

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA



**EFFECTO DEL ABONAMIENTO SINTÉTICO Y ORGÁNICO EN LA ACTIVIDAD
MICROBIANA DE SUELOS CON DIFERENTE CONTENIDO DE MATERIA
ORGÁNICA**

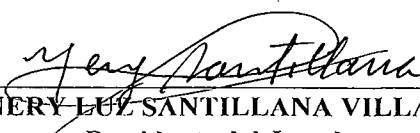
**PRESENTADO POR:
JOHANN STEPHEN MORENO DEL VILLAR**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO**

**AYACUCHO - PERÚ
2010**


**“EFECTO DEL ABONAMIENTO SINTÉTICO Y ORGÁNICO EN LA
ACTIVIDAD MICROBIANA DE SUELOS CON DIFERENTE
CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA”**

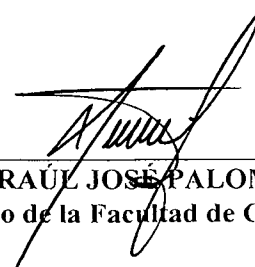
Recomendado : 19 de enero de 2010
Aprobado : 22 de enero de 2010


DRA. NERY LUZ SANTILLANA VILLANUEVA
Presidente del Jurado


ING. ALEX LÁZARO TINEO BERMÚDEZ
Miembro del Jurado


ING. JUAN BENJAMIN GIRÓN MOLINA
Miembro del Jurado


BLGA. ROBERTA ESQUIVEL QUISPE
Miembro del Jurado


M.Sc. ING. RAÚL JOSÉ PALOMINO MARCATOMA
Decano de la Facultad de Ciencias Agrarias

CON TODO CARIÑO

***A mi abuelo Edmundo y en memoria a mi
abuela Julia, por sus inagotables sacrificios
y esfuerzos que me supieron brindar durante
mi formación profesional***

***A mis queridos padres Elizabeth y Milton
por todo su apoyo y aliento brindados
en todo momento***

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, Facultad de Ciencias Agrarias. A los Docentes de la Escuela de Formación Profesional de Agronomía, quienes contribuyeron a mi formación profesional.

Al Ing^o M. Sc. Álex Lázaro TINEO BERMÚDEZ, asesor del presente trabajo, por su apoyo en la formulación y ejecución de la presente tesis.

Al Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar "Nicolás Roulet" del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, por las facilidades brindadas con los ambientes y análisis para la realización del presente trabajo de investigación.

Al personal del Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar "Nicolás Roulet" del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, que me supo brindar desinteresadamente sus facilidades y ayuda valiosa.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	11
RESUMEN.....	13
CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA.....	15
1.1. Suelo.....	15
1.2. Degradación del suelo.....	17
1.3. Fertilizantes.....	19
1.4. Efecto de los abonos sintéticos.....	20
1.5. Materia orgánica.....	23
1.6. Actividad microbiana en un suelo orgánico.....	27
1.7. Cultivo de tomate.....	34
1.8. El análisis funcional de la variancia.....	35
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
2.1. Ubicación.....	37
2.2. Suelos que se utilizaron en el experimento.....	37
2.3. Procedimientos y fundamento de la metodología.....	38
2.4. Tratamientos y diseño experimental.....	39
2.5. Metodología experimental.....	40
2.6. Procesamiento de la información.....	42
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	43

3.1. Tasa de mineralización de la materia orgánica a los 3 días.....	44
3.2. Tasa de mineralización de la materia orgánica a los 5, 11, 13, 15 y 27 días.....	46
3.3. Tasa de mineralización de la materia orgánica a los 7 días.....	47
3.4. Tasa de mineralización de la materia orgánica a los 9 días.....	48
3.5. Tasa de mineralización de la materia orgánica a los 18 días.....	49
3.6. Tasa de mineralización de la materia orgánica a los 21 días.....	50
3.7. Tasa de mineralización de la materia orgánica a los 24 días.....	51
3.8. Rendimiento de la materia seca en el cultivo de tomate (g).....	52
3.9. Evolución de la actividad microbiana.....	54
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	60
4.1. Conclusiones.....	60
4.2. Recomendaciones.....	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

ÍNDICE DE ANEXOS

a.1. Cantidades de abono aplicados (mg/100g de suelo).....	68
a.2. Producción de CO ₂ (mg) de los diferentes tratamientos, a través del tiempo.....	68
a.3. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%) de los diferentes tratamientos, a través del tiempo.....	68
a.4. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en los 3 primeros días.....	69
a.5. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la segunda lectura (5 días).....	69
a.6. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la tercera lectura (7 días).....	70
a.7. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la cuarta lectura (9 días).....	70
a.8. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la quinta lectura (11 días).....	71
a.9. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la sexta lectura (13 días).....	71
a.10. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la séptima lectura (15 días).....	72
a.11. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos	

en la octava lectura (18 días).....	72
a.12. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la novena lectura (21 días).....	73
a.13. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la décima lectura (24 días).....	73
a.14. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la última lectura (27 días).....	74
a.15. Análisis funcional de variancia de la producción de CO ₂ (mg/100 g suelo) en los primeros 5 días.....	74
a.16. Análisis funcional de variancia de la producción de CO ₂ (mg/100 g suelo) a los 11 días.....	75
a.17. Análisis funcional de variancia de la producción de CO ₂ (mg/100 g suelo) a los 13 días.....	75
a.18. Análisis funcional de variancia de la producción de CO ₂ (mg/100 g suelo) a los 15 días.....	75
a.19. Análisis funcional de variancia de la producción de CO ₂ (mg/100 g suelo) a los 27 días.....	76

ÍNDICE DE IMÁGENES

PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS

DE LOS SUELOS EN ESTUDIO.....	78
i.1. e i.2. Corte vertical del suelo muestreado.....	78
i.3. Tamizado del estrato 1.....	78
i.4. Tamizado del estrato 2.....	78
i.5. Tamizado del estrato 3.....	79
i.6. Pesado (100g) del estrato 1.....	79
i.7. Pesado (100g) del estrato 2.....	79
i.8. Pesado (100g) del estrato 3.....	79

PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

DE ESTUDIO PARA LOS 3 ESTRATOS.....	80
i.9. e i.10. Pesado de los abonos orgánicos y minerales.....	80
i.11. e i.12. Incorporación de las muestras de los estratos del suelo pesadas (100 g) en los frascos de vidrio.....	80
i.13., i.14. e i.15. Incorporación de los abonos orgánicos y minerales a cada uno de los tratamientos.....	81
i.16. e i.17. Incorporación de 50 ml de agua desionizada a cada uno de los tratamientos.....	82
i.18. Preparación de los blancos con 50 ml de agua desionizada.....	82

i.19. Incorporación del tubo vial conteniendo 8 ml de NaOH.....	83
i.20. Cerrado hermético de los frascos.....	83
i.21. Instalación de los tratamientos culminadas.....	83
PROCESO DE TITULACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.....	84
i.22. Incorporación de 1 ml de BaCl ₂ a los 8 ml de NaOH para la titulación.....	84
i.23. Incorporación de 3 gotas de fenolftaleína.....	84
i.24. Cambio de coloración y lectura del gasto del HCl.....	84
PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CULTIVO DE TOMATE.....	85
i.25. e i.26. Transplante de las plántulas de tomate a los recipientes de hojalata.....	85
i.27. Instalación culminada.....	85
DESARROLLO DE LAS PLANTAS DE TOMATE, A TRAVÉS DEL TIEMPO (60 DÍAS) EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS.....	86
i.28. Desarrollo de las plantas de tomate a los 30 días después de la instalación.....	86
i.29. Desarrollo de las plantas de tomate a los 60 días después de la instalación.....	86

INTRODUCCIÓN

La actividad microbiana en los suelos es un indicador de primer orden de las condiciones físicas y químicas del suelo, y que permite conocer su grado de fertilidad o de degradación. Un suelo rico en materia orgánica y microbiana, es un indicador de alta fertilidad y disponibilidad de nutrientes. La microbiota descompone los residuos orgánicos liberando agua y sustancias minerales, mineralizan el humus, transforman los elementos no disponibles en disponibles, participan en los procesos de fijación biológica del nitrógeno atmosférico y en la oxidación-reducción de los nutrientes. La microbiota utiliza la energía del carbono para su metabolismo, por lo que existe una relación directa entre microorganismos, fertilidad del suelo y contenido de materia orgánica en el suelo, (Gómez *et al* 2000).

Debido a las diferentes formas de degradación del suelo, es muy común observar suelos disminuidos en su capacidad de producción; Ayacucho, como otras regiones de Perú no escapa de esta problemática. Una forma de degradación del suelo, es la disminución de su fertilidad debido a malas prácticas agrícolas, como el uso indiscriminado de fertilizantes, plaguicidas, y diversos productos empleados.

Como en la mayor parte del país, en los terrenos agrícolas de Ayacucho, los abonos se utilizan de manera inadecuada, aplicándose en forma excesiva y provocando daños en el suelo. Los principales factores relacionados con el mal uso de los abonos son: la falta de conocimiento técnico para aprovechar las fuentes locales de materia orgánica, dosificación inadecuada, desconocimiento técnico sobre el efecto de la aplicación continua de los abonos al suelo, así como sobre el grado de biodegradación del estiércol a través del tiempo y su impacto en la planta. Es necesario controlar la contaminación de suelos por fertilizantes, utilizando mezclas adecuadas de abonos orgánicos (compost) y sintéticos (N-P-K), que hagan sostenible el uso del suelo.

El término *mineralización* ha sido definido como la conversión de un elemento de una forma orgánica a una inorgánica. Aplicado específicamente al C, la mineralización puede ser definida como la liberación de C-CO₂, a partir de la actividad de la biota metabólicamente activa, (Zibilske *et al* 1994). La medida del C-CO₂ permite evaluar la actividad total de un suelo o la transformación de un determinado sustrato, o la respuesta a un tratamiento.

La respiración es uno de los parámetros más usado para cuantificar la actividad microbiana en el suelo, este índice microbiológico ha permitido estimar la actividad de la biomasa, la cual está influenciada por el clima, propiedades físicas y químicas, o prácticas de manejo agrícola, tales como, labranza y rotaciones de cultivos (Campbell *et al* 1992).

El presente trabajo se ha propuesto establecer los siguientes objetivos:

- Evaluar el efecto del abonamiento orgánico y mineral en la actividad microbiana del suelo, en estratos de suelo con diferentes contenidos de materia orgánica.
- Evaluar la evolución de la actividad microbiana edáfica por efecto del abonamiento orgánico y mineral del suelo, en estratos de suelo con diferentes contenidos de materia orgánica.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación evaluó el efecto del abonamiento orgánico y mineral, en la actividad microbiana del suelo, y se realizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas "Nicolás Roulet" del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en Pampa del Arco, Ayacucho, utilizando muestras de suelo, con diferentes niveles de materia orgánica (alto, medio y bajo) que se expusieron a la acción de un abonamiento orgánico y sintético (testigo sin abonamiento, 8 t.ha⁻¹ de compost, 320-360-280 kg.ha⁻¹ de NPK y 4 t.ha⁻¹ de compost + 160-180-140 kg.ha⁻¹ de NPK). La estructura de los tratamientos corresponde al DCA (Diseño Completamente al Azar), el mismo que permitió una serie de análisis estadísticos con la finalidad de explicar el efecto de los factores en estudio.

Se arribó a las conclusiones siguientes: 1. La medida de actividad microbiana, a través de la producción de CO₂ en la respiración, muestra que los suelos con mayor concentración de materia orgánica, son los que más masa de CO₂ producen., 2. A través de la producción de CO₂ en los suelos, se obtuvieron las tasas de mineralización de los suelos estudiados., 3. La aplicación de abonos orgánicos en los tratamientos (O y OM) provocan una reacción antagónica

entre los microorganismos del suelo y los del abono orgánico incorporado., 4. La tasa de mineralización de la materia orgánica disminuye a través del tiempo, llegando a estabilizarse en las últimas lecturas., 5. Un alto contenido de materia orgánica en el suelo, brinda una mayor capacidad para amortiguar el efecto de la aplicación de cualquier fertilizante orgánico o mineral., 6. Los testigos poseen un alto rendimiento de CO₂ debido a una gran actividad de los microorganismos, ya que estos tratamientos no son acompañados por ningún tipo de fertilizante sintético, en consecuencia poseen un medio adecuado para su sobrevivencia (no tóxico)., 7. La temperatura afectó significativamente la actividad microbiana del suelo, al incrementarse la temperatura, hubo incremento de la producción de CO₂, al igual que se redujo ésta, al disminuir la temperatura.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. SUELO

El medio donde se desarrollan los microorganismos telúricos, está dividido en una multitud de microambientes donde las condiciones pueden ser muy diferentes unas de otras, confiriéndole una microheterogeneidad inusual. El soporte orgánico y mineral no es inerte y los diversos procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el suelo, provienen indirectamente de la fotosíntesis. Hay también una microfauna que a veces interviene activamente al lado de la microbiota (Dommergues, Mangenot *et al* 1970)

El suelo está formado por cinco componentes principales: materia mineral, agua, aire, materia orgánica y seres vivos. La cantidad de estos constituyentes no es la misma en todos los suelos. El aire y el agua que se mueva por la gravedad se encuentran en los poros más grandes del suelo, que frecuentemente están llenos de aire. Parte del agua es retenida por interacciones con otros constituyentes del suelo y sólo una fracción de ésta es aprovechable por los organismos vivos. La aireación y la humedad están directamente relacionadas ya que los poros que no contienen agua están llenos de gas. La atmósfera subterránea es diferente de la superficial porque contiene generalmente de diez a cien veces más CO₂, y menos O₂, debido a la actividad biológica (Fenchel,

King, Blackburn *et al* 2000).

En corte vertical del suelo revela un perfil constituido por capas horizontales:

- O) Un mantillo superficial, delgado o grueso, de restos orgánicos en descomposición;
- A) Un horizonte del cual ha desaparecido algunos constituyentes inorgánicos durante el largo periodo de formación del suelo pero más o menos rico en materia orgánica, que contiene raíces, pequeños animales y la mayoría de los microorganismos;
- B) Otro horizonte en el cual se depositan algunos constituyentes provenientes de las capas superiores, que contiene poca materia orgánica, algunas raíces y escasos microorganismos;
- C) Un estrato de composición semejante al material original del cual se originó el suelo, donde hay pocas formas de vida (Alexander *et al* 1980).

Cuadro 1.1. Distribución de los microorganismos en un suelo expresado como miles por gramo (Alexander *et al* 1980)

Profundidad cm	Bacterias aerobias	Bacterias anaerobias	Actinomicetos	Hongos	Algas
3-8	7,800	1,950	2,080	119	25
20-25	1,800	379	245	50	5
35-40	472	98	49	14	0.5
65-75	10	1	5	6	0.1
135-145	1	0.4	---	3	---

Los microorganismos no están distribuidos regularmente en el suelo, pues hay un mosaico discontinuo de microambientes, aquellos favorables para el desarrollo microbiano se caracterizan por su limitada extensión en el tiempo y en el espacio. La dispersión de los microorganismos, con excepción de los fotosintetizantes, sigue la distribución vertical de los nutrientes pero alterada por varios factores: la composición de la atmósfera del suelo, al pH, la humedad, la cantidad de minerales asimilables, la presencia de sustancias antimicrobianas (Dommergues, Mangenot *et al* 1970).

1.2. DEGRADACIÓN DEL SUELO

García y Dorronsoro *et al* (2006), señalan una serie de formas de degradación del suelo:

Degradación de la fertilidad. Es la disminución de la capacidad del suelo para soportar vida. Se producen modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro. Al degradarse el suelo, pierde capacidad de producción y cada vez hay que añadirle más cantidad de abonos para producir siempre cosechas muy inferiores a las que produciría el suelo si no se presentase degradado. Puede tratarse de una degradación química, que se puede deber a varias causas: pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, sodificación, aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. El deterioro del suelo a veces es consecuencia de una degradación física, por: pérdida de estructura, disminución de la permeabilidad, disminución de la capacidad de retención de agua. En otras ocasiones se habla de degradación biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica incorporada.

Erosión. La erosión es la pérdida selectiva de materiales del suelo. Por la acción del agua o del viento, los materiales de las capas superficiales van siendo arrastrados. El concepto de erosión del suelo, se refiere a la erosión antrópica, que es de desarrollo rápido. Frente a ella está la erosión natural o geológica, de evolución muy lenta.

Contaminación. Por último, el suelo se puede degradar al acumularse en él, sustancias a unos niveles tales que repercuten negativamente en el comportamiento de los suelos. La FAO (1977), define la contaminación como una forma de degradación química que provoca la pérdida parcial o total de la productividad del suelo. El diccionario de la Real Academia, define la contaminación, como la alteración de la pureza de algo, como alimentos, agua, aire, etc. La acumulación de sustancias tóxicas para los organismos, suele producirse de una manera artificial, como consecuencia de las actividades humanas, pero también puede ocurrir de manera

natural, la edafización libera sustancias contenidas en las rocas que se concentran en el suelo alcanzando niveles tóxicos.

Según la FAO-UNESCO citado por García y Dorronsoro *et al* (2006), la degradación es el proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir, cuantitativa y cualitativamente, bienes y servicios.

La degradación del suelo es la consecuencia directa de la utilización del suelo por el hombre. Bien como resultado de actuaciones directas, como agrícola, forestal, ganadera, agroquímicos y riego, o por acciones indirectas, como la actividad industrial, eliminación de residuos, etc. Actualmente existe una fuerte tendencia que clama por una utilización racional del suelo. Sus principios se agrupan en lo que se conoce como Conservación de Suelos. Las teorías conservacionistas persiguen obtener máximos rendimientos pero con mínima degradación. El cuidado del suelo es esencial para la supervivencia de la raza humana; el suelo produce la mayor parte de los alimentos necesarios, fibras y madera, y sin embargo, en muchas partes del mundo, el suelo ha quedado tan dañado por un manejo erróneo que nunca más podrá producir bienes (FAO *et al* 1977).

Procesos de degradación de suelos:

Aun cuando existen muchos procesos de degradación del suelo, frecuentemente interactuantes, se les puede agrupar en seis categorías (FAO, PNUD y UNESCO *et al* 1980):

Erosión hídrica. En esta categoría se incluyen procesos como la erosión por salpicadura, la erosión laminar, la erosión en cárcavas y diversos tipos de movimientos de masas, por ejemplo corrimientos de tierras, y solifluxión.

Erosión eólica. La erosión eólica abarca tanto la remoción y el depósito de partículas de suelo por la acción del viento, como los efectos abrasivos de las partículas móviles cuando éstas son transportadas.

Exceso de sales. En esta categoría se comprende la salinización y la sodicación.

Degradación química. Esta categoría se reserva para procesos como la lixiviación de bases y la formación de toxicidades diferentes de las habidas por exceso de sal.

Degradación física. Se refiere a los cambios adversos en las propiedades físicas del suelo, como son la porosidad. La permeabilidad, densidad aparente o de volumen y estabilidad estructural.

Degradación biológica. La degradación biológica es la referente a los procesos que aumentan la velocidad de mineralización del humus.

Si bien todos los procesos de degradación de los suelos originan una pérdida de productividad del suelo, los modos en que tales cosas ocurren, difieren grandemente de unos a otros procesos. Además las relaciones numéricas entre la velocidad de un determinado proceso de degradación de los suelos y la pérdida total de la productividad resultante no se conocen bien y suelen variar en cierta medida entre suelo y suelo.

Es posible hacer clasificaciones aproximadas de la gravedad de cada proceso, de tal manera que las clases sean aproximadamente iguales. Estas clasificaciones se basan forzosamente en gran parte en el criterio personal.

1.3. FERTILIZANTES

Una revisión sobre este tema es expuesta por García y Dorronsoro *et al* (2006), quienes sostienen que las plantas sintetizan sus alimentos a partir de elementos químicos que toman del aire, agua y suelo. Existen 60 elementos químicos constituyentes de las plantas, de los cuales 16 son esenciales y se dividen como macronutrientes (primarios: N, P y K; y secundarios: Ca, Mg y S) y micronutrientes (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B, Cl). Aparte se encuentran el C, H y O que los toman las plantas del aire y del agua. El CO₂ y H₂O representan en la práctica, la única fuente de energía para sus reacciones de síntesis. Una situación problemática bastante generalizada, es la que se deriva de la aplicación abusiva de fertilizantes en el suelo con el fin de aumentar el

rendimiento de las cosechas, y en esos momentos los fertilizantes pierden su acción beneficiosa y pasan a ser contaminantes del suelo.

Los fertilizantes contienen N, P, K, bien por separado, o en productos formados por mezclas de diversos elementos. Pueden ser minerales (inorgánicos) u orgánicos. En función de los nutrientes contenidos se les denomina: simples (con uno sólo de los elementos primarios) o compuestos (con 2 o los 3 elementos primarios). Los abonos orgánicos constituyen un grupo muy diverso de materiales procedentes de residuos de animales y vegetales más o menos transformados y que presentan altos contenidos en materia orgánica. Entre los más importantes se mencionan: estiércoles, purín, paja, compost y abono verde. El compost es un producto de descomposición de residuos vegetales y animales, con diversos aditivos. Este grupo es el más amplio de los abonos orgánicos; comprende desde materiales sin ninguna calidad, procedente de los basureros, hasta sustratos perfectamente preparados con alto poder fertilizante.

1.4. EFECTO DE LOS ABONOS SINTÉTICOS

Índice salino

Tisdale y Nelson *et al* (1985), indican que los fertilizantes aumentan la concentración salina de la solución del suelo.

Las sales fertilizantes difieren mucho en su efecto sobre la concentración de la solución del suelo. Los fertilizantes mezclados del mismo grado pueden también variar fácilmente en el índice salino, dependiendo de los transportadores con que están formulados.

Debería señalarse bien que los fertilizantes de análisis alto pueden tener generalmente un índice salino más bajo por unidad de nutrientes para las plantas que los fertilizantes hidrosolubles del análisis bajo, a causa de que ellos son usualmente elaborados con materiales de análisis alto. Las sales de nitrógeno y potasio tienen índices salinos muchos mayores y son mucho más determinantes para la germinación que las sales fosforadas cuando se colocan

cerca de la semilla o en contacto con ésta.

Acidez y basicidad de los fertilizantes nitrogenados

Algunos materiales fertilizantes dejan un residuo ácido en el suelo, otros un residuo básico, y todavía unos terceros parecen como si no tuvieran influencia sobre el pH del suelo. Resultados de numerosos experimentos han mostrado que, entre los nutrientes de plantas, el nitrógeno, el fósforo, el potasio, y los transportadores de fósforo y potasio, tienen poca o ninguna influencia sobre la acidez del suelo. Los transportadores de nitrógeno, sin embargo, tienen un efecto considerable sobre el pH del suelo y sobre las pérdidas de cationes por filtración (Tisdale y Nelson *et al* 1985).

Efectos del abono nitrogenado

García y Dorronsoro *et al* (2006), indican:

- Aportación de nutrientes, aparte del nitrógeno, como S, Mg, Ca, Na y B.
- Variación de la reacción el suelo (acidificación o alcalinización).
- Incremento de la actividad biológica del suelo con importantes efectos indirectos sobre la dinámica global de los nutrientes.
- Daños por salinidad y contaminación de acuíferos, causados por una dosificación muy alta.
- Daños causados por las impurezas y productos de descomposición.
- Efecto secundario, herbicida y fungicida, de la cianamida cálcica.

Efectos de los abonos fosfatados

García y Dorronsoro *et al* (2006), indican:

- Aportación de nutrientes, además del fósforo, como el azufre, calcio, magnesio, manganeso y otros; así como sustancias inútiles, desde el punto de vista de la fertilidad, sodio y sílice.
- Aportación de sustancias que mejoran la estructura: cal y yeso.

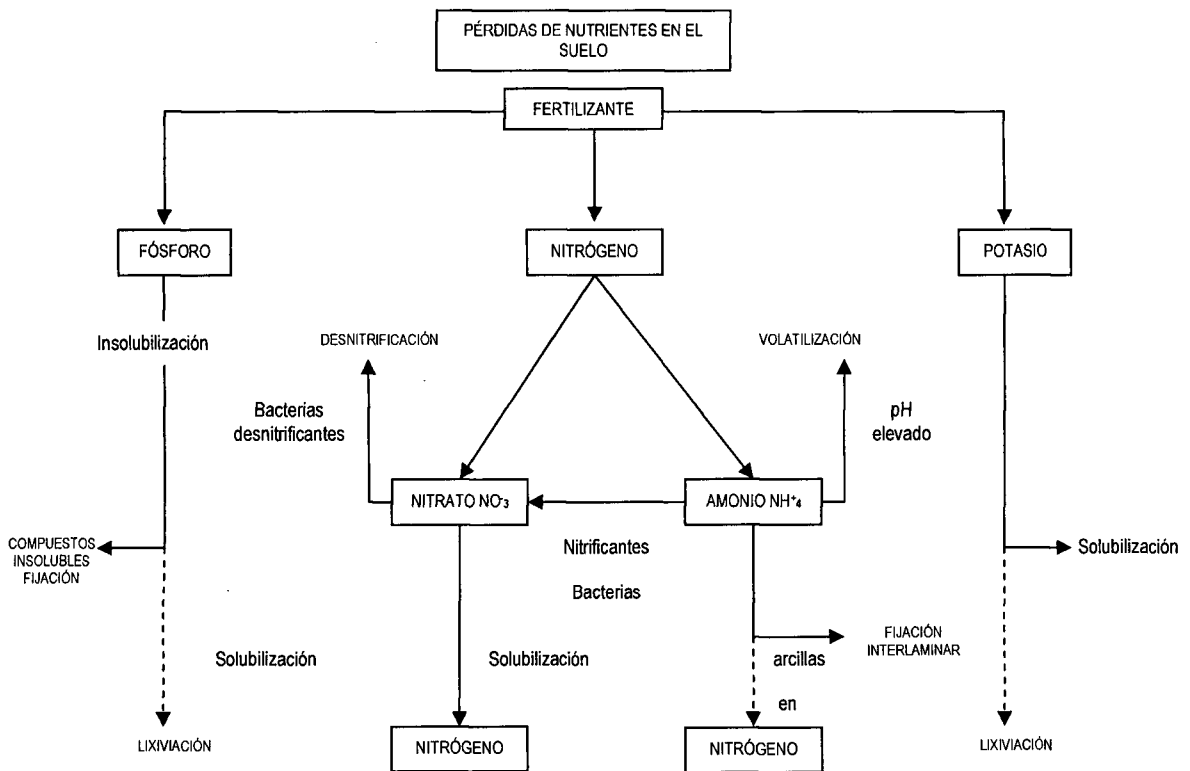
- Variación del pH del suelo.
- Inmovilización de metales pesados.

Efectos secundarios de abonos potásicos

García y Dorronsoro *et al* (2006), indican:

- Impureza en forma de aniones.
- Impureza en forma de cationes.
- Efecto salinizante, producido por las impurezas de los abonos potásicos, fundamentalmente, los cloruros.

A continuación se resume los mecanismos de pérdida de los macronutrientes en el suelo.



FUENTE: Tisdale y Nelson *et al* (1985)

1.5. MATERIA ORGÁNICA

Peirano *et al* (1992); Stevenson y Cole *et al* (1999), sostienen que la utilización racional de un suelo implica la preservación de su materia orgánica (M.O.) y de su microflora asociada, con el objeto de no deteriorar su capacidad para regular la disponibilidad de macro y micronutrientes.

Por todos los aportes que la M.O. otorga al suelo se le ha reconocido como un importante componente de su calidad (Elliot *et al* 1994). En el pasado, estudios de la M.O. y su relación con las prácticas de manejo, han establecido su importancia para la fertilidad del suelo y la productividad de los cultivos (Campbell *et al* 1992). Más recientemente, la M.O. ha asumido gran importancia como fuente potencial de CO₂ atmosférico, por lo cual, conservar o aumentar sus niveles en el suelo se justifican no tan sólo desde una perspectiva agronómica, sino también desde un punto de vista medioambiental (Elliot *et al* 1994).

El contenido de la M.O. en un suelo está altamente influenciado por las prácticas agronómicas tales como tipo de cultivo, rotaciones y manejo de residuos (Janzen *et al* 1987; Stevenson y Cole *et al* 1999), y aunque ésta, evoluciona muy lentamente, algunas de sus fracciones constituyentes pueden ser mucho más sensibles a cambios inducidos por tales prácticas (Omay *et al* 1997).

Tate *et al* (1987), indica que estas fracciones, antes mencionadas, poseen tiempos de reciclaje que varían desde horas a siglos. En un modelo simple que describe la M.O. del suelo se consideran dos fracciones: una fracción lábil y una fracción estable. La primera es sensible a las modificaciones a corto plazo, influencia la actividad biológica y se comporta como fuente de nutrientes para vegetales y organismos del suelo. La segunda, representada por sustancias húmicas, está involucrada en procesos fisicoquímicos que afectan la estructura e intercambio de iones en el suelo (Bragato y Primavera *et al* 1998).

La fracción lábil representa sólo una pequeña proporción del total de la M.O., y es la más dinámica y sensible a través del tiempo. Además, está fuertemente vinculada a la productividad y fertilidad del suelo debido a su capacidad para suministrar nutrientes tales como N, P, S y micronutrientes (Biederbeck *et al* 1994; Stevenson y Cole *et al* 1999). De este modo, la determinación de la fracción lábil provee un parámetro de fertilidad, productividad potencial y sirve como un índice temprano de cambio en la M.O. total (Dalal y Mayer *et al* 1986).

Se han propuesto un gran número de métodos para identificar y cuantificar los componentes lábiles de la M.O. Estos son los métodos de fraccionamiento físico y los métodos biológicos. Los últimos se basan en el análisis de la población microbiana, el componente más activo y sensible al impacto externo dentro del suelo y que define sus características, especialmente en lo referente a su fertilidad, interviniendo en los procesos de descomposición de residuos, ciclado de nutrientes y transformaciones de la M.O. del suelo (Zunino *et al* 1982; Schnürer *et al* 1985; Collins *et al* 1992; Lobkov *et al* 1999).

De esta manera, la actividad microbiana del suelo constituye una medida fundamental de importancia ecológica, puesto que por una parte representa el nivel de la actividad biológica involucrando el componente lábil de la M.O. y, por otra, integra los factores del medio ambiente y su influencia sobre la misma

Un suelo rico en materia orgánica y microbiota es un indicador de alta fertilidad y disponibilidad de nutrientes. La microbiota descompone los residuos orgánicos liberando agua y sustancias minerales, mineralizan el humus, transforman los elementos no disponibles en disponibles, participan en los procesos de fijación biológica del nitrógeno atmosférico y en la oxidación reducción de los nutrientes. La microbiota utiliza la energía del carbono para su metabolismo, por lo que existe una relación directa entre microorganismos, fertilidad del suelo y contenido de materia orgánica en el suelo, (Gómez *et al* 2000). En dichos procesos no todos los invertebrados tienen la misma importancia y se ha demostrado que existen relaciones

jerárquicas, dentro de la cuales ciertos organismos realizan un control en actividad de otros, (Cabrera y Crespo *et al* 2001).

Abonos Orgánicos:

Gross *et al* (1986), menciona que los abonos orgánicos son sustancias que están constituidas por desechos de origen animal, vegetal o mixto que se añaden al suelo con el objeto de mejorar sus características físicas, biológicas y químicas. Estos pueden consistir en residuos de cultivos dejados en el campo después de la cosecha, cultivos para abonos en verde; restos orgánicos de la explotación pecuaria; restos orgánicos del procesamiento de productos agrícolas; desechos domésticos; compost preparado con las mezclas de los compuestos antes mencionado. Estas clases de abono no sólo aportan al suelo materiales nutritivos, sino que además influyen favorablemente en la estructura del suelo. Asimismo aportan nutrientes y modifican la población de microorganismos en general, de esta manera se asegura la formación de agregados que permiten una mayor retentividad de agua, intercambio de gases y nutrientes, a nivel de las raíces de las plantas.

Beneficios del uso de abonos orgánicos:

Los terrenos cultivados sufren la pérdida de una gran cantidad de nutrientes, lo cual puede agotar la Materia Orgánica del suelo, por esta razón se debe restituir permanentemente. Esto se puede lograr a través de, manejo de los residuos del cultivo, el aporte de los abonos orgánicos, estiércoles u otro tipo de material orgánico introducido en el campo. El uso de los abonos orgánicos se recomienda especialmente en los suelos con bajo contenido de materia orgánica y degradada por el efecto de la erosión. Pero su aplicación puede mejorar la calidad de la producción de cultivos en cualquier tipo de suelos.

Ansorena *et al* (1992), menciona que las funciones o características que la materia orgánica imprime en un suelo agrícola son, en mucho, la parte resultante y más importante de todo este apartado que nos ocupa. La materia orgánica influye en el suelo, dotándolo de funciones

características que sin ella no tendría. Estas características son las utilizadas en agricultura para corregir defectos básicos que se presentan puntualmente en los suelos. Entre los defectos más destacados podemos citar la incapacidad de los suelos arenosos para retener agua y nutrientes, la sobresaturación de agua en los suelos muy arcillosos y su compactación, etc. Veamos algunas de las características que la materia orgánica imprime al suelo, como:

- **El color.** El color oscuro característico de los suelos orgánicos y muy orgánicos puede favorecer que la temperatura de los mismos sea superior a lo normal. Solamente el 5% de materia orgánica en el suelo es suficiente para que éste, obtenga una coloración oscura, casi negra. Se sabe que los colores oscuros absorben mayor cantidad de radiación que los claros, por lo cual se calientan más. La M.O. puede retener hasta 20 veces su peso en agua.
- **Combinación con Minerales Arcillosos.** La materia orgánica une las partículas del suelo en unidades estructurales (agregados), con lo que se consigue mejor aireación. En terrenos arcillosos donde la problemática de la sobresaturación del agua, puede ser un problema acuciante, la materia orgánica permite el intercambio de gases, estabiliza la estructura e incrementa la permeabilidad.
- **Quelación.** Forma complejos estables con Cu^{2+} , Mn^{2+} , Zn^{2+} y otros cationes polivalentes. Al formar quelaciones (enlaces químicos muy estables) con los microelementos, disminuye la capacidad de la planta para poder absorberlos.
- **Solubilidad en agua.** La insolubilidad de la materia orgánica es el resultado parcial de su asociación con las arcillas. Las sales de cationes divalentes y trivalentes en combinación con la materia orgánica también son insolubles. La materia orgánica aislada también es parcialmente insoluble. Hay, no obstante, una parte de la materia orgánica que sí es soluble en agua y se pierde hacia las capas freáticas por lixiviación.

- **Relaciones con el pH.** La materia orgánica amortigua el pH del suelo. Es decir, establece una uniformidad ácido - básica en el medio.
- **Intercambio catiónico.** La M.O. incrementa la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) de un suelo en un porcentaje que varía entre el 20% y el 70%. La acidez total de las fracciones aisladas del humus varía entre 3000 y 14000 mols Kg⁻¹.
- **Mineralización.** La descomposición de la materia orgánica produce CO₂, NH₄⁺, NH₃, PO₄³⁻ Y SO₄⁼. Estos iones son la fuente de elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas.
- **Combinación con moléculas orgánicas.** Influye en la bioactividad, persistencia y biodegradabilidad de los plaguicidas. Modifica la relación de aplicación de los pesticidas para un control efectivo.

1.6. ACTIVIDAD MICROBIANA EN UN SUELO ORGÁNICO

En el trabajo "*La actividad microbiana: un indicador de la calidad del suelo*" desarrollado por Mora *et al* (2005), en Colombia, dice que la materia orgánica activa, representa al rededor del 10-20 % de la materia orgánica total del suelo, está constituida por la microbiota edáfica, responsable de los procesos de descomposición de los substratos orgánicos (Fracción Lábil) y de la resíntesis de sustancias que dan origen a otros productos metabólicos como mucilagos, gomas, ácidos, enzimas y polisacáridos extracelulares, y por supuesto CO₂ . De tal manera que la medición del dióxido de carbono respirado es una estimación de la actividad y, por lo tanto, de la presencia microbiana; tal actividad varía en función de diferentes factores, como el uso del suelo, mineralogía, cobertura vegetal, prácticas de manejo, calidad de los residuos que entran al sistema, entre otros.

El trabajo "*La actividad microbiana: un indicador de la calidad del suelo*" desarrollado por Mora *et al* (2005), en Colombia, registra los resultados y análisis de un experimento en el cual se

determinó indirectamente la actividad microbiana mediante la medición de CO₂ desprendido por unidad de tiempo. El experimento se realizó con el propósito de verificar la siguiente afirmación a manera de hipótesis de trabajo: La producción de CO₂ se reduce entre más alejado del rizoplaneo de la planta esté el volumen de suelo, debido a una menor influencia de la dinámica rizosférica. Complementariamente, se realizan algunas reflexiones a manera de hipótesis de trabajo acerca de las posibles causas de la variabilidad de la actividad microbiana encontrada y de los posibles efectos sobre el medio ambiente.

La actividad microbiana del suelo constituye una medida fundamental de importancia ecológica, puesto que por una parte representa el nivel de la actividad biológica involucrando el componente lábil de la M.O. y, por otra, integra los factores del medio ambiente y su influencia sobre la misma.

Campbell *et al* (1992), sostiene que la respiración es uno de los parámetros más antiguos y más frecuentemente usados para cuantificar actividad microbiana en el suelo. El uso de este índice microbiológico ha permitido estimar la actividad general de la biomasa y como ésta es influenciada por clima, propiedades físicas y químicas, o prácticas de manejo agrícola, tales como labranza y rotaciones de cultivos. Todas las investigaciones se han basado en incubaciones de suelo, ya sea *in situ* o en laboratorio, con medición de productos finales como CO₂ y NO₃⁻, los cuales han permitido conocer la mineralización y estabilidad del carbono en relación a la cantidad y calidad de la M.O. presente y las prácticas de manejo agronómico. El C y el N mineralizado en estos experimentos han sido reportados como excelentes indicadores de cambio en el C y N orgánicos, respectivamente, ya que ellos representan una activa fracción de la M.O. del suelo (Carter y Rennie *et al* 1982). Por otro lado, se destaca el beneficio de determinaciones simultáneas de C y N mineralizado para comprender mejor el reciclaje de C y N orgánicos en el suelo. Gupta *et al* (1994); Collins *et al* (1992), identificaron variaciones en la mineralización de C como resultado de diferentes rotaciones de cultivo, atribuyendo estas

variaciones a la diferente cantidad y disponibilidad de C lábil que cada rotación imprime al suelo; mientras que Omay *et al* (1997), encontraron que el monocultivo disminuía considerablemente la mineralización de C, al compararlo con una sucesión de cultivos bajo cero labranza.

Los cambios en el uso del suelo influyen en su contenido de materia orgánica por dos vías: alterando el aporte anual que procede de la muerte de plantas y animales, y variando el ritmo con que se destruye esta materia orgánica; normalmente, es imposible separar estos dos procesos cuando se analizan los resultados de una variación determinada en el manejo del suelo (Jenkinson *et al* 1992). Investigaciones desarrolladas en Rothamsted, proporcionan ejemplos de la variación del contenido de materia orgánica cuando se modifica el uso, o el manejo, de un suelo; otros sistemas de explotación agrícola, pueden observarse en una revisión de Campbell. En el estudio realizado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi – IGAC *et al* (1993), donde se evaluó la distribución de las poblaciones de hongos, actinomicetos y bacterias, bajo diferentes usos de la tierra, se llegó a la conclusión de que los suelos bajo bosque presentan el más alto índice de diversidad y de riqueza biológica, como también la tasa más alta de producción de CO₂, en tanto que la mayor densidad poblacional fue aislada en suelos de piedemonte y valles, donde los últimos presentan el número más alto de hongos y bacterias. Los suelos bajo pasto Braquiaria registraron la tasa más alta de producción de bióxido de carbono. Es evidente que el cultivo hace más favorable las condiciones para la proliferación bacteriana.

Brady *et al* (1989), indica: Los agentes responsables de los procesos de degradación y síntesis de materia orgánica son los organismos vivos del suelo, tanto animales como vegetales. Esos organismos producen una infinidad de reacciones bioquímicas y, en la medida que procesa la materia orgánica, suceden alteraciones físico estructurales el suelo.

En el presente trabajo se entiende como variabilidad espacial de la actividad microbiana, los cambios que se expresan en la actividad de los microorganismos descomponedores, causados por el uso de la tierra y/o las condiciones ambientales (clima, potencial redox, acidez,

temperatura, humedad, etc.) del suelo, la atmósfera y el agua. Por lo tanto, se considera necesario revisar algunos reportes de la literatura acerca de la incidencia de algunos de estos factores sobre la biomasa y actividad microbiana del suelo; no obstante, es necesario registrar algunas notas mencionadas sobre los diferentes modelos de fraccionamiento de la materia orgánica del suelo, puesto que la biomasa microbiana forma parte de lo que Mora *et al* (2005), denomina Fracción Activa: fracción responsable de la mayor parte del CO₂ desprendido en los procesos de respiración.

Gilleman y Montegut citados por Alexander *et al* (1980), mencionan que la práctica de cultivos ejerce numerosos efectos biológicos directos e indirectos sobre las poblaciones microbiales del suelo. La influencia del arado es muy intensa sobre las poblaciones de bacterias inmediatamente después de la ruptura del suelo, el número de microorganismos aumenta 20 ó 30 veces; debido a la modificación de las condiciones de porosidad y por lo tanto el flujo de gases y agua a través de los espacios vacíos.

Paul y Clark *et al* (1989), con respecto a la disponibilidad de O₂, han establecido que la descomposición es incompleta y muy lenta en condiciones de anaerobiosis. Cuando los suelos se humedecen en forma tal, que los macro poros quedan llenos de agua la descomposición de la materia orgánica queda limitada por la velocidad con que el oxígeno puede difundirse hasta los puntos con actividad microbiana.

Factores Ambientales que influyen en la Descomposición:

Según Jenkinson *et al* (1992), los factores involucrados en la actividad microbiana (temperatura, pH, humedad, disponibilidad de O₂, nutrientes inorgánicos, accesibilidad al sustrato, etc) influyen en la descomposición de ambas clases de materiales orgánicos: residuos frescos añadidos al suelo y compuestos orgánicos humificados. La actividad microbiana, medida por el CO₂ desprendido, está fuertemente influida por el potencial hídrico.

Suelos desecados hasta un potencial hídrico de -10 MPa liberan CO₂ con una velocidad del orden del 50% de la observada si los suelos son incubados con un contenido óptimo de humedad, normalmente con un potencial hídrico comprendido entre -20 y -50 kPa. Cuando el potencial hídrico alcanza valores muy negativos, la actividad microbiana cesa (Jenkinson *et al* 1992). Este efecto negativo de las condiciones de sequía puede ser contrarrestado por el papel amortiguador de las fluctuaciones de potencial de agua que realizan los polisacáridos extracelulares.

La vegetación así como los exudados que producen algunas raíces, cambian las propiedades físicas y químicas de los suelos; en particular, la estructura, la porosidad, el pH y el potencial redox, factores que en su conjunto actúan de un modo u otro para influir sobre la densidad y la actividad de los microorganismos (IGAC *et al* 1993).

La edad de la planta también altera la flora edáfica, pues parece que los microorganismos responden más a las secreciones de la raíz que a los tejidos en descomposición; por otra parte, la forma de enraizamiento de las plantas modifica algunas propiedades del suelo. En este sentido es notorio el papel de los pastos Braquiaria, especialmente en la modificación de la estructura, favoreciendo el crecimiento de los microorganismos así como sus funciones (IGAC *et al* 1993).

Con relación a la temperatura, la ley de Van't Holf (en la que Q₁₀, relación entre las velocidades de reacción a las temperaturas T y T+10, en grados centígrados, tiene un valor comprendido entre 2 y 3) se aproxima a la descomposición de la materia orgánica en el suelo en un rango de temperatura variable entre 10 y 40°C (Jenkinson *et al* 1992). La mayoría de las mediciones que relacionan la actividad microbiana con la temperatura muestran que el crecimiento en la actividad es nulo a 0°C, sólo algunas bacterias psicrófilas son capaces de crecer a temperatura de congelamiento. A los 10°C de temperatura la actividad microbiana se dispara hasta llegar a un tope entre los 25-35 °C donde se encuentra el óptimo de temperatura

para el crecimiento de la mayoría de microorganismos (Paul y Clark *et al* 1989). Una observación interesante es que la temperatura ejerce un efecto pronunciado sobre la liberación de CO₂ del suelo proveniente de la respiración microbiana (Gresi *et al* 1992).

Con respecto a la disponibilidad de oxígeno, se ha establecido que la descomposición es incompleta y muy lenta en condiciones de anaerobiosis. Cuando los suelos se humedecen en forma tal que los macroporos quedan llenos de agua la descomposición de la materia orgánica queda limitada por la velocidad con que el oxígeno puede difundirse hasta los puntos con actividad microbiana (Paul y Clark *et al* 1989).

➤ **Descomposición de los Residuos Vegetales**

Con tiempo suficiente, todos los compuestos vegetales, si se exceptúan los carbonizados, pueden descomponerse en los horizontes superficiales del suelo, húmedos y aireados. Característicamente, esta descomposición se realiza en dos etapas: durante la primera fase (fase rápida) se descompone el nuevo sustrato y, simultáneamente, se sintetizan por los microorganismos que componen la biomasa del suelo, productos secundarios. Esta nueva biomasa y sus productos metabólicos son, a su vez, sustratos para la segunda fase, que es mucho más lenta. Los resultados obtenidos por Sorencen explican ambas fases: cuando se descompuso en el suelo celulosa marcada; en dicho experimento se observó que más del 50% del C de la celulosa evolucionó en los 30 primeros días (Jenkinson *et al* 1992).

En un experimento conducido en la costa pacífica de Nariño, en el cual se adicionaron nutrientes minerales y glucosa, se demostró que las mayores producciones de CO₂ correspondieron a los tratamientos que llevaban glucosa, siendo la tendencia similar en suelos con altos y bajos valores de carbono orgánico. La mineralización de la materia orgánica fue mejor en los primeros días de incubación porque durante ese período existió un mayor porcentaje de compuestos orgánicos solubles, a los cuales los microorganismos se ataron con preferencia, quedando para etapas posteriores la celulosa, la hemicelulosa y la lignina, que son

más difíciles de ser atacadas debido a su alto peso molecular y a una mayor estabilidad de sus enlaces orgánicos (Burbano *et al* 1989).

Los residuos vegetales con elevado contenido de lignina y otros polifenoles son más resistentes a la descomposición que los materiales pobres en estos compuestos. Así, la hojarasca de robles y hayas, ambas con elevada relación C/N y ricas en polifenoles, se descomponen con relativa lentitud si se compara con la del fresno o aliso, ricas en nitrógeno y carbohidratos solubles y pobres en polifenoles (Jenkinson *et al* 1992).

En cuanto a la disponibilidad de nutrientes y su incidencia en la descomposición de los materiales orgánicos se puede señalar de acuerdo con Jenkinson *et al* (1992) que el nutrimento más solicitado es el nitrógeno, y no es sorprendente que por esta razón sea el elemento que con más frecuencia limita la actividad microbiana del suelo y, por lo tanto, la descomposición de los materiales orgánicos. Además, anota que la falta de fósforo, azufre y calcio puede limitar la actividad microbiana *in vitro*; y que en condiciones naturales de los suelos agrícolas la descomposición de los residuos es limitada por otros elementos diferentes al nitrógeno.

➤ **La Rizósfera y la Actividad Microbiana.**

Cardoso y Freitas *et al* (1988), manifiestan que el suelo rizosférico tiene características bien diferentes al suelo distante de las raíces, pues en la rizósfera hay mayor concentración de nutrientes orgánicos provenientes de las raíces, los cuales favorecen el crecimiento de los microorganismos; se dice que en suelos arcillosos tal influencia de las raíces se limita a 2 mm. Al respecto, Burbano *et al* (1989), aduce que la influencia de la rizósfera se extiende hasta 2 cm del rizoplano; otros autores ponen el límite de 1 mm como la frontera rizosférica. El caso es que entre mayor sea la proximidad del suelo a la raíz, mayor es el efecto de la rizósfera. De manera general, el número de microorganismos en la rizósfera (R) es mucho mayor que el número de microorganismos en el suelo no rizosférico (S); de tal manera que relación R:S, generalmente es mayor que 1 (Cardoso y Freitas *et al* 1988). A esta relación se la conoce como 'efecto

rizosférico'. Según Cardoso y Freitas *et al* (1988), se ha comprobado que el aporte de exudados radicales en un cultivo de maíz es de 1250 m³ anuales por hectárea.

Según Harris *et al* (1992), se ha establecido que los suelos con alto contenido de materia orgánica, tienden a contener más organismos con demandas complejas, y que la fracción del suelo asociada a las raíces de las plantas (Rizósfera del suelo) posee un nivel más elevado de organismos con exigencias simples; aunque las aplicaciones subsiguientes parecen limitadas. En la rizósfera, donde son más abundantes los nutrientes orgánicos que en el conjunto del suelo, las algas son uno de los pocos grupos cuyo número disminuye. La flora fúngica libera generalmente menos CO₂ por unidad de carbono transformado aeróbicamente que los otros grupos microbiológicos, pues los hongos son más eficientes en su metabolismo (IGAC *et al* 1993).

En la rizósfera usualmente hay poca cantidad de nitrógeno, con una relación C:N alrededor de 40:1. Las bacterias que proliferan en la rizósfera compiten por nitrógeno y además utilizan los materiales orgánicos liberados por las raíces (Gosz y Fisher *et al* 1984, citados por Tisdall *et al* 1996). Como se muestra en láminas de agar o en micrografías electrónicas, las bacterias predominantes en la rizósfera son Gram negativas (p.e. Flavobacterium, Arthrobacter, Pseudomonas, Rhizobium, y varias bacterias del ciclo del nitrógeno) (Foster *et al* 1983, citado por Tisdall *et al* 1996). La relación del número de bacterias Gram negativas en la rizósfera frente al suelo no rizosférico oscila de 5 a 2000, determinadas sobre agar (Tisdall *et al* 1996).

1.7. EL CULTIVO DE TOMATE

INFOAGRO *et al* (2007), El tomate es la hortaliza más difundida en todo el mundo y la de mayor valor económico. Su demanda aumenta continuamente y con ella su cultivo, producción y comercio.

Taxonomía y morfología

INFOAGRO *et al* (2007), Indica lo siguiente:

-Familia: *Solanaceae*.

-Especie: *Lycopersicon esculentum* Mill.

Tomate como planta indicadora

Se considera que el cultivo de tomate posee un valor científico específico, ya que se usa para diferentes fines en la investigación biológica. *Lycopersicon esculentum* Mill es el ejemplo más representativo porque se le considera como un conejillo de indias ya que ha sido utilizado para toda clase de estudios de investigación experimental, además de ser una planta de utilidad alimenticia, medicinal o industrial. Como ésta, existen muchas otras especies útiles en la investigación científica y el desarrollo de tecnologías, a las que se debería reconocer un valor científico específico. Es por eso que se escogió el cultivo de tomate para el desarrollo de la presente investigación.

1.8. EL ANÁLISIS FUNCIONAL DE VARIANCIA

Generalidades:

Tineo *et al* (1997), manifiesta que, ésta sección del documento proviene de una transcripción parcial del tema "análisis funcional de variancia", del libro de Calzada *et al* (1954), quien hace referencia a Henry Hopp, para permitirnos entender mejor este tema.

Henry Hopp describe un método de análisis basado en los grados de libertad individuales para ampliar en forma funcional el análisis usual o preliminar de la variancia, de acuerdo a los resultados y necesidades particulares de cada experimento.

Sucede algunas veces a pesar de haber diferencias aparentemente reales entre algunos tratamientos de un experimento, el análisis preliminar de la variancia no confirma la significación de esas diferencias. Por otra parte, puede uno desear comparar entre algunos tratamientos

separadamente, pero el análisis preliminar de la variancia no permite separarlos, pues todos son sometidos en conjunto a la prueba de F.

Algunos experimentadores consideran que el análisis preliminar de la variancia es concluyente. Esto es, sin embargo, un concepto inexacto, pues puede haber diferencias significativas, aún cuando el cuadrado medio (CM) del conjunto de tratamientos no sea significativo. Sin embargo, esto sólo puede suceder cuando el CM de tratamientos tiene dos o más grados de libertad; es decir se está evaluando tres o más tratamientos.

En el ejemplo, el CM de tratamientos tiene 3 GL, siendo el promedio de 3 cuadrados medios; correspondiendo cada uno a una comparación, una de las cuales puede tener significación, aún cuando el CM del promedio, que es 500, no sea significativo. Por consiguiente, cuando se tiene un CM de varios GL que no tenga diferencia estadística, es recomendable desarrollar en forma funcional el análisis preliminar de la variancia para determinar si algunas comparaciones individuales son significativas.

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. UBICACIÓN

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar, "Nicolás Roulet" y en el invernadero del área de suelos del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, en Pampa del Arco, 2760 msnm, Ayacucho. La zona de vida según la clasificación de Holdridge es una estepa espinosa montano bajo subtropical (ee-MBS); que presenta un clima semiárido con una precipitación media anual de 560 mm por año y una temperatura media anual de 16 °C.

2.2. ESTRATOS DE SUELO QUE SE UTILIZARON EN EL EXPERIMENTO

Con la finalidad de contar con suelos con contenido diferente de materia orgánica, las muestras correspondieron a tres diferentes estratos de suelo de un terreno de uso agrícola representativo de la zona, ubicado en Pampa del Arco del Distrito de Ayacucho. Se recogió la cantidad necesaria de suelo, la primera muestra se tomó de la parte superficial (0-5 cm), la segunda muestra se tomó de una capa media (5-15 cm) y la tercera muestra se tomó de una capa más profunda (15-25 cm).

El análisis del suelo realizado en el Laboratorio de Suelos y Análisis Foliar "Nicolás Roulet" del Programa de Investigación en Pastos y Ganadería, de la UNSCH, reporta el resultado siguiente (Cuadro 2.1)

Cuadro 2.1. Características físico-químicas de los estratos del suelo. Pampa del Arco, 2760 msnm. Ayacucho.

CLAVE Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH	M.O.	Nt %	Elementos disp. (ppm)			CaCO ₃ %
	Arena	Limo	Arcilla		H ₂ O	%		P	K	S	
Estrato 1 (0-5 cm)	62.9	12.6	24.5	Fco-arcillo-arenoso	7.98	5.32	0.30	25.3	4583	-	13.0
Estrato 2 (5-15 cm)	50.9	14.6	34.5	Fco-arcillo-arenoso	8.28	3.55	0.23	12.7	442	-	16.5
Estrato 3 (15-25 cm)	59.0	14.5	26.5	Fco-arcillo-arenoso	8.54	1.40	0.14	6.70	432	-	41.5

Para la extracción de las muestras, de suelo se realizó lo siguiente: - Se aperturó el área de terreno escogido, con la ayuda de pico y pala, hasta obtener un corte vertical de los horizontes; - a partir de éstos se extrajeron las muestras de suelos de cada capa; - luego se continuó con el tamizado de las muestras (tamiz de 5 mm).

2.3. PROCEDIMIENTO Y FUNDAMENTO DE LA METODOLOGÍA

Para calcular la cantidad de CO₂ desprendido se parte del hecho que 1 ml de NaOH 0.2N corresponde a 0.00044 g de CO₂. En el proceso de respiración, una parte de la soda se combina con el CO₂ y otra parte queda libre; entonces se trata de determinar la porción de soda libre (en la titulación se utilizaron n ml de HCl 0.1N, correspondiente a n/2 ml de NaOH 0.2N) y, por diferencia se calculó la cantidad consumida (8 - n/2). Esta cantidad multiplicada por 0.00044 proporciona la cantidad de CO₂ desprendido. Las reacciones en el proceso de respiración son:



Para calcular la tasa de mineralización de la materia orgánica se utilizan los datos de las características químicas del suelo utilizado (%MO) y los resultados obtenidos de la producción de CO₂ desprendido a partir de la actividad microbiana de los suelos, estos datos son aplicados en la siguiente fórmula:

$$\%M = \frac{C - CO_2 \text{ prod. act. mic.}}{C - CO_2 (MO)} * 100$$

Donde:

C-CO₂ prod. act. mic. = g de CO₂ desprendidos a partir de la actividad microbiana de los suelos

C-CO₂ (MO) = (%MO / 1.724) * (44 / 12)



$$CO_2 \left\{ \begin{array}{l} 1C = 12 \\ 20 = 32 \\ 44 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 44 \\ \hline 12 \end{array}$$

$$\frac{100}{58} = 1.724$$

2.4. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En vista de que se evaluó la influencia del uso de abonos (orgánico y sintético) en la actividad microbiana de tres tipos de suelo, los factores que se consideran en la presente investigación son: a) fórmulas de abonamiento: que resultan de la combinación de abono natural orgánico (con y sin compost) y abono mineral sintético (con y sin N-P-K); b) Suelos con diferentes contenidos de materia orgánica (bajo, medio y alto).

Los tratamientos así establecidos (12), corresponden a un factorial 3Sx4F (cuadro 2.2),

los que se distribuyeron en cada uno de los frascos utilizando el diseño completamente al azar con tres repeticiones, haciendo un total de 36 unidades experimentales (u.e.). La u.e. consistió en un frasco de vidrio de 250 ml de capacidad para el caso de la actividad microbiana y de recipientes de hojalata para el caso del rendimiento de materia seca de tomate.

Cuadro 2.2. Distribución de tratamientos.

Estrato	Abonamiento		Tratamientos		Descripción
E ₁	f ₁	o ₀ m ₀	T ₁	e ₁ f ₁	Estrato 1, sin abonamiento (0 t.ha ⁻¹ compost y 000-000-000 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₂	o ₁ m ₀	T ₂	e ₁ f ₂	Estrato 1, sólo con abonamiento orgánico (8 t.ha ⁻¹ compost y 000-000-000 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₃	o ₀ m ₁	T ₃	e ₁ f ₃	Estrato 1, sólo con abonamiento sintético (0 t.ha ⁻¹ compost y 320-360-280 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₄	o ₁ m ₁	T ₄	e ₁ f ₄	Estrato 1, con abonamiento orgánico y con abonamiento sintético (4 t. ha ⁻¹ compost y 160-180-140 kg.ha ⁻¹).
E ₂	f ₁	o ₀ m ₀	T ₅	e ₂ f ₁	Estrato 2, sin abonamiento (0 t.ha ⁻¹ compost y 000-000-000 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₂	o ₁ m ₀	T ₆	e ₂ f ₂	Estrato 2, sólo con abonamiento orgánico (8 t.ha ⁻¹ compost y 000-000-000 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₃	o ₀ m ₁	T ₇	e ₂ f ₃	Estrato 2, sólo con abonamiento sintético (0 t.ha ⁻¹ compost y 320-360-280 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₄	o ₁ m ₁	T ₈	e ₂ f ₄	Estrato 2, con abonamiento orgánico y con abonamiento sintético (4 t. ha ⁻¹ compost y 160-180-140 kg.ha ⁻¹).
E ₃	f ₁	o ₀ m ₀	T ₉	e ₃ f ₁	Estrato 3, sin abonamiento (0 t.ha ⁻¹ compost y 000-000-000 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₂	o ₁ m ₀	T ₁₀	e ₃ f ₂	Estrato 3, sólo con abonamiento orgánico (8 t.ha ⁻¹ compost y 000-000-000 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₃	o ₀ m ₁	T ₁₁	e ₃ f ₃	Estrato 3, sólo con abonamiento sintético (0 t.ha ⁻¹ compost y 320-360-280 kg.ha ⁻¹ NPK).
	f ₄	o ₁ m ₁	T ₁₂	e ₃ f ₄	Estrato 3, con abonamiento orgánico y con abonamiento sintético (4 t. ha ⁻¹ compost y 160-180-140 kg.ha ⁻¹).

De esta manera se evaluó la variación en la actividad microbiana de los estratos del suelo y el rendimiento de materia seca de tomate, por efecto del uso de diferentes mezclas de abono natural (compost) y abono sintético (N-P-K), en suelos con diferentes contenidos de materia orgánica.

La composición media aproximada del compost (abono natural) producido en el Programa de Investigación de Pastos y Ganadería es la siguiente:

pH : 7.50
 N total : 0.60%
 P total : 0.22%
 K total : 0.78%

2.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Consistió en:

a) Para la actividad microbiana

- Para cada unidad experimental se tomó 100 g de la muestra de los estratos de suelo tamizadas a 2 mm de diámetro.
- La muestra de suelo se introdujo en frascos de 250 ml de capacidad.
- Se pesaron las dosis de abonos (Anexo 1).
- Se aplicaron los abonos y se mezclaron con los suelos con una rotación simple sobre la mesa de trabajo, de manera que la mezcla sea uniforme.
- Se agregó agua hasta alcanzar la capacidad de campo.
- Sobre la lámina de suelo se colocó un tubito vial con 8 ml de NaOH (0.2N).
- Se incluyó un blanco con sólo agua (para ajustar la lectura).
- Se tapó herméticamente cada uno de los frascos y se colocó en un espacio oscuro a temperatura ambiente.
- Se realizaron las lecturas (titulación), cada 03 días; durante 27 días.

Se tituló agregando 1 ml de solución de cloruro de bario (1.0 M) y tres gotas de fenolftaleína (1.0%) a cada tubito vial (conteniendo el NaOH).

b) Para la producción de materia seca de tomate

Consistió en conducir un cultivo de tomate en recipientes de hojalata de 2 lt de capacidad, durante 2 meses, para evaluar la producción de materia seca; se aplicaron los abonos según las fórmulas de fertilización señaladas en el cuadro 2.2.

- Para cada unidad experimental se tomaron 1 kg de las muestras tamizadas a 5 mm de

diámetro.

- Se introdujeron piedras en la base de los recipientes de hojalata.
- Se pesaron las dosis de abonos (Anexo 1).
- Se aplicaron los abonos y se mezclaron con los suelos con una rotación simple sobre la mesa de trabajo, de manera que la mezcla sea uniforme.
- Se agregó agua hasta alcanzar la capacidad de campo.
- Con ayuda de una estaca se transplantaron las plántulas de tomate a los recipientes.

Evaluación de materia seca (60 días después de la instalación):

- Se cortaron las plantas de tomate a nivel del cuello del tallo.
- Las plantas fueron puestas en bolsas de papel para luego ser llevadas a estufa (90° C) por un periodo de 24 horas.
- Se realizó el pesado de las muestras.

2.6. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Con la información obtenida se realizaron los cálculos correspondientes, mediante la metodología del Análisis Funcional de la Variancia, ANAFUNVA (Tineo *et al* 1997).

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro **a2** del Anexo, muestra los resultados de la actividad microbiana en función a la producción de CO₂ (mg CO₂/100 g de suelo); en este se observa que los valores promedios más altos (2.853 a 3.249) corresponden al estrato 1 (con alto contenido de MO: 5.32%); mientras que el valor más bajo (0.191) corresponde al estrato 3 (con bajo contenido de MO: 1.4%). El mismo cuadro, también muestra una variación en la producción de CO₂ en todos los tratamientos; a través del tiempo, en el que se observa una disminución de la producción del CO₂, con una significativa influencia de la temperatura, la cual varió en cada una de las fechas de evaluación.

Los resultados encontrados ponen en evidencia los cambios producidos en la actividad microbiana (medida a través de la producción de CO₂), como consecuencia del aporte de diferentes mezclas de abono orgánico y mineral (abono sintético).

3.1. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 3 DÍAS

El cuadro a4 del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, durante las primeras 72 horas; se observa que el valor más bajo en promedio (1.241280) corresponde al tratamiento M (abonamiento mineral) en el estrato 3; mientras que el valor más alto (3.729667) se alcanzó con el testigo en el estrato 2; cabe destacar que en el estrato 1 podría haber ocurrido la máxima tasa (>3.445407), ya que durante el proceso de titulación no hubo gasto de HCl (debido a la alta actividad microbiana se agotó el NaOH en un tiempo menor a los tres días).

El cuadro 3.1, de análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponde a la actividad microbiana durante los tres primeros días (primera lectura: 72 horas después de instalado el experimento), muestra diferencia altamente significativa entre tratamientos; lo que indica que la actividad microbiana durante este periodo inicial es influenciada por los diferentes porcentajes de MO de los estratos del suelo y por las diferentes mezclas de abono aplicadas a los estratos del suelo.

Cuadro 3.1. Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100 g suelo) en los primeros tres días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
suelo	2	13.38639050	6.69319525	56.14	<.0001 **
fuentes	3	8.02566386	2.67522129	22.44	<.0001 **
suelo*fuentes	6	6.17954972	1.02992495	8.64	<.0001 **
t vs fuentes/estrato1	1	0.00024544	0.00024544	0.00	0.9642 NS
solos vs mezcla/estrato1	1	0.00049089	0.00049089	0.00	0.9494 NS
org vs min/estrato1	1	0.00147267	0.00147267	0.01	0.9124 NS
t vs fuentes/estrato2	1	2.38445069	2.38445069	20.00	0.0002 **
solos vs mezcla/estrato2	1	0.11408272	0.11408272	0.96	0.3377 NS
org vs min/estrato2	1	0.37650150	0.37650150	3.16	0.0882 NS
t vs fuentes/estrato3	1	11.05562500	11.05562500	92.73	<.0001 **
solos vs mezcla/estrato3	1	0.01566450	0.01566450	0.13	0.7202 NS
org vs min/estrato3	1	0.25668017	0.25668017	2.15	0.1553 NS
Error	24	2.86148267	0.11922844		
Total	35	30.45308675			

CV = 12.38%

En el cuadro 3.1 también se observa respuesta altamente significativa en la comparación entre el testigo y las fuentes, tanto en el estrato 2 como en el estrato 3.

Con alto contenido de materia orgánica, probablemente haya una mayor capacidad de amortiguar el efecto de cualquier fertilizante orgánico o mineral; para lo cual, es importante resaltar que los resultados de la tasa de mineralización en los tratamientos O, M y MO para los estratos 2 y 3 son menores a los obtenidos en los tratamientos Testigo.

En las variaciones en los resultados de tasa de mineralización para los tratamientos O con respecto a los tratamientos T, puede decirse que hubo una reacción antagónica entre los microorganismos del suelo y los del abono orgánico incorporado. También se puede afirmar que hubo una disminución de la población de los microorganismos del suelo ante la incorporación de los fertilizantes minerales.

El uso exagerado de abonos sintéticos (urea, fosfatos y KCl) genera la muerte de la flora del suelo (hongos simbióticos) así mismo, la muerte de microorganismos como bacterias, hongos y algas; debido a que los fertilizantes sintéticos generan un medio tóxico y acidificante inadecuado para la sobrevivencia de los microorganismos (Brack *et al* 2000); (Leisa *et al* 2008). También se debe tener en cuenta que los fertilizantes sintéticos son agentes oxidantes extremadamente poderosos y actúan sobre otras sustancias con la que toman contacto causándoles oxidación que es responsable y causante de la crisis y colapso en todo, por lo que, es muy difícil la sobrevivencia de microorganismos en un medio con alta oxidación (Higa *et al* 1993). Lo mencionado anteriormente posiblemente sea la causa principal del bajo rendimiento de CO₂ en los tratamientos con aplicaciones de fertilizantes minerales, por la escasez de los microorganismos y la baja actividad de los mismos. Mientras que los testigos poseen un alto rendimiento de CO₂ debido a una gran actividad de los microorganismos, ya que estos tratamientos no son acompañados por ningún tipo de fertilizante sintético, en consecuencia poseen un medio adecuado para su sobrevivencia (no tóxico).

Con poco contenido de materia orgánica (estrato 3) se observa lo manifestado por Brack *et al* (2000), Leisa *et al* (2008) y Higa *et al* (1993).

3.2. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 5, 11, 13, 15 y 27 DÍAS

Los cuadros **a5, a8, a9, a10 y a14** del Anexo, muestran los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, durante los 5, 11, 13, 15 y 27 días respectivamente; se observa que el valor más bajo en promedio (1.152617) corresponde al tratamiento M en el estrato 3; mientras que el valor más alto (5.261440) se alcanzó con el tratamiento M en el estrato 1, correspondiente al cuadro **a5** del Anexo; también se observa que el valor más bajo en promedio (1.329943) corresponde a los tratamientos M y OM en el estrato 3; mientras que el valor más alto (3.025426) se alcanzó con el tratamiento T en el estrato 1, correspondientes al cuadro **a14** del Anexo.

Los cuadros **a15 al a19** del Anexo, muestran los resultados del análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponde a la actividad microbiana para los 5, 11, 13, 15 y 27 días después de instalado el experimento, indican resultados similares, mostrando que no existe diferencia altamente significativa para tratamientos, tanto para el estrato 1, como en el estrato 2.

En los cuadros **a15 al a19** también se observan respuestas altamente significativas en la comparación entre el testigo y las fuentes, en el estrato 3.

Como se manifestó, para el caso de la primera lectura, este resultado está relacionado con el contenido de materia orgánica en los estratos del suelo.

Inicialmente los microorganismos se encontraban en un medio tóxico, debido a la propiedad oxidante de los fertilizantes; sin embargo, los microorganismos poseen habilidad de producir antioxidantes (Higa *et al* 1993); y que poco a poco con el transcurrir del tiempo pueden equilibrar un medio hostil, e incluso convertirlo en un medio adecuado para su subsistencia. Posiblemente este fenómeno haya ocurrido en estos periodos, llegando a equilibrar el medio; incluso aprovechando los minerales (NPK), como fuente de nutrientes, incrementando así su

actividad, incluso en los tratamientos con alta dosis de fertilizantes sintéticos.

3.3. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 7 DÍAS

El cuadro a6 del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, durante los primeros 7 días; se observa que el valor más bajo en promedio (1.241280) corresponde al tratamiento OM en el estrato 3; mientras que el valor más alto (4.013161) se alcanzó con el tratamiento M en el estrato 1.

El cuadro 3.2, de análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponde a la actividad microbiana durante los siete primeros días, muestra diferencia altamente significativa entre tratamientos; lo que indica que la actividad microbiana durante este periodo es influenciada por los diferentes porcentajes de MO de los estratos del suelo y por las diferentes mezclas de abono aplicadas a los estratos del suelo.

Cuadro 3.2. Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100 g suelo) a los 7 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
suelo	2	26.98113217	13.49056608	169.83	<.0001 **
fuentes	3	2.08861367	0.69620456	8.76	0.0004 **
suelo*fuentes	6	2.86379983	0.47729997	6.01	0.0006 **
t vs fuentes/estrato1	1	0.00765625	0.00765625	0.10	0.7589 NS
solos vs mezcla/estrato1	1	0.70805000	0.70805000	8.91	0.0064 **
org vs min/estrato1	1	0.11760000	0.11760000	1.48	0.2355 NS
t vs fuentes/estrato2	1	0.04040100	0.04040100	0.51	0.4826 NS
solos vs mezcla/estrato2	1	0.25704450	0.25704450	3.24	0.0846 NS
org vs min/estrato2	1	0.38557350	0.38557350	4.85	0.0374 *
t vs fuentes/estrato3	1	3.38498669	3.38498669	42.61	<.0001 **
solos vs mezcla/estrato3	1	0.04815339	0.04815339	0.61	0.4438 NS
org vs min/estrato3	1	0.00294817	0.00294817	0.04	0.8489 NS
Error	24	1.90644733	0.07943531		
Total	35	33.83999300			

CV = 11.27%

En el cuadro 3.2 también se observa respuesta altamente significativa en los abonos orgánicos o minerales y las mezclas de los mismos en el estrato 1, respuesta significativa en los abonos orgánicos y minerales en el estrato 2 y respuesta altamente significativa en el testigo y las fuentes en el estrato 3.

Se observan diferencias significativas y altamente significativas en los tratamientos entre las aplicaciones de abonos orgánicos, minerales y sus mezclas, tanto para el estrato 1, como para el estrato 2 del suelo; los cuales indican que probablemente existe una mayor influencia negativa en la actividad microbiana de los suelos por la aplicación de los abonos minerales, además de ser los dos suelos con el mayor porcentaje de materia orgánica, y por lo tanto ocurre un mayor efecto sobre los microorganismos a comparación del estrato 3 del suelo el cual posee el menor porcentaje de materia orgánica.

Como se manifestó para el caso de la primera lectura, este resultado está relacionado con el abonamiento; el uso exagerado de los abonos genera un medio tóxico y acidificante inadecuado para la sobrevivencia de los microorganismos (Leisa *et al* 2008).

3.4. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 9 DÍAS

El cuadro a7 del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, durante los primeros 7 días; se observa que el valor más bajo en promedio (1.241280) corresponde al tratamiento OM en el estrato 3; mientras que el valor más alto (4.013161) se alcanzó con el tratamiento M en el estrato 1.

El cuadro 3.3, de análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponde a la actividad microbiana durante los nueve primeros días, muestra diferencia altamente significativa entre tratamientos; lo que indica que la actividad microbiana durante este periodo es influenciada por los diferentes porcentajes de MO de los estratos del suelo y por las diferentes mezclas de abono aplicadas a los estratos del suelo.

Cuadro 3.3. Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100 g suelo) a los 9 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	2	33.18472406	16.59236203	298.68	<.0001 **
fuentes	3	2.52699167	0.84233056	15.16	<.0001 **
suelo*fuentes	6	2.16849817	0.36141636	6.51	0.0004 **
t vs fuentes/estrato1	1	0.53168403	0.53168403	9.57	0.0050 **
solos vs mezcla/estrato1	1	0.00333472	0.00333472	0.06	0.8085 NS
org vs min/estrato1	1	0.01000417	0.01000417	0.18	0.6751 NS
t vs fuentes/estrato2	1	0.00007225	0.00007225	0.00	0.9715 NS
solos vs mezcla/estrato2	1	0.03001250	0.03001250	0.54	0.4694 NS
org vs min/estrato2	1	0.26418017	0.26418017	4.76	0.0392 *
t vs fuentes/estrato3	1	3.80510044	3.80510044	68.50	<.0001 **
solos vs mezcla/estrato3	1	0.02456806	0.02456806	0.44	0.5124 NS
org vs min/estrato3	1	0.02653350	0.02653350	0.48	0.4961 NS
Error	24	1.33325667	0.05555236		
Total	35	39.21347056			

CV = 9.04%

En el cuadro 3.3 también se observa respuesta altamente significativa en el testigo y las fuentes, tanto en el estrato 3, como en el estrato 1 y respuesta significativa en los abonos orgánicos y minerales en el estrato 2.

A diferencia del cuadro anterior, se observan diferencias significativas en los tratamientos entre las aplicaciones de abonos orgánicos, minerales y sus mezclas, pero en este caso sólo para el estrato 2; lo cual indica que probablemente para el estrato 1 ocurrió un efecto de amortiguación ante el efecto negativo de los abonos y que aún existe una mayor influencia negativa en la actividad microbiana del estrato 2 por la aplicación de los abonos orgánicos y minerales, ya que el estrato 2 posee un menor porcentaje de materia orgánica a comparación del estrato 1, y en consecuencia una menor capacidad de amortiguación ante los efectos negativos de los abonos.

3.5. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 18 DÍAS

El cuadro a11 del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, a los 18 días; se observa que el valor más bajo en promedio (1.241280) corresponde al tratamiento O y OM en el estrato 3; mientras que el valor más alto (3.009871) se

alcanzó con el tratamiento T en el estrato 1.

El cuadro 3.4, de análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponde a la actividad microbiana durante los dieciocho días, muestra diferencia altamente significativa entre tratamientos; lo que indica que la actividad microbiana durante este periodo es influenciada por los diferentes porcentajes de MO de los estratos del suelo y por las diferentes mezclas de abono aplicadas a los estratos del suelo.

Cuadro 3.4. Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100 g suelo) a los 18 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	2	12.84227439	6.42113719	262.95	<.0001 **
Fuentes	3	1.21130919	0.40376973	16.53	<.0001 **
suelo*fuentes	6	0.50387139	0.08397856	3.44	0.0136 *
t vs fuentes/estrato1	1	0.13056178	0.13056178	5.35	0.0297 *
solos vs mezcla/estrato1	1	0.00112022	0.00112022	0.05	0.8322 NS
org vs min/estrato1	1	0.00326667	0.00326667	0.13	0.7178 NS
t vs fuentes/estrato2	1	0.11810678	0.11810678	4.84	0.0377 *
solos vs mezcla/estrato2	1	0.07827606	0.07827606	3.21	0.0860 NS
org vs min/estrato2	1	0.01297350	0.01297350	0.53	0.4731 NS
t vs fuentes/estrato3	1	1.36383469	1.36383469	55.85	<.0001 **
solos vs mezcla/estrato3	1	0.00176022	0.00176022	0.07	0.7906 NS
org vs min/estrato3	1	0.00528067	0.00528067	0.22	0.6461 NS
Error	24	0.58607733	0.02441989		
Total	35	15.14353231			

CV = 7.98%

En el cuadro 3.4 también se observa respuesta significativa en el testigo y las fuentes, tanto en el estrato 1 como en el estrato 2 y respuesta altamente significativa, el testigo y las fuentes en el estrato 3.

A diferencia de la lectura anterior del cuadro a18 del Anexo (15 días) los resultados del cuadro 3.4 corresponden a la lectura realizada a los 18 días, hasta los resultados anteriores las lecturas se realizaron cada dos días, pero a partir de ésta, se realizaron cada tres días. Este cambio en el procedimiento de la investigación pudo alterar la evolución de los resultados obtenidos hasta el momento.

Este resultado está relacionado con el abonamiento; el uso exagerado de abonos genera un medio tóxico y acidificante inadecuado para la sobrevivencia de los microorganismos (Leisa *et al* 2008).

3.6. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 21 DÍAS

El cuadro a12 del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, a los 21 días; se observa que el valor más bajo en promedio (1.418606) corresponde al tratamiento OM en el estrato 3; mientras que el valor más alto (2.846544) se alcanzó con el tratamiento T en el estrato 1.

El cuadro 3.5, de análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponde a la actividad microbiana durante los veintinueve días, muestra diferencia altamente significativa entre tratamientos; lo que indica que la actividad microbiana durante este periodo es influenciada por los diferentes porcentajes de MO de los estratos del suelo y por las diferentes mezclas de abono aplicadas a los estratos del suelo.

Cuadro 3.5. Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100 g suelo) a los 21 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	2	7.28694017	3.64347008	159.75	<.0001 **
Fuentes	3	0.52134875	0.17378292	7.62	0.0010 **
suelo*fuentes	6	0.327068850	0.05451142	2.39	0.0594 NS
t vs fuentes/estrato1	1	0.23296711	0.23296711	10.21	0.0039 **
solos vs mezcla/estrato1	1	0.00002689	0.00002689	0.00	0.9729 NS
org vs min/estrato1	1	0.00081667	0.00081667	0.04	0.8515 NS
t vs fuentes/estrato2	1	0.00053669	0.00053669	0.02	0.8794 NS
solos vs mezcla/estrato2	1	0.00676672	0.00676672	0.30	0.5910 NS
org vs min/estrato2	1	0.02926017	0.02926017	1.28	0.2685 NS
t vs fuentes/estrato3	1	0.52369344	0.52369344	22.96	<.0001 **
solos vs mezcla/estrato3	1	0.05302939	0.05302939	2.33	0.1404 NS
org vs min/estrato3	1	0.00132017	0.00132017	0.06	0.8119 NS
Error	24	0.54736333	0.02280681		
Total	35	8.68272075			

CV = 7.67%

En el cuadro 3.5 también se observa respuesta altamente significativa en el testigo y las fuentes, tanto en el estrato 1 como en el estrato 3.

3.7. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 24 DÍAS

El cuadro a13 del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, a los 24 días; se observa que el valor más bajo en promedio (1.034400)

corresponde al tratamiento OM en el estrato 3; mientras que el valor más alto (2.574334) se alcanzó con el tratamiento T en el estrato 1.

El cuadro 3.6, de análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponde a la actividad microbiana durante los veinticuatro días, muestra diferencia significativa entre tratamientos; lo que indica que la actividad microbiana durante este periodo es influenciada por los diferentes porcentajes de MO de los estratos del suelo y por las diferentes mezclas de abono aplicadas a los estratos del suelo.

Se podría decir que cualquier efecto negativo de los abonos, en la actividad microbiana, podría haber ocurrido durante los primeros días; a partir del cual los microorganismos gracias a su habilidad de producir antioxidantes (Higa *et al* 1993), poco a poco con el transcurrir del tiempo han equilibrado el medio inicialmente hostil, hasta convertirlo en un medio adecuado para su subsistencia.

Cuadro 3.6. Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100 g suelo) a los 24 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
suelo	2	9.71081572	4.85540786	187.06	<.0001 **
fuentes	3	0.17828586	0.05942862	2.29	0.1040 NS
suelo*fuentes	6	0.24279939	0.04046656	1.56	0.2023 NS
t vs fuentes/estrato1	1	0.13056178	0.13056178	5.03	0.0344 *
solos vs mezcla/estrato1	1	0.00688356	0.00688356	0.27	0.6113 NS
org vs min/estrato1	1	0.00735000	0.00735000	0.28	0.5995 NS
t vs fuentes/estrato2	1	0.00348100	0.00348100	0.13	0.7174 NS
solos vs mezcla/estrato2	1	0.04560200	0.04560200	1.76	0.1975 NS
org vs min/estrato2	1	0.00749067	0.00749067	0.29	0.5961 NS
t vs fuentes/estrato3	1	0.17098225	0.17098225	6.59	0.0169 *
solos vs mezcla/estrato3	1	0.02784800	0.02784800	1.07	0.3106 NS
org vs min/estrato3	1	0.02088600	0.02088600	0.80	0.3786 NS
Error	24	0.62296067	0.02595669		
Total	35	10.75486164			

CV = 9.61%

En el cuadro 3.6 también se observa respuesta significativa en el testigo y las fuentes, tanto en el estrato 1 como en el estrato 3.

Estos resultados indican que se produce una estabilización de la actividad microbiana en los estratos del suelo, producida por la capacidad amortiguadora de los suelos ricos en materia orgánica, ante la incorporación de los abonos orgánicos y minerales.

3.8. RENDIMIENTO DE MATERIA SECA EN EL CULTIVO DE TOMATE (g)

El cuadro 3.7, muestra los resultados de la tasa de producción de materia seca del cultivo de tomate, a los 60 días de la instalación en invernadero; se observa que el valor más bajo en promedio (0.33 g) corresponde al tratamiento T en el estrato 3; mientras que el valor más alto (3.59 g) se alcanzó con el tratamiento M en el estrato 1.

El cuadro 3.8, de análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponde a la producción de materia seca del cultivo de tomate, tratado con las mismas dosis de abonos orgánicos y minerales durante 60 días en invernadero, indica que existen evidencias de una influencia definida de los abonos orgánicos y minerales en la producción de materia seca en el cultivo de tomate, en los resultados obtenidos se pueden observar diferencias altamente significativas entre tratamientos, lo que significa que la producción de materia seca está siendo influenciada por las diferentes mezclas de abonos orgánicos y minerales aplicados a los estratos del suelo.

Cuadro 3.7. Rendimiento de materia seca en el cultivo de tomate (g)

Bloques	E1				E2				E3			
	T	O	M	OM	T	O	M	OM	T	O	M	OM
I	3.37	3.30	3.69	3.04	1.54	2.03	3.19	2.70	0.37	0.77	2.60	1.68
II	2.85	3.01	3.65	3.46	1.75	2.52	3.00	2.08	0.41	0.50	2.57	1.77
III	3.15	3.19	3.42	3.42	1.98	2.28	2.89	2.30	0.22	0.58	2.71	1.98
Σ	9.37	9.50	10.76	9.92	5.27	6.83	9.08	7.08	1.00	1.85	7.88	5.43
\bar{x}	3.12	3.17	3.59	3.31	1.76	2.28	3.03	2.36	0.33	0.62	2.63	1.81

Cuadro 3.8. Análisis funcional de variancia de la producción de materia seca en el cultivo de tomate

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	2	22.80461667	11.40230833	301.89	<.0001 **
fuentes	3	9.32056389	3.10685463	82.26	<.0001 **
Suelo*fuentes	6	3.75722778	0.62620463	16.58	<.0001 **
t vs fuentes/estrato1	1	0.11902500	0.11902500	3.15	0.0885 NS
solos vs mezcla/estrato1	1	0.00980000	0.00980000	0.26	0.6151 NS
org vs min/estrato1	1	0.26460000	0.26460000	7.01	0.0141 *
t vs fuentes/estrato2	1	1.43201111	1.43201111	37.91	<.0001 **
solos vs mezcla/estrato2	1	0.17013889	0.17013889	4.50	0.0443 *
org vs min/estrato2	1	0.84375000	0.84375000	22.34	<.0001 **
t vs fuentes/estrato3	1	4.10737778	4.10737778	108.75	<.0001 **
solos vs mezcla/estrato3	1	0.07093889	0.07093889	1.88	0.1832 NS
org vs min/estrato3	1	6.06015000	6.06015000	60.45	<.0001 **
Error	24	0.90646667	0.03776944		
Total	35	36.78887500			

CV = 8.33%

En el cuadro 3.8 también se observa respuesta significativa en los abonos orgánicos y minerales en el estrato 1, respuesta altamente significativa en el testigo y las fuentes, tanto en el estrato 2 como en el estrato 3, respuesta significativa en los abonos orgánicos o minerales y las mezclas de los mismos en el estrato 2 y respuesta altamente significativa en los orgánicos y minerales, tanto en el estrato 2 como en el estrato 3.

Se observa que a pesar de los efectos negativos en la actividad microbiana de los estratos del suelo para los tratamientos, los resultados en la producción de materia seca del cultivo de tomate fueron los esperados. Siendo los suelos más ricos en materia orgánica y los tratamientos con abonos minerales, los más favorables para la producción de materia seca en el cultivo de tomate.

3.9. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA

El cuadro a3 del Anexo, muestra los resultados de %CM de los suelos en tratamiento; en éste se observan que los valores promedios más altos de %CM corresponden al estrato 1 (con el máximo porcentaje de MO), seguido del estrato 2, mientras que el valor más bajo corresponde al estrato 3 (con el mínimo porcentaje de MO).

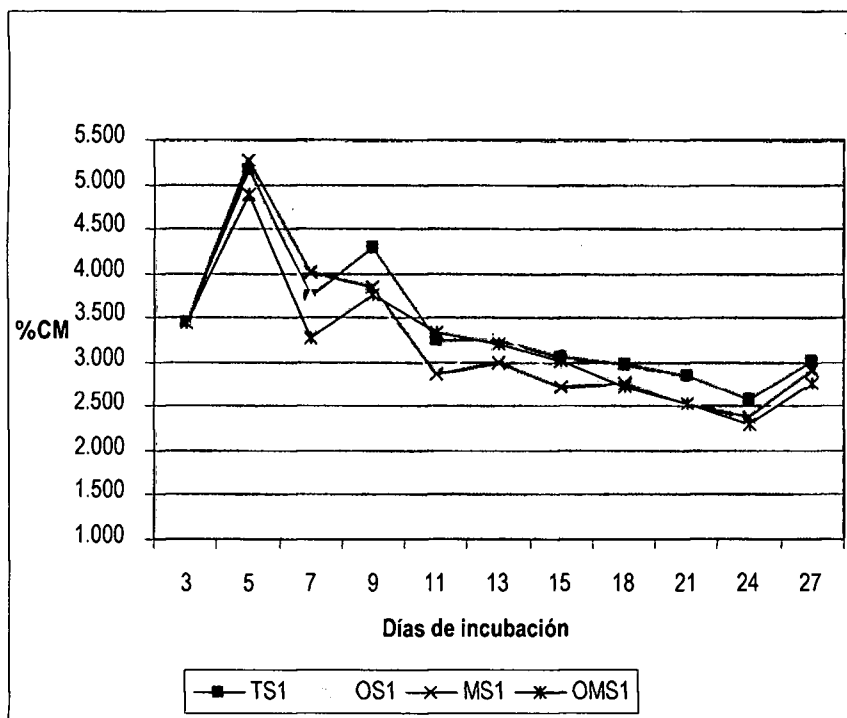


Figura 3.1. Evolución de la actividad microbiana en el estrato 1 para los diferentes tratamientos durante el experimento

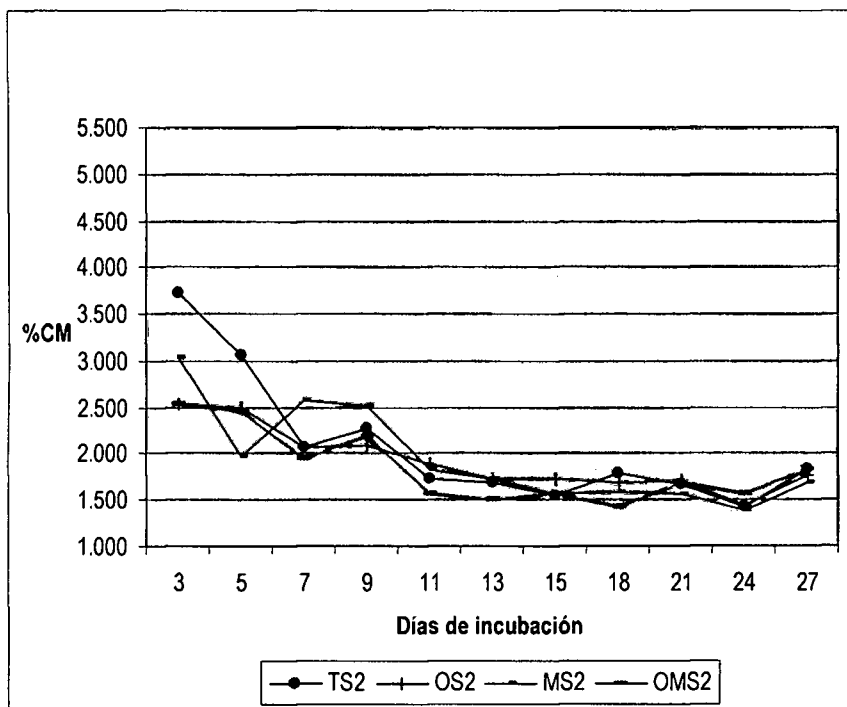


Figura 3.2. Evolución de la actividad microbiana en el estrato 2 para los diferentes tratamientos durante el experimento

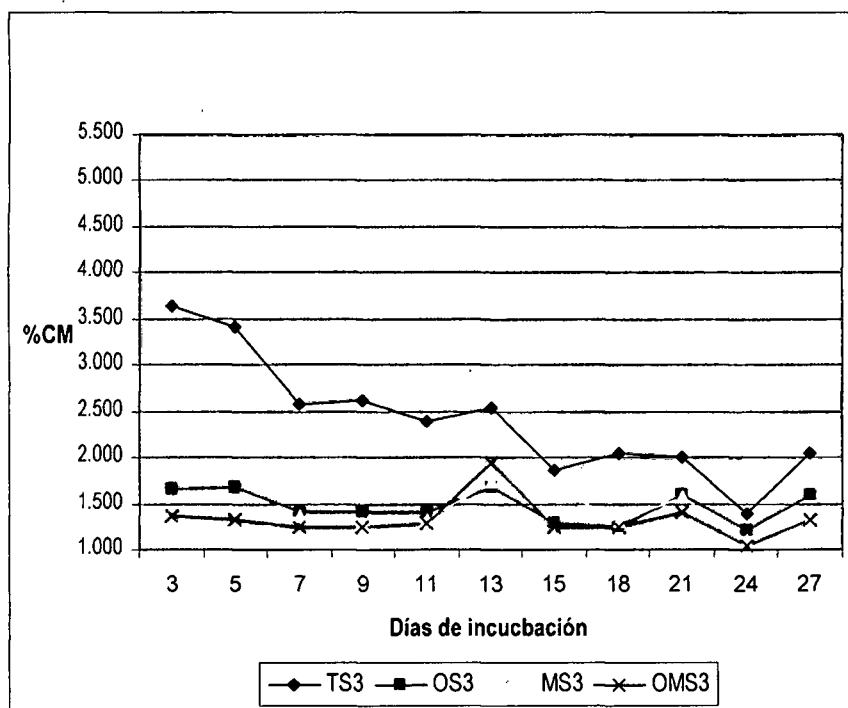


Figura 3.3. Evolución de la actividad microbiana en el estrato 3 para los diferentes tratamientos durante el experimento

Las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3 representan la comparación que se hace a la actividad microbiana (%CM) en todos los tratamientos y a través del tiempo, donde se destaca la tendencia de mayor actividad microbiana correspondiente a los tratamientos del estrato 1, estrato 2 y estrato 3, en ese orden, además se destaca una mayor actividad microbiana en los testigos de cada suelo; a diferencia de los otros factores (abono orgánico y sintético).

Se puede apreciar en la figura 3.1 que los primeros puntos de la gráfica corresponden a las primeras lecturas realizadas para los tratamientos del estrato 1 (3 días), las cuales son superadas en la segunda lectura (5 días); que en comparación a las figuras 3.2 y 3.3, no ocurren de la misma manera, siendo en la segunda lectura un resultado inferior a la primera, por lo cual se puede decir, que para la figura 3.1 los valores de la primera lectura (3 días) de la gráfica debieron superar a los de la segunda lectura (5 días), siendo resultados mayores a 5%CM. Esta variación se debe a que el estrato 1 posee el mayor porcentaje de materia orgánica de los 3

estratos del suelo, por lo tanto los 8ml de NaOH fueron insuficientes ante la producción de CO₂ en el estrato 1, ya que en la titulación no hubo gasto de HCl.

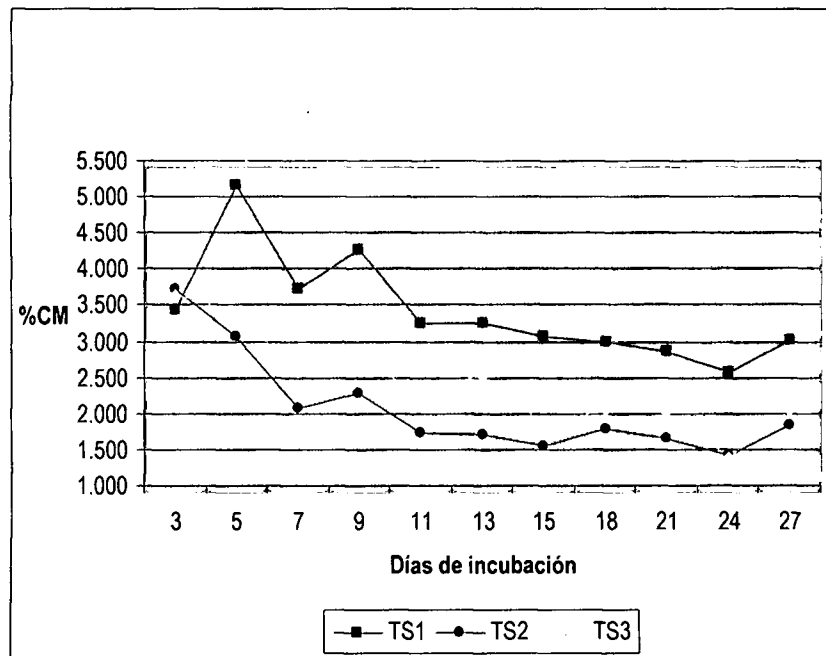


Figura 3.4. Evolución de la actividad microbiana en los tres estratos del suelo para el testigo

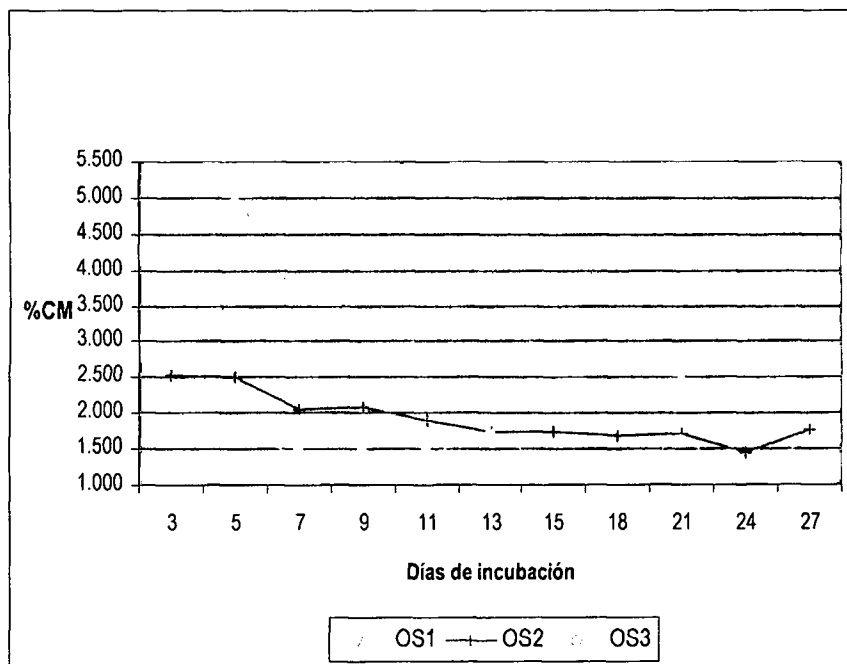


Figura 3.5. Evolución de la actividad microbiana en los tres estratos del suelo para el abonamiento orgánico

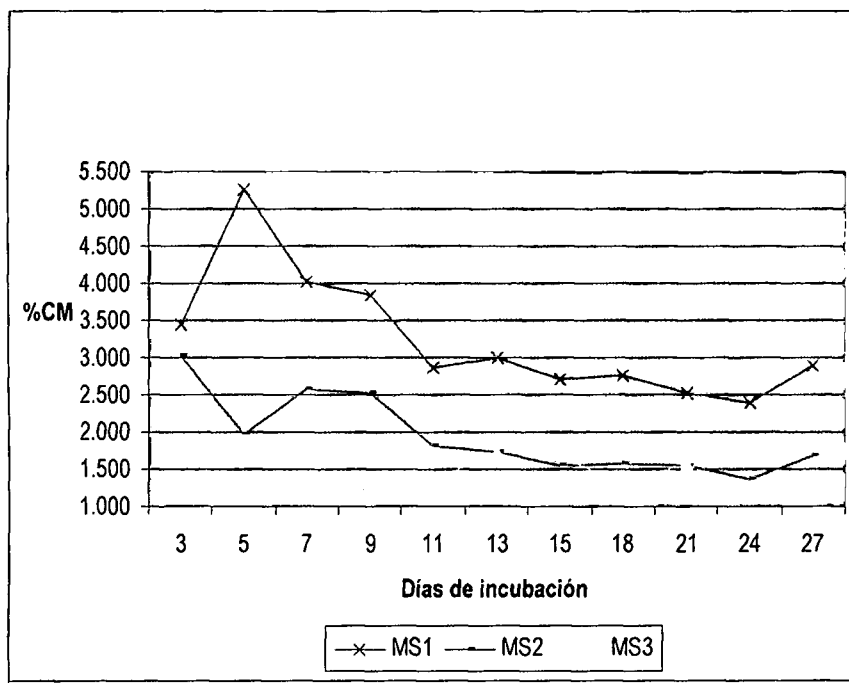


Figura 3.6. Evolución de la actividad microbiana en los tres estratos del suelo para el abonamiento mineral

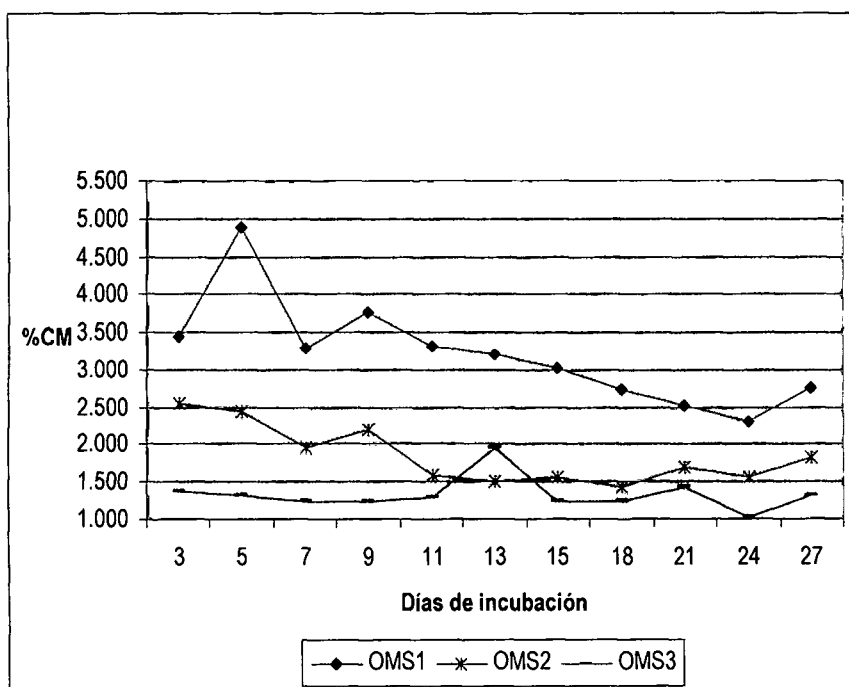


Figura 3.7. Evolución de la actividad microbiana en los tres estratos del suelo para el abonamiento orgánico-mineral

Las Figuras 3.4, 3.5, 3.6 y 3.7 representan la comparación que se hace a la actividad microbiana (%CM) en todos los tratamientos de los 3 estratos del suelo y a través del tiempo, donde se destaca la tendencia de mayor actividad microbiana, en cada tratamiento del estrato 1 con respecto a los tratamientos de los estratos 2 y 3.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a la presente investigación con respecto al efecto de los abonos orgánicos y sintéticos en la actividad microbiana en los suelos con distintos contenidos de materia orgánica, se concluye lo siguiente:

1. La medida de actividad microbiana, a través de la producción de CO₂ en la respiración, muestra que los estratos de suelo con mayor concentración de materia orgánica, son los que más masa de CO₂ producen.
2. A través de la producción de CO₂ del suelo, se obtuvieron las tasas de mineralización de los estratos de suelo estudiado.
3. La aplicación de abonos orgánicos en los tratamientos (O y OM) provocan una reacción antagónica entre los microorganismos de los estratos del suelo y los del compost incorporado.
4. La tasa de mineralización de la materia orgánica disminuye a través del tiempo, llegando a

estabilizarse en las últimas lecturas.

5. Un alto contenido de materia orgánica en el suelo, brinda una mayor capacidad para amortiguar el efecto de la aplicación de cualquier fertilizante.
6. Los testigos poseen un alto rendimiento de CO₂ debido a una gran actividad de los microorganismos, ya que estos tratamientos no son acompañados por ningún tipo de fertilizante sintético, en consecuencia poseen un medio adecuado para su sobrevivencia (no tóxico).
7. La temperatura afectó significativamente la actividad microbiana del suelo, al incrementarse la temperatura, hubo incremento de la producción de CO₂, al igual que se redujo ésta, al disminuir la temperatura.

4.2 RECOMENDACIONES

En relación al trabajo realizado se recomienda:

1. Realizar más trabajos utilizando esta metodología, en otros tipos de suelos, teniendo en cuenta el contenido de Materia Orgánica de los mismos, además del pH y de las variaciones de temperatura que se susciten.
2. Realizar más trabajos utilizando esta metodología, evaluando el tipo de microorganismos existentes en los suelos, y los existentes en los abonos orgánicos, para determinar si existen efectos antagónicos en la aplicación de los mismos a los suelos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. **ALEXANDER, M. 1980.** "Introducción a la Microbiología del Suelo" A.G.T. Editor S.A. México D.F. 371 p.
2. **ANSORENA, J. 1992.** Sustratos Propiedades y Caracterización. Madrid: Mundi – Prensa.
3. **BIEDERBECK, V. O., JANSEN H. H., CAMPBELL C. A., y ZENTNER R. P. 1994.** Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil. Biol. Biochem.* 26:1647-1656.
4. **BRACK, A. y MENDIOLA, C. 2000.** Ecología del Perú. Editorial Bruño. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. Lima. 495 p.
5. **BRADY, N.C. 1989.** Naturaza e propiedades dos solos. Livraria Freitas Bastos.
6. **BRAGATO, G., y PRIMAVERA F. 1998.** Manuring and soil type influence on spatial variation of soil organic matter properties. *Sci. Soc. Am. J.* 62:1313-1319.
7. **BURBANO, H. 1989.** El Suelo: Una visión de sus componentes Bioorgánicos. Conciencias-Universidad de Nariño. Pasto.
8. **CABRERA, G., CRESPO, G. 2001.** Influencia de la biota edáfica en la fertilidad de los suelos en ecosistemas de pastizales. *Revista cubana de ciencia agrícola.* Tomo 35.
9. **CAMPBELL, C.A., BRANDT S.A., BIEDERBECK V.O., ZENTNER R.P., y SCHNITZER M.. 1992.** Effect of crop rotations and rotation phase on characteristics of soil organic matter in a Dark Brown Chernozemic soil. *Can. J. Soil Sci.* 72:403-416.
10. **CARDOSO, E. J. B. N.; FREITAS, S. S. 1988.** La rizósfera *En: Sociedad Brasileira de la Ciencia do Solo. Microbiologia do solo.* Campinas. 41-57p.
11. **CARTER, M.R. y RENNIE, D.A. 1982.** Changes in soil quality under zero tillage farming systems: distribution of microbial biomass and mineralizable C and N potentials. *Can. J. Soil Sci.* 62:587-597.
12. **COLLINS, H.P., P.E. RASMUSSEN, y C.L. DOUGLAS. 1992.** Crop rotation and residue

- management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:783-788.
13. DALAL, R.C., y R.J. MAYER. 1986. Long term trends in fertility of soils under continuous cultivation and cereal cropping in Southern Queensland. *Aust. J. Soil Res.* 24:301-309.
 14. DOMMERGUES. Y. y MANGENOT. F. 1970. *Ecologie microbienne du sol.* Manson et Cie. Paris.
 15. ELLIOT, E.T., I.C BURKE, C.A. MONZ, y S.D. FREY. 1994. Terrestrial carbon pools: preliminary data from the Corn Belt and Great Plains regions. p.179-191. *In* J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and B.A. Stewart (eds.) *Defining soil quality for a sustainable environment.* Special Publication Number 35, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
 16. FAO-UNESCO-PNUMA. 1977. Carta Mundial de los Suelos. FAO, Roma.
 17. FAO, PNUD, UNESCO. 1980. *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos.* FAO, Roma.
 18. FENCHEL. T., KING. GM. y BLACKBUM. TH. 2000. *Bacterial Biogeochemistry. The Ecophysiology of Mineral Cycling.* 2da Academic Press, San Diego, USA.
 19. GARCÍA, I. y DORRONSORO, C. 2006. Contaminación del suelo. [En línea], Universidad de Granada, disponible en la World Wide Web: <http://edafologia.ugr.es/conta/tema14/oligo.htm> [Accesado el día 15 de febrero de 2006].
 20. GÓMEZ, ÁLVAREZ, REGINO. 2000. *Elaboración de abonos orgánicos con bajos insumos en las condiciones del productor rural. Memoria del primer seminario de investigación científica y tecnológica sobre el istmo de los Estados de Veracruz, Chiapas, Tabasco y Oaxaca.* ECOSUR, Unidad Tabasco. Pagina consultada en septiembre de 2005. www.ciesasgolfo.edu.mx/istmo/docs/ponencias/iponencias.htm.
 21. GRESI, B.M., 1992. *Biomasa microbiana do solo: metodos de determinação e resultados*

- recentes. In : Simpósio de Microbiologia do solo. Sao Paulo.
22. **GROSS, A. 1986.** Los abonos. Guia Práctica de Fertilización. Ediciones Prensa. Espana.
 23. **GUPTA, V. V., GRACE P. R., y ROPER M. M. 1994.** Carbon and nitrogen mineralization as influenced by long term soil and crop residue management sustems in Australia. P. 193-200. In J.W. Doran, D.C. Coleman, D.F. Bezdicek, and A. Stewart (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Special Pubication Number 35. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA.
 24. **HARRIS, P.J., 1992.** Ecología de la población del suelo. En: Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Comp. A. Wild. Madrid : Mundi-Prensa.
 25. **HIGA, T, 1993.** Una revolución para salvar la tierra. EM Research Organization.,2-9-2 Ganeko, Ginowan city, Okinawa, 901-2214, JAPAN.
 26. **INFOAGRO (2007),** en su página Web: <http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate3.htm>
 27. **I.G.A.C., 1993.** Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Bogotá : INPA-IGAC.
 28. **JANZEN, H.H. 1987.** Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. Can. J. Soil Sci. 67:845-856.
 29. **JENKINSON, D.S. 1992.** La materia orgánica del suelo: evolución. En: WILD, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Madrid : Mundi-Prensa
 30. **LEISA:** Revista de agroecología. Volumen 24 número 2. "Suelos Vivos" 2008. Los editores. Biblioteca Nacional del Perú. Depósito Legal: 2000 – 2944. Lima. 40 p.
 31. **LOBKOV, V.T. 1999.** Biodiversity in agroecosystems as a factor optimizing the biological activity of soil. Eurasian Soil Science 32:664-668.
 32. **MORA, J. 2005.** La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. Disponible en <http://www.lunazul.ucaldas.edu.co>
 33. **OMAY, A.B., RICE C.W., MADDUX L.D., y GORDON W.B.. 1997.** Changes in

- soilmicrobial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 61:1672-1678.
- 34. PARTON, W.J., D.S. SCHIMEL, C.V. Cole, and D.S. OJIMA. 1987.** Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51:173-179.
- 35. PAUL, E.A. Y CLARK, F.E. 1989.** *Soil microbiology and biochemistry.* San Diego: Academic press Inc.,273 p.
- 36. PEIRANO, P.; AGUILERA, S.; BORIE, G.; CAIOZZI. M. 1992.** Actividad biológica en suelos volcánicos v su relación con la dinámica de la materia orgánica. (Chile): 367-371.
- 37. SCHNÜRER, J., M. CLARHOLM, y T. ROSSWALL. 1985.** Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. *Soil Biol. Biochem.* 17:611-618.
- 38. STEVENSON, F.J., y M.A. COLE. 1999.** *Cycles of soil.* 427 p. 2nd ed.. John Wiley & Sons, New York, USA.
- 39. TATE, R.L. 1987.** *Soil organic matter: Biological and ecological effects.* 291 p. John Wiley & Sons, New York, USA
- 40. TINEO, A. L., 1997.** *El análisis funcional de la variancia.* UNSCH. Ayacucho. Perú.
- 41. TISDALE, S. L. y NELSON, W. L., 1985.** *Fertilidad de los suelos y fertilizantes.* Unión Tipográfica Editorial Hispano-Americana, S. A. México.
- 42. TISDALL, J. M., 1996.** Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. In: CARTER, M. and STEWARD, B. A. *Structure and organic matter storage in agricultural soils.* Lewis Publishers.
- 43. ZIBILSKE, L.M. 1994.** Carbon mineralization. p. 835–863. *In* R.W. Weaver et al. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2: Microbiological and biochemical properties.* SSSA Book Ser. 5. SSSA, Madison, WI.

44. ZUNINO, H., BORIE F., AGUILERA M., MARTÍN J. P., y HAIDER. K. 1982.

Descomposition of C¹⁴-labeled glucose, plant and microbial products and phenols in volcanic ash-derived soils of Chile. Soil Biol. Biochem. 14:37-4

ANEXOS

Anexo 1 Cantidades de abono aplicado en los envases de vidrio (mg/100 g de suelo),y en las macetas (mg/kg de suelo)

	Fertilizantes	E1				E2				E3			
		T	O	S	OS	T	O	S	OS	T	O	S	OS
Para los envases de vidrio	Compost	0.000	188.235	0.000	94.118	0.000	188.235	0.000	94.118	0.000	188.235	0.000	94.118
	Urea	0.000	0.000	9.161	4.581	0.000	0.000	9.161	4.581	0.000	0.000	9.161	4.581
	PD	0.000	0.000	18.415	9.208	0.000	0.000	18.415	9.208	0.000	0.000	18.415	9.208
	KCL	0.000	0.000	10.975	5.488	0.000	0.000	10.975	5.488	0.000	0.000	10.975	5.488
Para las macetas	Compost	0.000	1882.35	0.000	941.18	0.000	1882.35	0.000	941.18	0.000	1882.35	0.000	941.18
	Urea	0.000	0.000	91.61	45.81	0.000	0.000	91.61	45.81	0.000	0.000	91.61	45.81
	PD	0.000	0.000	184.15	92.08	0.000	0.000	184.15	92.08	0.000	0.000	184.15	92.08
	KCL	0.000	0.000	109.75	54.88	0.000	0.000	109.75	54.88	0.000	0.000	109.75	54.88

Anexo 2 Resultados obtenidos de la producción de CO₂ (mg) de los diferentes tratamientos a través del tiempo

Días	E1				E2				E3			
	T	O	S	OS	T	O	S	OS	T	O	S	OS
3	3.249	3.219	3.249	3.249	2.347	1.591	1.907	1.599	0.902	0.411	0.308	0.337
5	3.249	3.161	3.307	3.073	1.283	1.049	0.829	1.027	0.565	0.279	0.191	0.220
7	2.347	2.347	2.523	2.061	0.865	0.865	1.078	0.821	0.425	0.235	0.227	0.205
9	2.691	2.369	2.420	2.369	0.953	0.880	1.056	0.917	0.433	0.235	0.213	0.205
11	2.046	1.767	1.804	2.090	0.726	0.792	0.763	0.660	0.396	0.235	0.220	0.213
13	2.046	2.090	1.885	2.017	0.711	0.726	0.726	0.631	0.418	0.279	0.286	0.323
15	1.929	1.782	1.709	1.899	0.645	0.726	0.653	0.653	0.308	0.213	0.279	0.205
18	2.809	2.567	2.611	2.567	1.129	1.056	0.997	0.902	0.506	0.308	0.323	0.308
21	2.684	2.369	2.391	2.383	1.049	1.071	0.983	1.063	0.499	0.396	0.389	0.352
24	2.427	2.185	2.251	2.163	0.895	0.910	0.865	0.983	0.345	0.301	0.271	0.257
27	2.853	2.647	2.735	2.611	1.151	1.115	1.056	1.151	0.506	0.396	0.330	0.330

Anexo 3 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%) de los diferentes tratamientos a través del tiempo

Días	E1				E2				E3			
	T	O	S	OS	T	O	S	OS	T	O	S	OS
3	3.445	3.414	3.445	3.445	3.730	2.529	3.030	2.541	3.635	1.655	1.241	1.359
5	5.168	5.028	5.261	4.888	3.059	2.500	1.977	2.448	3.414	1.685	1.153	1.330
7	3.733	3.733	4.013	3.278	2.063	2.063	2.570	1.958	2.571	1.419	1.374	1.241
9	4.281	3.768	3.850	3.768	2.273	2.098	2.518	2.185	2.616	1.419	1.286	1.241
11	3.255	2.812	2.870	3.325	1.731	1.888	1.818	1.573	2.394	1.419	1.330	1.286
13	3.255	3.325	2.998	3.208	1.696	1.731	1.731	1.504	2.527	1.685	1.729	1.951
15	3.068	2.835	2.718	3.022	1.538	1.731	1.556	1.556	1.862	1.286	1.685	1.241
18	2.979	2.722	2.769	2.722	1.795	1.678	1.585	1.434	2.039	1.241	1.300	1.241
21	2.847	2.512	2.535	2.528	1.667	1.702	1.562	1.690	2.010	1.596	1.566	1.419
24	2.574	2.318	2.388	2.294	1.422	1.446	1.375	1.562	1.389	1.212	1.094	1.034
27	3.025	2.808	2.901	2.769	1.830	1.772	1.678	1.830	2.039	1.596	1.330	1.330

T: tratamiento testigo; O: abonamiento orgánico; S: abonamiento sintético mineral; OS: abonamiento orgánico mineral.

Anexo 4 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en los 3 primeros días

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	3.476517	3.476517	3.476517	3.476517
II	3.406520	3.313191	3.406520	3.406520
III	3.453185	3.453185	3.453185	3.453185
Σ	10.336222	10.242893	10.336222	10.336222
\bar{x}	3.445407	3.414298	3.445407	3.445407
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	4.160910	2.447594	3.007045	2.482560
II	3.321735	2.832216	2.587457	2.132904
III	3.706357	2.307732	3.496563	3.007045
Σ	11.189002	7.587542	9.091065	7.622509
\bar{x}	3.729667	2.589181	3.030355	2.540836
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.837211	1.507269	1.329943	1.418606
II	3.812503	1.418606	0.975291	1.063954
III	4.255817	2.039246	1.418606	1.595931
Σ	10.905531	4.965121	3.723840	4.078491
\bar{x}	3.635177	1.655040	1.241280	1.359497

Anexo 5 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la segunda lectura (5 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	5.459765	5.249774	5.459765	4.794794
II	5.144779	4.864791	5.214776	5.144779
III	4.899789	4.969786	5.109780	4.724797
Σ	15.504333	15.084351	15.784321	14.664370
\bar{x}	5.168111	5.028117	5.261440	4.888123
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	3.251804	2.202835	3.042010	2.674871
II	2.937113	2.884665	2.884665	2.150386
III	2.989562	2.412629	2.884665	2.517526
Σ	9.178479	7.500129	8.811340	7.342783
\bar{x}	3.059493	2.500043	2.937113	2.447594
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.659886	1.595931	1.462937	1.728926
II	4.388811	1.861920	1.063954	1.595931
III	3.191863	1.595931	0.930960	0.664971
Σ	10.240560	5.053783	3.457851	3.989829
\bar{x}	3.413520	1.684594	1.152617	1.329943

Anexo 6 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la tercera lectura (7 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	4.269817	3.744839	3.954830	3.079868
II	3.324857	3.849835	3.779838	3.429853
III	3.604845	3.604845	4.304815	3.324857
Σ	11.199519	11.199519	12.039483	9.834577
\bar{x}	3.733173	3.733173	4.013161	3.278192
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.202835	1.835696	2.412629	2.045490
II	2.045490	2.360180	2.622423	1.940593
III	1.940593	1.993041	2.674871	1.888144
Σ	6.188917	6.188917	7.709922	5.874226
\bar{x}	2.062972	2.062972	2.569974	1.958075
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.526891	1.462937	1.063954	1.196949
II	2.526891	1.595931	1.462937	1.861920
III	2.659886	1.196949	1.595931	0.664971
Σ	7.713669	4.255817	4.122823	3.723840
\bar{x}	2.571223	1.418606	1.374274	1.241280

Anexo 7 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la cuarta lectura (9 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	4.514806	3.989829	3.709841	3.639844
II	4.024827	3.744839	3.709841	3.884833
III	4.304815	3.569847	4.129823	3.779838
Σ	12.844448	11.304514	11.549504	11.304514
\bar{x}	4.281483	3.768171	3.849835	3.768171
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.465077	1.993041	2.360180	2.255283
II	2.202835	2.097938	2.517526	1.993041
III	2.150386	2.202835	2.674871	2.307732
Σ	6.818299	6.293814	7.552577	6.556056
\bar{x}	2.272766	2.097938	2.517526	2.185352
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.260903	1.196949	1.329943	1.462937
II	2.792880	1.063954	1.329943	1.196949
III	2.792880	1.994914	1.196949	1.063954
Σ	7.846663	4.255817	3.856834	3.723840
\bar{x}	2.615554	1.418606	1.285611	1.241280

Anexo 8 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la quinta lectura (11 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	3.464851	2.764881	2.904875	3.219862
II	3.114866	3.184863	2.589889	3.569847
III	3.184863	2.484893	3.114866	3.184863
Σ	9.764580	8.434638	8.609630	9.974571
\bar{x}	3.254860	2.811546	2.869877	3.324857
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.045490	1.888144	1.783247	1.416108
II	1.311211	1.625902	1.730799	1.416108
III	1.835696	2.150386	1.940593	1.888144
Σ	5.192397	5.664433	5.454639	4.720361
\bar{x}	1.730799	1.888144	1.818213	1.573454
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.260903	1.462937	1.462937	1.595931
II	1.994914	0.930960	1.063954	0.930960
III	2.925874	1.861920	1.462937	1.329943
Σ	7.181691	4.255817	3.989829	3.856834
\bar{x}	2.393897	1.418606	1.329943	1.285611

Anexo 9 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la sexta lectura (13 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	3.394854	2.834878	3.044869	2.694884
II	3.044869	3.359856	2.659886	3.254860
III	3.324857	3.779838	3.289859	3.674842
Σ	9.764580	9.974571	8.994614	9.624586
\bar{x}	3.254860	3.324857	2.998205	3.208195
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.835696	1.678350	1.678350	1.521005
II	1.416108	1.573454	1.573454	1.363660
III	1.835696	1.940593	1.940593	1.625902
Σ	5.087500	5.192397	5.192397	4.510567
\bar{x}	1.695833	1.730799	1.730799	1.503522
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.260903	1.462937	1.994914	2.526891
II	2.260903	1.728926	1.329943	1.196949
III	3.058869	1.861920	1.861920	2.127909
Σ	7.580674	5.053783	5.186777	5.851749
\bar{x}	2.526891	1.684594	1.728926	1.950583

Anexo 10 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la séptima lectura (15 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	3.184863	2.694884	2.694884	2.799880
II	3.114866	2.974872	2.764881	3.114866
III	2.904875	2.834878	2.694884	3.149865
Σ	9.204605	8.504635	8.154650	9.064611
\bar{x}	3.068202	2.834878	2.718217	3.021537
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.888144	1.678350	1.730799	1.625902
II	1.416108	1.678350	1.468557	1.625902
III	1.311211	1.835696	1.468557	1.416108
Σ	4.615464	5.192397	4.667912	4.667912
\bar{x}	1.538488	1.730799	1.555971	1.555971
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.526891	1.728926	1.994914	1.728926
II	1.462937	1.329943	1.861920	0.930960
III	1.595931	0.797966	1.196949	1.063954
Σ	5.585760	3.856834	5.053783	3.723840
\bar{x}	1.861920	1.285611	1.684594	1.241280

Anexo 11 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la octava lectura (18 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	3.009871	2.426562	2.823212	2.613221
II	2.963206	2.823212	2.636553	2.753215
III	2.963206	2.916541	2.846544	2.799880
Σ	8.936283	8.166316	8.306310	8.166316
\bar{x}	2.978761	2.722105	2.768770	2.722105
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.993041	1.608419	1.713316	1.293728
II	1.573454	1.608419	1.503522	1.398625
III	1.818213	1.818213	1.538488	1.608419
Σ	5.384708	5.035051	4.755326	4.300773
\bar{x}	1.794903	1.678350	1.585109	1.433591
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.216571	1.241280	1.418606	1.152617
II	1.950583	1.329943	1.152617	1.063954
III	1.950583	1.152617	1.329943	1.507269
Σ	6.117737	3.723840	3.901166	3.723840
\bar{x}	2.039246	1.241280	1.300389	1.241280

Anexo 12 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la novena lectura (21 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.846544	2.216571	2.566556	2.379898
II	2.846544	2.753215	2.496559	2.613221
III	2.846544	2.566556	2.543224	2.589889
Σ	8.539633	7.536343	7.606340	7.583008
\bar{x}	2.846544	2.512114	2.535447	2.527669
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.748282	1.538488	1.713316	1.643385
II	1.538488	1.678350	1.433591	1.748282
III	1.713316	1.888144	1.538488	1.678350
Σ	5.000086	5.104983	4.685395	5.070017
\bar{x}	1.666695	1.701661	1.561798	1.690006
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.773257	1.684594	1.684594	1.418606
II	2.127909	1.684594	1.595931	1.241280
III	2.127909	1.418606	1.418606	1.595931
Σ	6.029074	4.787794	4.699131	4.255817
\bar{x}	2.009691	1.595931	1.566377	1.418606

Anexo 13 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la décima lectura (24 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	2.729883	2.146574	2.496559	2.263236
II	2.589889	2.449895	2.286568	2.286568
III	2.403230	2.356565	2.379898	2.333233
Σ	7.723002	6.953035	7.163026	6.883038
\bar{x}	2.574334	2.317678	2.387675	2.294346
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.538488	1.363660	1.503522	1.853179
II	1.363660	1.401804	1.258763	1.468557
III	1.363660	1.573454	1.363660	1.363660
Σ	4.265807	4.338917	4.125945	4.685395
\bar{x}	1.421936	1.446306	1.375315	1.561798
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.241280	1.418606	1.241280	1.152617
II	1.418606	1.241280	0.886629	0.797966
III	1.507269	0.975291	1.152617	1.152617
Σ	4.167154	3.635177	3.280526	3.103200
\bar{x}	1.389051	1.211726	1.093509	1.034400

Anexo 14 Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), de los tratamientos en la última lectura (27 días)

E1				
Bloques	T	O	M	OM
I	3.033203	2.356565	2.846544	2.659886
II	3.079868	3.033203	2.869877	2.799880
III	2.963206	3.033203	2.986538	2.846544
Σ	9.076277	8.422971	8.702959	8.306310
\bar{x}	3.025426	2.807657	2.900986	2.768770
E2				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.888144	1.503522	1.573454	1.993041
II	1.713316	1.748282	1.608419	1.678350
III	1.888144	2.062972	1.853179	1.818213
Σ	5.489605	5.314776	5.035051	5.489605
\bar{x}	1.829868	1.771592	1.678350	1.829868
E3				
Bloques	T	O	M	OM
I	1.950583	1.507269	1.152617	0.886629
II	1.861920	1.595931	1.241280	1.152617
III	2.305234	1.684594	1.595931	1.950583
Σ	6.117737	4.787794	3.989829	3.989829
\bar{x}	2.039246	1.595931	1.329943	1.329943

Anexo 15 Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100g suelo) en los primeros 5 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
suelo	2	65.66273637	32.83136819	238.37	<.0001 **
fuentes	3	5.19566156	1.73188719	12.57	<.0001 **
suelo*fuentes	6	5.55804852	0.92634142	6.73	<.0001 **
t vs fuentes/estrato1	1	0.02667544	0.02667544	0.19	0.6638 NS
solos vs mezcla/estrato1	1	0.13174392	0.13174392	0.96	0.3378 NS
org vs min/estrato1	1	0.08165967	0.08165967	0.59	0.4488 NS
t vs fuentes/estrato2	1	0.41843325	0.41843325	3.04	0.0941 NS
solos vs mezcla/estrato2	1	0.14686448	0.14686448	1.07	0.3121 NS
org vs min/ estrato2	1	0.28654571	0.28654571	2.08	0.1621 NS
t vs fuentes/ estrato3	1	9.22156612	9.22156612	66.95	<.0001 **
solos vs mezcla/ estrato3	1	0.01572220	0.01572220	0.11	0.7384 NS
org vs min/ estrato3	1	0.42449929	0.42449929	3.08	0.0919 NS
Error	24	3.30559502	0.13773313		
Total	35	79.72204147			

CV = 11.46%

Anexo 16 Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100g suelo) a los 11 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	2	15.48575089	7.74287544	78.43	<.0001 **
Fuentes	3	1.22889164	0.40963055	4.15	0.0167 *
suelo*fuentes	6	2.05909711	0.34318285	3.48	0.0129 *
t vs fuentes/ estrato1	1	0.14376736	0.14376736	1.46	0.2393 NS
solos vs mezcla/ estrato1	1	0.46883472	0.46883472	4.75	0.0394 *
org vs min/ estrato1	1	0.00510417	0.00510417	0.05	0.8221 NS
t vs fuentes/ estrato2	1	0.00192136	0.00192136	0.02	0.8902 NS
solos vs mezcla/ estrato2	1	0.15661339	0.15661339	1.59	0.2200 NS
org vs min/ estrato2	1	0.00728017	0.00728017	0.07	0.7883 NS
t vs fuentes/ estrato3	1	2.47695136	2.47695136	25.09	<.0001 **
solos vs mezcla/ estrato3	1	0.01572356	0.01572356	0.16	0.6934 NS
org vs min/ estrato3	1	0.01179267	0.01179267	0.12	0.7326 NS
Error	24	2.36935800	0.09872325		
Total	35	21.14309764			

CV = 14.67%

Anexo 17 Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100g suelo) a los 13 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	2	15.75045017	7.87522508	59.35	<.0001 **
Fuentes	3	0.59423831	0.19807944	1.49	0.2418 NS
suelo*fuentes	6	1.04089561	0.17348260	1.31	0.2918 NS
t vs fuentes/ estrato1	1	0.01361111	0.01361111	0.10	0.7515 NS
solos vs mezcla/ estrato1	1	0.00435556	0.00435556	0.03	0.8578 NS
org vs min/ estrato1	1	0.16006667	0.16006667	1.21	0.2830 NS
t vs fuentes/ estrato2	1	0.00378225	0.00378225	0.03	0.8673 NS
solos vs mezcla/ estrato2	1	0.10305800	0.10305800	0.78	0.3869 NS
org vs min/ estrato2	1	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000 NS
t vs fuentes/ estrato3	1	1.22840278	1.22840278	9.26	0.0056 **
solos vs mezcla/ estrato3	1	0.11890939	0.11890939	0.90	0.3533 NS
org vs min/ estrato3	1	0.00294817	0.00294817	0.02	0.8828 NS
Error	24	3.18460267	0.13269178		
Total	35	20.57018675			

CV = 15.99%

Anexo 18 Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100g suelo) a los 15 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	2	14.70112239	7.35056119	77.39	<.0001 **
Fuentes	3	0.27374764	0.09124921	0.96	0.4273 NS
suelo*fuentes	6	0.86974961	0.14495827	1.53	0.2123 NS
t vs fuentes/ estrato1	1	0.09922500	0.09922500	1.04	0.3169 NS
solos vs mezcla/ estrato1	1	0.12005000	0.12005000	1.26	0.2720 NS
org vs min/ estrato1	1	0.02041667	0.02041667	0.21	0.6471 NS
t vs fuentes/ estrato2	1	0.01299600	0.01299600	0.14	0.7147 NS
solos vs mezcla/ estrato2	1	0.01531250	0.01531250	0.16	0.6916 NS
org vs min/ estrato2	1	0.04558817	0.04558817	0.48	0.4951 NS
t vs fuentes/ estrato3	1	0.47219803	0.47219803	4.97	0.0354 *
solos vs mezcla/ estrato3	1	0.11890939	0.11890939	1.25	0.2743 NS
org vs min/ estrato3	1	0.23880150	0.23880150	2.51	0.1259 NS
Error	24	2.27962400	0.09498433		
Total	35	18.12424364			

CV = 15.35%

Anexo 19 Análisis funcional de variancia de la producción de CO₂ (mg/100g suelo) en la última lectura a los 27 días

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	2	11.77286717	5.88643358	96.46	<.0001 **
Fuentes	3	0.63771933	0.21257311	3.48	0.0314 *
suelo*fuentes	6	0.53337817	0.08889636	1.46	0.2350 NS
t vs fuentes/ estrato1	1	0.08940100	0.08940100	1.47	0.2379 NS
solos vs mezcla/ estrato1	1	0.01462050	0.01462050	0.24	0.6289 NS
org vs min/ estrato1	1	0.01316017	0.01316017	0.22	0.6466 NS
t vs fuentes/ estrato2	1	0.01099003	0.01099003	0.18	0.6751 NS
solos vs mezcla/ estrato2	1	0.02198006	0.02198006	0.36	0.5540 NS
org vs min/ estrato2	1	0.01316017	0.01316017	0.22	0.6466 NS
t vs fuentes/ estrato3	1	0.86645069	0.86645069	14.20	0.0009 **
solos vs mezcla/ estrato3	1	0.03520089	0.03520089	0.58	0.4549 NS
org vs min/ estrato3	1	0.10613400	0.10613400	1.74	0.1997 NS
Error	24	1.46454133	0.06102256		
Total	35	14.40850600			

CV = 11.90%

IMAGENES

PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE LOS SUELOS EN ESTUDIO



Imágenes 01 y 02. Corte vertical del suelo muestreado, se observan los estratos de donde fueron extraídos las muestras de suelo



Imagen 03. Tamizado del estrato 1



Imagen 04. Tamizado del estrato 2



Imagen 05. Tamizado del estrato 3



Imagen 06. Pesado (100 g) del estrato 1



Imagen 07. Pasado (100 g) del estrato 2

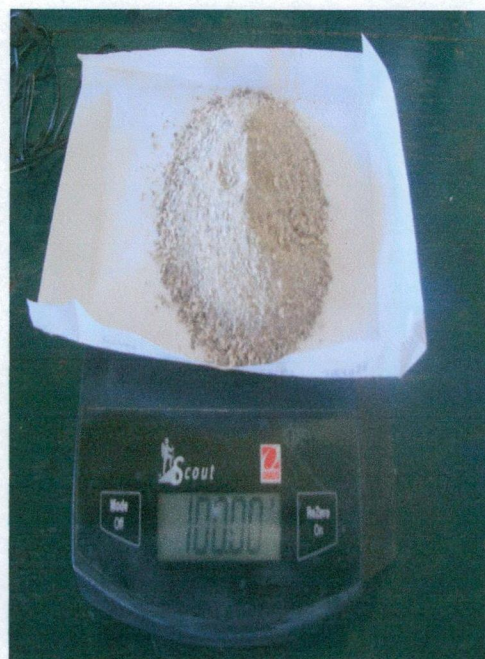
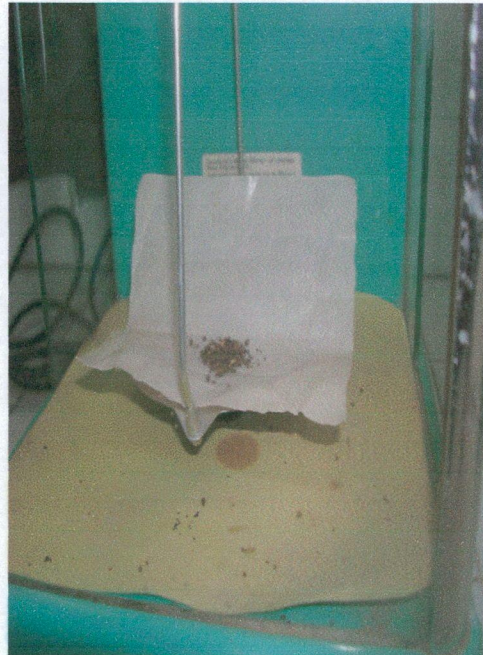


Imagen 08. Pesado (100 g) del estrato 3

PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE ESTUDIO PARA LOS TRES ESTRATOS



Imágenes 09 y 10. Pesado de los abonos orgánicos y minerales, para la preparación de los tratamientos



Imágenes 11 y 12. Incorporación de las muestras de los estratos del suelo pesadas (100 g) en los frascos de vidrio



Imágenes 13, 14 y 15. Incorporación de los abonos orgánicos y minerales a cada uno de los tratamientos



Imágenes 16 y 17. Incorporación de 50ml de agua desionizada a cada uno de los tratamientos



Imagen 18. Preparación de los blancos con 50ml de agua desionizada



Imagen 19. Incorporación del tubo vial conteniendo 8ml de NaOH



Imagen 20. Cerrado hermético de los frascos



Imagen 21. Instalación de los tratamientos culminada

PROCESO DE TITULACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO

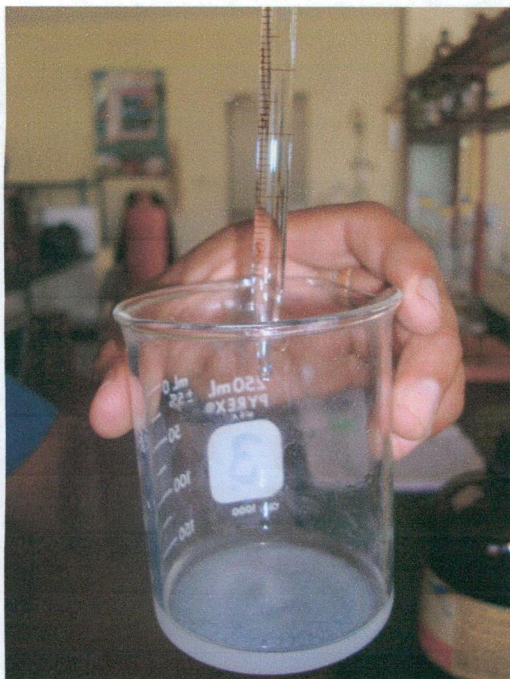


Imagen 22. Incorporación de 1ml de BaCl_2 a los 8ml de NaOH para la titulación



Imagen 23. Incorporación de 3 gotas de fenolftaleína

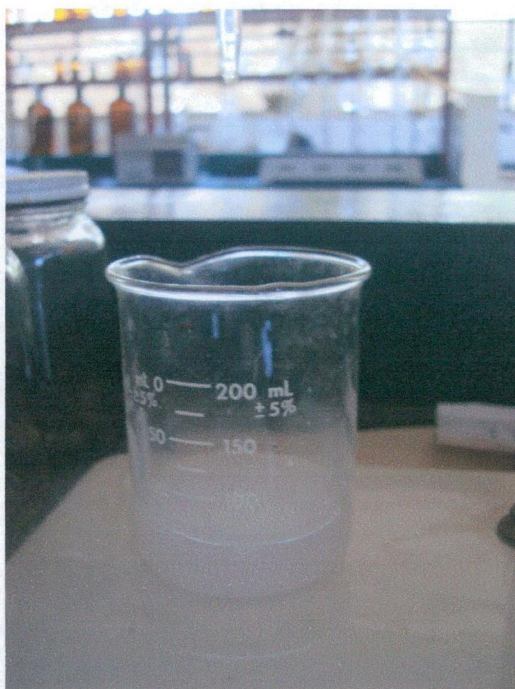


Imagen 24. Cambio de coloración y lectura del gasto del HCl

PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN EL CULTIVO DE TOMATE



Imágenes 25 y 26. Transplante de las plántulas de tomate a los recipientes de hojalata



Imagen 27. Instalación culminada

DESARROLLO DE LAS PLANTAS DE TOMATE A TRAVÉS DEL TIEMPO (60 DÍAS) EN CADA UNO DE LOS TRATAMIENTOS



Imagen 28. Desarrollo de las plantas de tomate a los 30 días después de la instalación



Imagen 28. Desarrollo de las plantas de tomate a los 60 días después de la instalación