * = 0.01 ** = 0.001

Cuadro 31. Análisis de varianza del pH.

| SOURCE | D.F. | SUM OF SQUARES | MEAN SQUARES | F | PROB |
|-----------|------|----------------|--------------|--------|-------|
| TOTAL | 167 | 9.785765 | | | |
| TOTAL | 15 | 6.182426 | .412162 | 17.386 | .0000 |
| REDUCTION | | | | | |
| MU-YM | 1 | .000628 | .000628 | .026 | .8710 |
| F | 6 | 5.940172 | .990029 | 41.762 | .0000 |
| R | 3 | .076390 | .025463 | 1.074 | .3625 |
| L | 1 | .081188 | .081188 | 3.425 | .0662 |
| A | 2 | .021985 | .010992 | .464 | .6298 |
| L x A | 2 | .033203 | .016601 | .700 | .4980 |
| REMAINDER | 152 | 3.603339 | .023706 | | |

MEAN = 8.26090 ERROR STANDARD DEVIATION = .15397 CV = 1.86 %
R SQUARED = .632 R = .795

Cuadro 32. Análisis de varianza de la materia orgánica

| SOURCE | D.F. | SUM OF SQUARES | MEAN SQUARES | F | PROB |
|-----------|------|----------------|--------------|--------|-------|
| TOTAL | 167 | 21.379441 | | | |
| TOTAL | 15 | 16.849502 | 1.123300 | 37.692 | .0000 |
| REDUCTION | | | | | |
| MU-YM | 1 | .000928 | .000928 | .031 | .8602 |
| F | 6 | 16.645937 | .774323 | 93.091 | .0000 |
| R | 3 | .176458 | .058819 | 1.974 | .1186 |
| L | 1 | .003475 | .003475 | .117 | .7332 |
| A | 2 | .002215 | .001108 | .037 | .9635 |
| L x A | 2 | .011094 | .005547 | .186 | .8304 |
| REMAINDER | 152 | 4.529939 | .029802 | | |

MEAN = 1.83737 ERROR STANDARD DEVIATION = .17263 CV = 9.40 %
R SQUARED = .788 R = .888

Cuadro 33. Análisis de varianza del fósforo.

| SOURCE | D.F. | SUM OF SQUARES | MEAN SQUARES | F | PROB |
|-----------|------|----------------|--------------|--------|-------|
| TOTAL | 167 | 58409.2068 | | | |
| TOTAL | 15 | 41043.0797 | 2736.20531 | 23.949 | .0000 |
| REDUCTION | | | | | |
| MU-YM | 1 | 0.626786 | 0.626786 | .005 | .9411 |
| F | 6 | 38971.5576 | 6495.25960 | 56.851 | .0000 |
| R | 3 | 344.9699 | 67.494122 | 1.006 | .3928 |
| L | 1 | 67.4941 | 800.9683 | .591 | .4433 |
| A | 2 | 1601.9367 | 39.2514 | 7.011 | .0012 |
| L x A | 2 | 78.5028 | | .344 | .7098 |
| REMAINDER | 152 | 17366.1271 | 114.2508 | | |

MEAN = 28.96329 ERROR STANDARD DEVIATION = 10.68882 CV = 36.90 %
R SQUARED = .703 R = .838

Cuadro 34. Análisis de varianza del potasio.

| SOURCE | D.F. | SUM OF SQUARES | MEAN SQUARES | F | PROB |
|-----------|------|----------------|--------------|--------|-------|
| TOTAL | 167 | 555.002109 | | | |
| TOTAL | 15 | 305.487776 | 20.365852 | 12.407 | .0000 |
| REDUCTION | | | | | |
| MU-YM | 1 | .006701 | .006701 | .004 | .9491 |
| F | 6 | 276.432181 | 46.072030 | 28.066 | .0000 |
| R | 3 | 3.559376 | 1.186459 | .723 | .5433 |
| L | 1 | 8.436307 | 8.436307 | 5.139 | .0248 |
| A | 2 | 10.804555 | 5.402278 | 3.291 | .0399 |
| L x A | 2 | 6.098989 | 3.049495 | 1.858 | .1596 |
| REMAINDER | 152 | 249.514333 | 1.641542 | | |

MEAN = 3.87563 ERROR STANDARD DEVIATION = 1.28123 CV = 33.06 %
R SQUARED = .550 R = .742

Cuadro 35. Análisis de varianza del fierro.

| SOURCE | D.F. | SUM OF SQUARES | MEAN SQUARES | F | PROB |
|-----------|------|----------------|--------------|--------|-------|
| TOTAL | 167 | 1384506.95 | | | |
| TOTAL | 15 | 697437.397 | 46495.8265 | 10.286 | .0000 |
| REDUCTION | | | | | |
| MU-YM | 1 | 32.016374 | 32.0163 | .007 | .9330 |
| F | 6 | 456266.378 | 76044.3963 | 16.823 | .0000 |
| R | 3 | 96423.5216 | 32141.1738 | 7.111 | .0002 |
| L | 1 | 119156.636 | 119156.636 | 26.361 | .0000 |
| A | 2 | 3844.51542 | 1922.25771 | .425 | .6544 |
| L x A | 2 | 25320.9443 | 12660.4721 | 2.801 | .0639 |
| REMAINDER | 152 | 687069.554 | 4520.19444 | | |

MEAN = 122.59377 ERROR STANDARD DEVIATION = 67.23239 CV = 54.84 %
R SQUARED = .504 R = .710

Cuadro 36. Análisis de varianza del cobre.

| SOURCE | D.F. | SUM OF SQUARES | MEAN SQUARES | F | PROB |
|-----------|------|----------------|--------------|--------|-------|
| TOTAL | 167 | 14295.1603 | | | |
| TOTAL | 15 | 4818.13577 | 321.209051 | 5.152 | .0000 |
| REDUCTION | | | | | |
| MU-YM | 1 | .43573 | .435737 | .007 | .9335 |
| F | 6 | 4218.52427 | 703.087380 | 11.277 | .0000 |
| R | 3 | 141.41539 | 47.138465 | .756 | .5236 |
| L | 1 | 1.95908 | 1.959089 | .031 | .8595 |
| A | 2 | 390.97399 | 195.48699 | 3.135 | .0463 |
| L x A | 2 | 95.35018 | 47.675092 | .765 | .4673 |
| REMAINDER | 152 | 9477.02460 | 62.348846 | | |

MEAN = 28.30509 ERROR STANDARD DEVIATION = 7.89613 CV = 27.90 %
R SQUARED = .337 R = .581

Cuadro 37. Análisis de varianza del manganeso.

| SOURCE | D.F. | SUM OF SQUARES | MEAN SQUARES | F | PROB |
|-----------|------|----------------|--------------|--------|-------|
| TOTAL | 167 | 95293.1074 | | | |
| TOTAL | 15 | 47938.0620 | 3195.87080 | 10.258 | .0000 |
| REDUCTION | | | | | |
| MU-YM | 1 | 2.9332 | 2.9332 | .009 | .9228 |
| F | 6 | 41840.6011 | 6973.43353 | 22.383 | .0000 |
| R | 3 | 1999.1922 | 666.39742 | 2.139 | .0961 |
| L | 1 | 2667.2799 | 2667.27996 | 8.561 | .0040 |
| A | 2 | 995.6475 | 497.82378 | 1.598 | .2057 |
| L x A | 2 | 458.8887 | 229.44437 | .736 | .4805 |
| REMAINDER | 152 | 47355.0453 | 311.54635 | | |

MEAN = 37.49287 ERROR STANDARD DEVIATION = 17.65068 CV = 47.08 %
R SQUARED = .503 R = .709

Cuadro 38. Análisis de varianza del zinc.

| SOURCE | D.F. | SUM OF SQUARES | MEAN SQUARES | F | PROB |
|-----------|------|----------------|--------------|-------|-------|
| TOTAL | 167 | 132731.692 | | | |
| TOTAL | 15 | 28553.009 | 1903.53398 | 2.777 | .0008 |
| REDUCTION | | | | | |
| MU-YM | 1 | .0918 | .091824 | .000 | .9908 |
| F | 6 | 2015.0845 | 3669.18076 | 5.353 | .0000 |
| R | 3 | 2238.37581 | 746.12527 | 1.089 | .3563 |
| L | 1 | 115.77590 | 115.77590 | .169 | .6817 |
| A | 2 | 3567.38382 | 1783.69191 | 2.602 | .0774 |
| L x A | 2 | 584.87834 | 292.43917 | .427 | .6535 |
| REMAINDER | 152 | 104178.682 | 685.38607 | | |

MEAN = 34.42000 ERROR STANDARD DEVIATION = 26.17988 CV = 76.06 %
R SQUARED = .215 R = .464

11971

