

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE AGRONOMÍA**



**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOS ABONOS NATURALES TRATADOS  
CON MICROORGANISMOS, EN LA ACTIVIDAD MICROBIANA DEL SUELO**

**PRESENTADO POR:**

**JAVIER CIRO PRETELL ALBUJAR**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2010**

**“EFECTO DE LA APLICACIÓN DE DOS ABONOS NATURALES  
TRATADOS CON MICROORGANISMOS, EN LA ACTIVIDAD  
MICROBIANA DEL SUELO”**

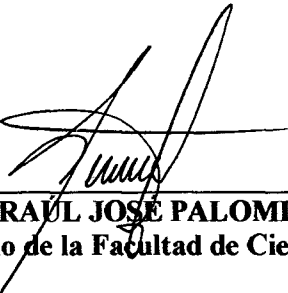
Recomendado : 01 de diciembre de 2010.  
Aprobado : 07 de diciembre de 2010.

  
DRA. NERY LUZ SANTILLANA VILLANUEVA  
Presidente del Jurado

  
ING. ALEX LÁZARO TINEO BERMÚDEZ  
Miembro del Jurado

  
ING. JUAN BENJAMÍN 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 mis amados padres: Oscar e Isabel;  
por su paciencia e incesante apoyo  
en mi profesionalización.**

**A mi amada esposa, Elva Eva,  
a mis adorados hijos Jean Franco,  
Javier Omar y Olenka Mia.**

**A mis Queridos hermanos: Edgar Hugo,**

**Selmira Rita, Lilly Margot, Oscar Raúl**

**y Pilar Cristina.**

## **AGRADECIMIENTOS**

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

Al Ing° M.Sc. Álex Lázaro Tineo Bermúdez, asesor del presente trabajo, por su apoyo en la formulación y ejecución del mismo.

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

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	01
CAPÍTULO I: REVISIÓN DE LITERATURA.....	03
1.1. SUELO.....	03
1.2. ACTIVIDAD MICROBIANA.....	04
1.3. FERTILIZANTES.....	12
1.4. EL ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA VARIANCIA.....	14
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
2.1. UBICACIÓN.....	16
2.2. SUSTRATOS (SUELOS) QUE SE UTILIZARON EN EL EXPERIMENTO.....	16
2.3. SOLUCIÓN DE MICROORGANISMOS Y SOLUBILIZACIÓN DE LOS ABONOS....	17
2.4. PROCEDIMIENTO Y FUNDAMENTO DE LA METODOLOGÍA.....	18
2.5. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	19
2.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	20
2.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	21
CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSION.....	22
3.1. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 3 DÍAS.....	23
3.2. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 6 DÍAS.....	25
3.3. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 9 DÍAS.....	26
3.4. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 12 DÍAS.....	27

3.5. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 15 DÍAS.....	29
3.6. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 18 DÍAS.....	30
3.7. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE 21 A 30 DÍAS.....	31
3.8. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA.....	32
CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
4.1. CONCLUSIONES.....	35
4.2. RECOMENDACIONES.....	36
RESUMEN.....	37
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38
ANEXOS.....	42

## ÍNDICE DE ANEXOS

a.1. Producción de CO <sub>2</sub> (mg) a través del tiempo.....	43
a.2. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a través del tiempo.....	43
a.3. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 3 días.....	44
a.4. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 6 días.....	44
a.5. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 9 días.....	44
a.6. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 12 días.....	44
a.7. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 15 días.....	44
a.8. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 18 días.....	45
a.9. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 21 días.....	45
a.10. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 24 días.....	45
a.11. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 27 días.....	45
a.12. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 30 días.....	45
a.13. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 33 días.....	46
a.14. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 36 días.....	46
a.15. ANAFUNVA de la producción de CO <sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 21 días.....	46
a.16. ANAFUNVA de la producción de CO <sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 30 días.....	46

## ÍNDICE DE IMÁGENES

PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE SUELOS.....	48
i.1. e i.2. Corte vertical del suelo muestreado.....	48
i.3. Tamizado del suelo 1.....	48
i.4. Tamizado del suelo 2.....	48
i.5. Pesado (100g) del suelo 1.....	49
i.6. Pesado (100g) del suelo 2.....	49
PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS.....	50
i.7. e i.8. Pesado de los abonos orgánicos.....	50
i.9. e i.10. Incorporación de las muestras de suelo pesadas (100 g) en los frascos de vidrio.	50
i.11. e i.12. Incorporación de los abonos orgánicos a cada uno de los tratamientos.....	51
i.13. e i.14. Incorporación de 50 ml de agua desionizada a cada uno de los tratamientos....	51
i.15. Preparación de los blancos con 50 ml de agua desionizada.....	52
i.16. Incorporación del tubo vial conteniendo 8 ml de NaOH.....	52
i.17. Cerrado hermético de los frascos.....	52
PROCESO DE TITULACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO.....	53
i.18. Incorporación de 1 ml de BaCl <sub>2</sub> a los 8 ml de NaOH para la titulación.....	53
i.19. Incorporación de 3 gotas de fenolftaleína.....	53
i.20. Cambio de coloración y lectura del gasto del HCl.....	53



## 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).

El aporte al suelo de fuentes naturales de abono, previamente sometidas a la acción solubilizante de un grupo de microorganismos especializados, ha resultado en un mejor desarrollo de los cultivos, los mismos que se han traducido en mejores rendimientos del mismo; sin embargo, no se ha determinado con precisión si ese resultado es debido al aporte de los nutrientes solubilizados o a la misma actividad microbiana que puede seguir ocurriendo durante el periodo de crecimiento del cultivo. Es probable que la mayor disponibilidad de nutrientes en el suelo permita promover la actividad de los microorganismos nativos.

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-CO<sub>2</sub>, a partir de la actividad de la biota metabólicamente activa, (Zibilske 1994). La medida del C-CO<sub>2</sub> 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 considerando los siguientes objetivos:

- Evaluar el efecto de la aplicación de dos abonos naturales (Roca Fosfórica y Guano de Islas), incubados en una solución de microorganismos, en la actividad microbiana del suelo.
- Evaluar la evolución de la actividad microbiana edáfica por efecto de la aplicación de dos abonos naturales (Roca Fosfórica y Guano de Islas), incubados en una solución de microorganismos.

## 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 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 CO<sub>2</sub>, y menos O<sub>2</sub>, debido a la actividad biológica (Fenchel, King, Blackburn 2000).

El 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) Horizonte en el cual se depositan algunos constituyentes provenientes de las capas superiores, 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 1980).

**Cuadro 1.1. Distribución de los microorganismos en un suelo expresado como miles por gramo (Alexander 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 1970).

## 1.2. ACTIVIDAD MICROBIANA

En el trabajo "*La actividad microbiana: un indicador de la calidad del suelo*" desarrollado por Mora (2005), en Colombia, dice que la materia orgánica activa, que representa alrededor 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 polisacaridos extracelulares, y por supuesto  $\text{CO}_2$ . 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.

Campbell *et al* (1992), sostienen 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  $\text{CO}_2$  y  $\text{NO}_3$ , 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 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 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 (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 CO<sub>2</sub>, 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 (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 introductorias sobre los diferentes modelos de fraccionamiento de la materia

orgánica del suelo, puesto que la biomasa microbiana forma parte de lo que Parton *et al* (1987) citados por Mora (2005), denomina Fracción Activa: fracción responsable de la mayor parte del CO<sub>2</sub> desprendido en los procesos de respiración.

El trabajo "*La actividad microbiana: un indicador de la calidad del suelo*" desarrollado por Mora (2005), en Colombia, registra los resultados y análisis de un experimento en el cual se determinó indirectamente la actividad microbiana mediante la medición de CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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.

Gilleman y Montegut citados por Alexander (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 Clarck (1989), con respecto a la disponibilidad de O<sub>2</sub>, 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 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 (1992), los factores involucrados en la actividad microbiana (temperatura, pH, humedad, disponibilidad de O<sub>2</sub>, 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 CO<sub>2</sub> desprendido, está fuertemente influida por el potencial hídrico.

Suelos desecados hasta un potencial hídrico de -10 MPa liberan CO<sub>2</sub> 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 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 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 1993).

Con relación a la temperatura, la ley de Van't Holf (en la que  $Q_{10}$ , 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 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 Clarck 1989). Una observación interesante es que la temperatura ejerce un efecto pronunciado sobre la liberación de CO<sub>2</sub> del suelo proveniente de la respiración microbiana (Gresi 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 Clarck 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 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 CO<sub>2</sub> 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 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 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 (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 (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 (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 la relación R:S, generalmente es mayor que 1 (Cardoso y Freitas 1988). Según Cardoso y Freitas (1988), se ha comprobado que el aporte de exudados radicales en un cultivo de maíz es de 1250 m<sup>3</sup> anuales por hectárea.

Según Harris (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 CO<sub>2</sub> por unidad de carbono transformado aeróbicamente que los otros grupos microbiológicos, pues los hongos son más eficientes en su metabolismo (IGAC 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 1984, citados por Tisdall 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, 1983, citado por Tisdall 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 1996).

### 1.3. FERTILIZANTES

Una revisión sobre este tema es expuesta por García y Dorronsoro (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 CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O representan en la práctica la única fuente de energía para sus reacciones de síntesis.

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 unos altos contenidos en materia orgánica. Entre los más importantes se pueden mencionar: 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.

#### **Efectos del abono nitrogenado**

García y Dorronsoro (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 (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 (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.

#### **Abonos Orgánicos:**

Gros (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 mencionados. Estas clases de abono no sólo aportan al suelo materiales nutritivos, sino que además influyen favorablemente en la estructura del suelo. Asimismo, 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.

#### **1.4. EL ANÁLISIS FUNCIONAL DE VARIANCIA**

Tineo (1997), sobre el tema "análisis funcional de variancia", cita a Calzada (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.

Hopp muestra un ejemplo hipotético de abonamiento en maíz, con N, P y K

Tratamiento	I	II	III	IV	V	Promedio
T: testigo	30	20	60	50	40	40
P: Fósforo	40	60	30	50	20	40
K: Potasio	60	20	50	30	40	40
N: Nitrógeno	80	60	50	40	70	60

En los promedios se puede observar que el T, P y K, dan el mismo rendimiento, mientras que el N da 20 unidades más; el análisis de variancia es el siguiente:

F.V.	GL	SC	CM	Fc	F <sub>t0.05</sub>	F <sub>t0.01</sub>
Tratamientos	3	1500	500	2.0 ns	3.24	5.29
Error	16	4000	250			
Total	19	5500				

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.

En base a estas consideraciones se plantea el análisis funcional de la variancia.

## 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. SUELOS QUE SE UTILIZARON EN EL EXPERIMENTO

Los sustratos empleados en el presente experimento se obtuvieron de un terreno de uso agrícola representativo de la zona, ubicado en Pampa del Arco, distrito de Ayacucho. Se recogió la cantidad necesaria de suelo, y con la finalidad de que puedan diferenciarse en cuanto a su contenido de materia orgánica, la primera muestra se tomó de la parte superficial (0-10cm) y la segunda muestra se tomó de una capa más profunda (10-20cm).

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)



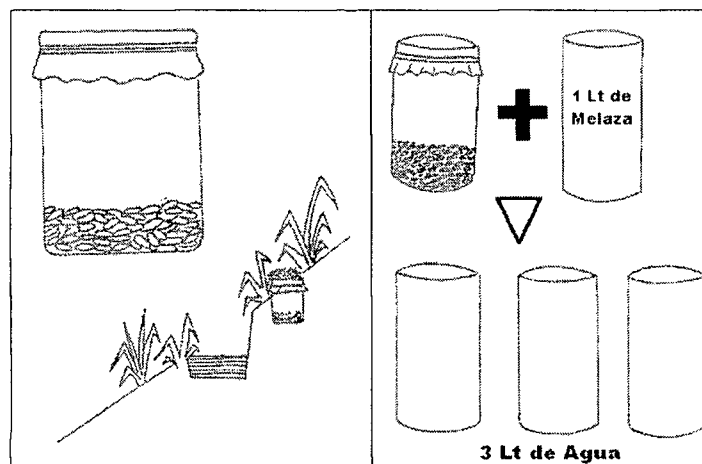
**Cuadro 2.1. Características físico-químicas de los estratos de suelo. Pampa del Arco, 2760 msnm. Ayacucho.**

Muestra	Análisis mecánico (%)			Clase Textural	pH	M.O.	Nt	Disponibles (ppm)		CaCO <sub>3</sub>
	Arena	Limo	Arcilla		H <sub>2</sub> O	%	%	P	K	%
(00-10 cm), M.O. rica	62.9	12.6	24.5	Fco-arcillo-arenoso	7.98	5.32	0.30	25.3	458	13.0
(10-20 cm), M.O. pobre	59.0	14.5	26.5	Fco arcillo arenoso	8.54	1.40	0.14	6.70	432	41.5

## 2.3. SOLUCIÓN DE MICROORGANISMOS Y SOLUBILIZACIÓN DE LOS ABONOS

### 2.3.1. Solución Natural con Microorganismos Eficientes (ME).

Para contar con la solución natural de ME, se procedió con su captura, bajo una técnica sencilla, que consistió en colocar un frasco con arroz cocido, cubierto con un pedazo de nylon, en una compostera del área de suelos, durante 2 semanas. Luego de este período se extrajo el arroz (impregnado de microorganismos), se licuó, y se mezcló con 1 litro de melaza y 3 litros de agua; para obtener así la Solución Madre de ME (Figura 1),



**Figura 1: Proceso de captura y preparación de solución madre de ME (Suquilanda 2001).**

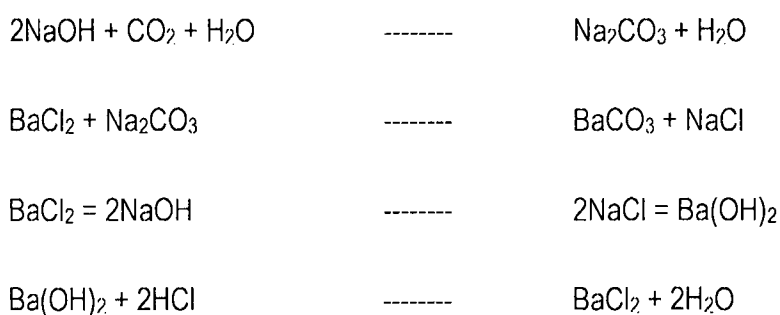
### 2.3.2. Incubación de Roca fosfórica y Guano con una solución microorganismos

La incubación se realizó en una proporción de 1 Kg del abono (Roca Fosfórica, Guano de Islas) con 1 litro de solución con microorganismos. El tiempo de incubación fue de 20 días.

Una vez cumplido el tiempo de incubación, se procedió a secado al medio ambiente y bajo sombra, para su posterior aplicación, en cada una de las unidades experimentales.

## 2.4. PROCEDIMIENTO Y FUNDAMENTO DE LA METODOLOGÍA

Para calcular la cantidad de CO<sub>2</sub> desprendido se parte del hecho que 1 ml de NaOH 0.2N corresponde a 0.00044 g de CO<sub>2</sub>. En el proceso de respiración, una parte de la soda se combina con el CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> desprendido. Las reacciones en el proceso de respiración son:

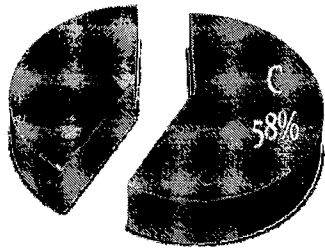


Para calcular la tasa de mineralización de la materia orgánica se utilizan los datos de las características químicas del suelo utilizado (%MO) y los resultados obtenidos de la producción de CO<sub>2</sub> desprendido a partir de la actividad microbiana de los suelos, estos datos son aplicados en la siguiente fórmula:

$$\%M = \frac{C \text{ CO}_2 \text{ prod. act. mic.}}{C \text{ CO}_2 (MO)} * 100$$

Donde:

- C-CO<sub>2</sub> prod. act. mic. = g de CO<sub>2</sub> desprendidos a partir de la actividad microbiana de los suelos
- C-CO<sub>2</sub> (MO) = (%MO / 1.724) \* (44 / 12)



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

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

## 2.5. TRATAMIENTOS Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En vista de que se evaluó el efecto de la aplicación de dos abonos naturales incubados con una solución de microorganismos, en la actividad microbiana del suelo, los factores que se consideraron en la presente investigación fueron: S (dos tipos de suelo: rico y pobre en materia orgánica), F (dos fuentes de abono natural: Roca Fosfórica y Guano de Islas), T (período de incubación de los abonos en una solución de ME: 0 y 2 semanas).

De esta manera se evaluó la variación en la actividad microbiana del suelo, por efecto del uso de dos fuentes de abono natural, incubados con una solución de microorganismos durante 0 y 2 semanas, en dos tipos de suelo. Los tratamientos así establecidos (8 + 2 testigos), corresponden a un factorial 2Sx2Fx2T más 2 testigos adicionales (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 30 unidades experimentales (u.e.). La u.e. consistió de un frasco de vidrio de 250 ml de capacidad.

**Cuadro 2.2. Características de los tratamientos:**

Tipo de Suelo	Fuente	Incubación con ME	Tratamiento	Descripción
S <sub>1</sub>	f <sub>1</sub>	i <sub>0</sub>	s <sub>1</sub> f <sub>1</sub> i <sub>0</sub>	T1: 1000 ppm RF sin incubar, en suelo 1*
		i <sub>1</sub>	s <sub>1</sub> f <sub>1</sub> i <sub>1</sub>	T2: 1000 ppm RF incubada, en suelo 1
	f <sub>2</sub>	i <sub>0</sub>	s <sub>1</sub> f <sub>2</sub> i <sub>0</sub>	T3: 1000 ppm GI sin incubar, en suelo 1
		i <sub>1</sub>	s <sub>1</sub> f <sub>2</sub> i <sub>1</sub>	T4: 1000 ppm GI incubada, en suelo 1
	f <sub>0</sub>	i <sub>0</sub>	s <sub>1</sub> f <sub>0</sub> i <sub>0</sub>	T5: Testigo (fertilidad natural del suelo 1)
S <sub>2</sub>	f <sub>1</sub>	i <sub>0</sub>	s <sub>2</sub> f <sub>1</sub> i <sub>0</sub>	T6: 1000 ppm RF sin incubar, en suelo 2*
		i <sub>1</sub>	s <sub>2</sub> f <sub>1</sub> i <sub>1</sub>	T7: 1000 ppm RF incubada, en suelo 2
	f <sub>2</sub>	i <sub>0</sub>	s <sub>2</sub> f <sub>2</sub> i <sub>0</sub>	T8: 1000 ppm GI sin incubar, en suelo 2
		i <sub>1</sub>	s <sub>2</sub> f <sub>2</sub> i <sub>1</sub>	T9: 1000 ppm GI incubada, en suelo 2
		i <sub>0</sub>	s <sub>2</sub> f <sub>0</sub> i <sub>0</sub>	T10: Testigo (fertilidad natural del suelo 2)

\*: Suelo 1 (suelo pobre en materia orgánica), suelo 2 (suelo rico en materia orgánica)

## 2.6. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

Consistió en:

- Para cada unidad experimental se tomó 100 g de la muestra de suelo
- La muestra de suelo se introdujo en frascos de 250 ml de capacidad
- 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 capa 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 con HCl 0.1N), 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).

## **2.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN**

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

### CAPÍTULO III

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cuadro **a1** del Anexo, muestra los resultados de la actividad microbiana en función a la producción de CO<sub>2</sub> (mg CO<sub>2</sub>/100 g de suelo); en éste se observan que los valores promedios más bajos corresponden al suelo claro (con bajo contenido de MO: 1.4%); mientras que el valor más alto corresponde al suelo oscuro (con alto contenido de MO: 5.32%). El mismo cuadro, también muestra una variación en la producción de CO<sub>2</sub> en todos los tratamientos; a través del tiempo, en el que se observa una disminución de la producción del CO<sub>2</sub>, con una significativa influencia de la temperatura, la cual varió en cada una de las fechas de evaluación.

Se debe tener en cuenta que el suelo claro posee un alto porcentaje de carbonatos, estos reaccionan con el ácido láctico que los microorganismos segregan (Higa y Parr 1991; Suquilanda 2001). Por ende el CO<sub>2</sub> liberado no solo procede de la actividad microbiana, sino también de la reacción que se da entre los carbonatos y los ácidos que estos segregan.

El cuadro **a2** del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización (%) de la materia orgánica a través del tiempo difieren de los mostrados en el cuadro **a1**; en éste se observan que los valores promedios más bajos corresponden al suelo oscuro (con alto contenido de MO: 5.32%); mientras que el valor más alto corresponde al suelo claro (con bajo contenido de

MO: 1.4%). El mismo cuadro, también muestra una variación en la tasa de mineralización (%) de la materia orgánica a través del tiempo en todos los tratamientos, en el que se observa una disminución de tasa de mineralización.

La abundante cantidad de microorganismos, presente en los abonos, procedente de la incubación en solución con microorganismos y de cepas nativas de la Materia Orgánica, sumados a estos que el Guano de Isla posee Nitrógeno y el alto nivel de Materia Orgánica, genera alta actividad microbiana; por ende se da una alta tasa de mineralización. Los resultados encontrados ponen en evidencia los cambios producidos en la actividad microbiana (medida a través de la producción de CO<sub>2</sub>), como consecuencia del aporte de diferentes abonos orgánicos.

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

El cuadro a3 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 (1.12) corresponde al T6 (1000 ppm RF, sin incubar en suelo 2); mientras que el valor más alto (6.80) se alcanzó con el T4 (1000 ppm GI, incubada en suelo 1).

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 suelos y por las diferentes mezclas de abonos aplicadas a los suelos.

En el cuadro 3.1 también se observa respuesta altamente significativa en la comparación entre los abonos y el testigo, en el suelo1 (suelo pobre en materia orgánica).

Igualmente se observa respuesta altamente significativa en la comparación entre los abonos (RF vs GI), tanto para el suelo 1 como para el suelo 2.

**Cuadro 3.1. Análisis funcional de variancia de la producción de CO<sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 3 días**

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	1	69.31200000	69.31200000	340.33	<.0001 **
Abonado	4	28.40021333	7.10005333	34.86	<.0001 **
suelo*abonado	4	9.88440000	2.47110000	12.13	<.0001 **
abono vs t/suelo1	1	4.41188167	4.41188167	21.66	0.0002 **
entre abonos/suelo1	1	25.90140833	25.90140833	127.18	<.0001 **
entre R/suelo1	1	4.40326667	4.40326667	21.62	0.0002 **
entre G/suelo1	1	1.10081667	1.10081667	5.41	0.0307 *
abono vs t/suelo2	1	0.50784000	0.50784000	2.49	0.1300 NS
entre abonos/suelo2	1	1.74803333	1.74803333	8.58	0.0083 **
entre R/suelo2	1	0.20535000	0.20535000	1.01	0.3283 NS
entre G/suelo2	1	0.00601667	0.00601667	0.03	0.8653 NS
Error	20	4.07326670	0.20366330		
Total	29	111.66988000			

CV = 14.52%

En el suelo 1, también se observa diferencia altamente significativa entre los tratamientos con RF (incubada y sin incubar), y diferencia significativa entre los tratamientos con GI (incubada y sin incubar); los cuales indican que probablemente existe una mayor influencia en la actividad microbiana en este suelo por la aplicación de los abonos orgánicos, además de ser el suelo con el menor porcentaje de materia orgánica, y por lo tanto ocurre un mayor efecto sobre los microorganismos a comparación del suelo 2 el cual posee el mayor porcentaje de materia orgánica y por tanto una rica flora microbiana.

Con bajo contenido de materia orgánica, probablemente haya un incremento de la actividad microbiana al incorporar los abonos orgánicos, es importante resaltar que en el cuadro **a2** del Anexo, muestra que los resultados promedios de la tasa de mineralización en los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 correspondientes al suelo1 son los valores más altos obtenidos.

Los abonos 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 (Gross *et al* 1986).

Estos resultados también indican que existe una importante diferencia en el aporte de microorganismos; por parte de los abonos orgánicos, a la actividad microbiana de los suelos.

### 3.2. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 6 DÍAS

El cuadro **a4** del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, durante los primeros 6 días; se observa que el valor más bajo en promedio (2.17) corresponde al T6 (1000 ppm RF, sin incubar en suelo 2); mientras que el valor más alto (7.78) se alcanzó con el T4 (1000 ppm GI, incubada en suelo 1), lo que muestra un incremento en la tasa de mineralización comparado a los datos correspondientes a los 3 días.

**Cuadro 3.2. Análisis funcional de variancia de la producción de CO<sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 6 días**

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	1	74.89200000	74.89200000	359.61	<.0001 **
abonado	4	27.12468000	6.78117000	32.56	<.0001 **
suelo*abonado	4	10.12820000	2.53205000	12.16	<.0001 **
abono vs t/suelo1	1	7.40610667	7.40610667	35.56	<.0001 **
entre abonos/suelo1	1	23.63213333	23.63213333	113.47	<.0001 **
entre R/suelo1	1	3.28560000	3.28560000	15.78	0.0008 **
entre G/suelo1	1	0.74906667	0.74906667	3.60	0.0724 NS
abono vs t/suelo2	1	0.39690667	0.39690667	1.91	0.1827 NS
entre abonos/suelo2	1	1.73280000	1.73280000	8.32	0.0092 **
entre R/suelo2	1	0.01500000	0.01500000	0.07	0.7912 NS
entre G/suelo2	1	0.03526667	0.03526667	0.17	0.6851 NS
Error	20	4.16520000	0.2082600		
Total	29	116.31008000			

CV = 11.18%

En el cuadro 3.2, al igual que en la lectura anterior correspondiente a los 3 días, se observa respuesta altamente significativa en la comparación entre los abonos y el testigo, en el suelo 1.

Igualmente se observa respuesta altamente significativa en la comparación entre los abonos, tanto para el suelo 1 como para el suelo 2, de la misma manera se observan diferencias altamente significativas en la comparación de tratamientos con aplicación de roca fosfórica y en la comparación de tratamientos con aplicación de guano, ambos casos presentados en el suelo 1; los cuales indican que probablemente siga existiendo influencia en la actividad microbiana del suelo por la aplicación de los abonos orgánicos.

### **3.3. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 9 DÍAS**

El cuadro a5 del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, durante los primeros 9 días; obsérvese que el valor más bajo en promedio (1.53) corresponde al T10 Testigo (fertilidad natural del suelo 2); mientras que el valor más alto (7.20) se alcanzó con el T4 (1000 ppm GI, incubada en suelo 1), lo que muestra una disminución en la tasa de mineralización comparado a los datos correspondientes a los 6 días.

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 sigue siendo influenciada por los diferentes porcentajes de MO de los suelos y por las diferentes mezclas de abonos aplicadas a los suelos. Se observa diferencia altamente significativa entre los tratamientos con abonos y el testigo, en el suelo 1; igualmente se observa respuesta altamente significativa en la comparación entre los abonos (RF vs GI), tanto en el suelo 1 como en el suelo 2. De la misma manera se observan diferencias altamente significativas entre los tratamientos con RF (incubada y sin incubar) en el suelo 1.

**Cuadro 3.3. Análisis funcional de variancia de la producción de CO<sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 9 días**

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
suelo	1	50.83008333	50.83008333	276.66	<.0001 **
abonado	4	40.61583333	10.15395833	55.27	<.0001 **
suelo*abonado	4	14.94876667	3.73719167	20.34	<.0001 **
abono vs t/suelo1	1	14.50416667	14.50416667	78.94	<.0001 **
entre abonos/suelo1	1	33.13363333	33.13363333	180.34	<.0001 **
entre R/suelo1	1	2.77440000	2.77440000	15.10	0.0009 **
entre G/suelo1	1	1.42106667	1.42106667	7.73	0.0115 *
abono vs t/suelo2	1	0.64066667	0.64066667	3.49	0.0766 NS
entre abonos/suelo2	1	2.25333333	2.25333333	12.26	0.0022 **
entre R/suelo2	1	0.00106667	0.00106667	0.01	0.9400 NS
entre G/suelo2	1	0.83626667	0.83626667	4.55	0.0455 *
Error	20	3.67453330	0.18372670		
Total	29	110.06921670			

CV = 13.24%

Además de observar diferencias significativas en la comparación de tratamientos con aplicación de guano, tanto en el suelo 1 como en el suelo 2; los cuales indican que probablemente siga existiendo influencia en la actividad microbiana del suelo por la aplicación de los abonos orgánicos.

### 3.4. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 12 DÍAS

El cuadro a6 del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, durante los primeros 12 días; se observa que el valor más bajo en promedio (0.84) corresponde al T10 Testigo (fertilidad natural del suelo 2); mientras que el valor más alto (3.00) se alcanzó con el T4 (1000 ppm GI, incubada en suelo 1), lo que nos muestra una fuerte disminución en la tasa de mineralización comparado a los datos correspondientes a los 9 días.

Este cambio drástico en la tasa de mineralización da a entender que se estaría efectuando una disminución en la actividad microbiana de los suelos en estudio.

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

**Cuadro 3.4. Análisis funcional de variancia de la producción de CO<sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 12 días**

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	1	13.46700000	13.46700000	222.39	<.0001 **
Abonado	4	2.42083333	0.60520833	9.99	0.0001 **
suelo*abonado	4	0.73010000	0.18252500	3.01	0.0425 *
abono vs t/suelo1	1	0.42504167	0.42504167	7.02	0.0154 *
entre abonos/suelo1	1	2.27940833	2.27940833	37.64	<.0001 **
entre R/suelo1	1	0.01215000	0.01215000	0.20	0.6590 NS
entre G/suelo1	1	0.12906667	0.12906667	2.13	0.1598 NS
abono vs t/suelo2	1	0.07704167	0.07704167	1.27	0.2727 NS
entre abonos/suelo2	1	0.13440833	0.13440833	2.22	0.1519 NS
entre R/suelo2	1	0.00006667	0.00006667	0.00	0.9739 NS
entre G/suelo2	1	0.09375000	0.09375000	1.55	0.2278 NS
Error	20	1.21113333	0.06055667		
Total	29	17.82906667			

CV = 14.94%

En el cuadro 3.4, se observa respuesta significativa en la comparación entre los abonos y el testigo, en el suelo1.

Igualmente se observa respuesta altamente significativa en la comparación entre los abonos, pero en este caso sólo para el suelo 1.

Además de observar que ya no existen diferencias significativas para los tratamientos realizados en el suelo 2; estos resultados nos indican que probablemente la actividad microbiana de los suelos se esté estabilizando, y que durante este proceso los efectos de los abonos orgánicos estén siendo amortiguados.

### 3.5. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 15 DÍAS

El cuadro **a7** del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, a los 15 días; se observa que el valor promedio más bajo (0.59) corresponde al T8 (1000 ppm GI, sin incubar en suelo 2); mientras que el valor más alto (1.71) se alcanzó con el T4 (1000 ppm GI, incubada en suelo 1), indicando que continúa la disminución en la tasa de mineralización comparado a los datos correspondientes a los 12 días.

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

**Cuadro 3.5. Análisis funcional de variancia de la producción de CO<sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 15 días**

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
suelo	1	2.76640333	2.76640333	48.70	<.0001 **
abonado	4	0.65808667	0.16452167	2.90	0.0484 *
suelo*abonado	4	0.55698000	0.13924500	2.45	0.0794 NS
abono vs t/suelo1	1	0.52080167	0.52080167	9.17	0.0066 **
entre abonos/suelo1	1	0.00067500	0.00067500	0.01	0.9143 NS
entre R/suelo1	1	0.00135000	0.00135000	0.02	0.8790 NS
entre G/suelo1	1	0.62726667	0.62726667	11.04	0.0034 **
abono vs t/suelo2	1	0.00054000	0.00054000	0.01	0.9233 NS
entre abonos/suelo2	1	0.05880000	0.05880000	1.04	0.3211 NS
entre R/suelo2	1	0.00281667	0.00281667	0.05	0.8260 NS
entre G/suelo2	1	0.00281667	0.00281667	0.05	0.8260 NS
Error	20	1.13606667	0.05680333		
Total	29	5.11753667			

CV = 24.18%

En el cuadro 3.5, se observa respuesta altamente significativa en la comparación entre los abonos y el testigo, en el suelo1.

Igualmente se observa respuesta altamente significativa en la comparación de tratamientos con aplicación de GI (incubado y si incubar), para el suelo 1.

Además se sigue observando que ya no existen diferencias significativas para las comparaciones correspondientes al suelo 2; estos resultados indican que probablemente la actividad microbiana de los suelos se siga estabilizando, y que durante este proceso los efectos de los abonos orgánicos ya se han estabilizado, amortiguados probablemente por el agotamiento del sustrato orgánico.

### **3.6. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA A LOS 18 DÍAS**

El cuadro **a8** 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 (0.50) corresponde al T5 Testigo (fertilidad natural del suelo 1); mientras que el valor más alto (1.21) se alcanzó con el T4 (1000 ppm GI, incubada en suelo 1), lo que muestra que aún existe una disminución en la tasa de mineralización comparado a los datos correspondientes a los 15 días.

En esta lectura aún se puede apreciar el cambio en los valores de la tasa de mineralización, lo que da a entender que aún se estaría dando una disminución en la actividad microbiana de los suelos en estudio.

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

**Cuadro 3.6. Análisis funcional de variancia de la producción de CO<sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 18 días**

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	1	0.53067000	0.53067000	6.47	0.0193 *
Abonado	4	0.47848667	0.11962167	1.46	0.2518 NS
suelo*abonado	4	0.45178000	0.11294500	1.38	0.2772 NS
abono vs t/suelo1	1	0.59600667	0.59600667	7.27	0.0139 *
entre abonos/suelo1	1	0.14963333	0.14963333	1.83	0.1918 NS
entre R/suelo1	1	0.08166667	0.08166667	1.00	0.3302 NS
entre G/suelo1	1	0.06406667	0.06406667	0.78	0.3872 NS
abono vs t/suelo2	1	0.00002667	0.00002667	0.00	0.9858 NS
entre abonos/suelo2	1	0.01470000	0.01470000	0.18	0.6765 NS
entre R/suelo2	1	0.00601667	0.00601667	0.07	0.7892 NS
entre G/suelo2	1	0.01815000	0.01815000	0.22	0.6431 NS
Error	20	1.63960000	0.08198000		
Total	29	3.10053667			

CV = 37.40%

En el cuadro 3.6, se observa una única respuesta significativa en la comparación entre los abonos y el testigo, en el suelo1.

Además se observa que para las demás comparaciones ya no existen diferencias significativas para los tratamientos realizados; estos resultados indican que probablemente la actividad microbiana de los suelos esté culminando su proceso de estabilización, y que durante este proceso los efectos de los abonos orgánicos sigan siendo amortiguados.

### 3.7. TASA DE MINERALIZACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DE 21 A 30 DÍAS

Los cuadros **a9** y **a12** del Anexo, muestran los resultados de la tasa de mineralización de la materia orgánica, durante los 21 y 30 días respectivamente; se observa que el valor más bajo en promedio (0.75) corresponde al T10 Testigo (fertilidad natural del suelo 2); mientras que el valor más alto (1.60) se alcanzó con el T4 (1000 ppm GI, incubada en suelo 1), correspondiente al cuadro **a9** del Anexo; también se observa que el valor más bajo en promedio (0.42)

corresponde a los tratamientos T8 (1000 ppm GI, sin incubar en suelo 2) y T9 (1000 ppm GI, incubada en suelo 2); mientras que el valor más alto (0.68) se alcanzó con el T3 (1000 ppm GI, sin incubar en suelo 1), correspondientes al cuadro **a12** del Anexo, lo que nos muestra que para este periodo se da un incremento en la tasa de mineralización comparado a los datos correspondientes a los 18 días.

En estas lecturas se puede apreciar el incremento en los valores de la tasa de mineralización, lo que nos da a entender que se estaría elevando la actividad microbiana de los suelos en estudio.

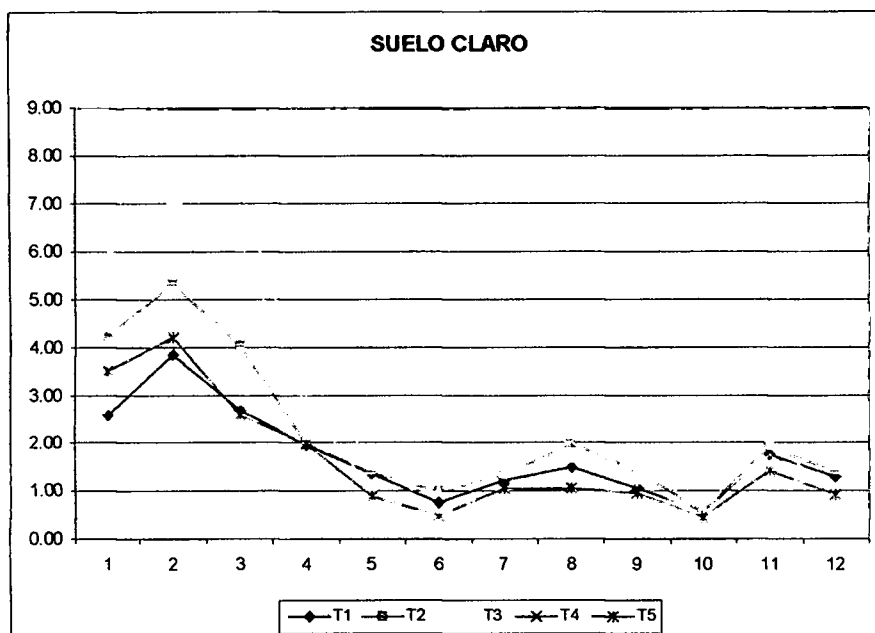
En los cuadros **a15** y **a16**, de análisis funcional de variancia (ANAFUNVA) que corresponden a la actividad microbiana a los veintiún días, ya no muestran diferencia significativa entre tratamientos; lo que indica que la actividad microbiana durante este periodo ya no es influenciada por los diferentes porcentajes de MO de los suelos y por las diferentes mezclas de abonos aplicadas a los suelos.

En los cuadros **a15** y **a16**, se observa que para todas las comparaciones no existen diferencias significativas; estos resultados indican que probablemente la actividad microbiana de los suelos haya logrado culminar su proceso de estabilización, y que durante este proceso los efectos de los abonos orgánicos hayan sido amortiguados.

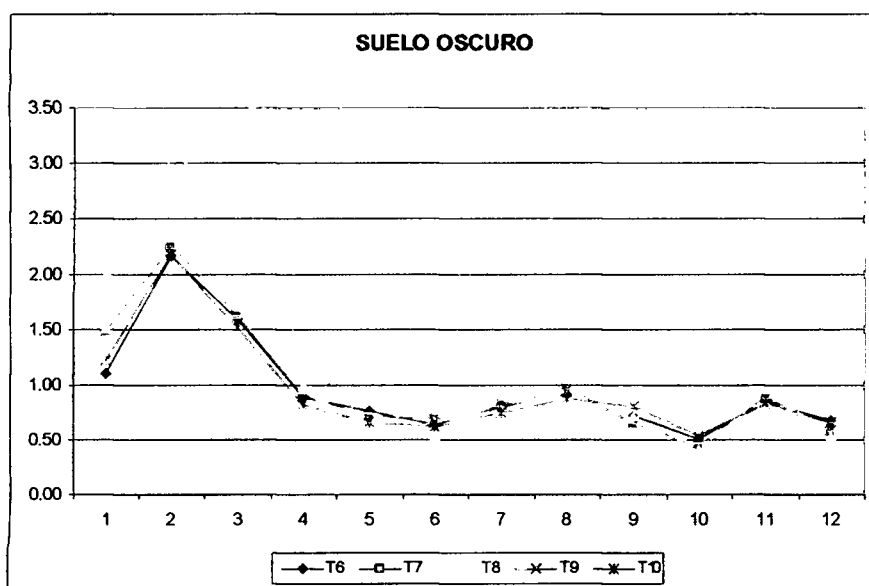
### **3.8. EVOLUCIÓN DE LA ACTIVIDAD MICROBIANA**

El cuadro **a3** del Anexo, muestra los resultados de la tasa de mineralización de los suelos en tratamiento; en éste se observan que los valores promedios más altos corresponden al suelo 1 (pobre en materia orgánica), mientras que el valores más bajos corresponden al suelo 2 (rico en materia orgánica).





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



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

Las Figuras 3.1 y 3.2 representan la comparación que se hace a la actividad microbiana (tasa de mineralización) en todos los tratamientos y a través del tiempo, donde se destaca la tendencia de mayor actividad microbiana correspondiente a los tratamientos del suelo 1 y suelo 2, en ese orden.

Se puede apreciar en ambas figuras que los primeros puntos de las gráficas corresponden a las primeras lecturas realizadas para los tratamientos de los suelos 1 y 2 (3 días), las cuales son superadas en las segundas lecturas (5 días); para lo cual se afirma, que para las figuras 3.1 y 3.2 los valores de las primeras lecturas (3 días) superaron a los obtenidos en las segundas lecturas (5 días). Esta variación se debe a que en los tratamientos tanto para el suelo 1 como para el suelo 2 tuvieron una elevada actividad microbiana, por lo tanto los 8ml de NaOH fueron insuficientes ante la producción de CO<sub>2</sub> en el estrato 1, ya que en la titulación no hubo gasto de HCl.

También podemos observar; en ambas figuras, que a medida que transcurre el tiempo los valores de la tasa de mineralización en ambos suelos disminuyen, esto durante las primeras 5 lecturas (0-15 días); pero que a partir de la sexta lectura (18 días) se aprecia una estado de estabilización de la tasa de mineralización de los suelos.

De esta forma llegamos a los mismos resultados de evolución de la actividad microbiana de los suelos obtenidos por Moreno (2010), quien afirma que los suelos tratados con abonos sintéticos u orgánicos poseen el poder de amortiguación ante el efecto de los mismos y que de ésta forma estabilizan su actividad microbiana.

## CAPÍTULO IV

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES

De acuerdo a la presente investigación con respecto al efecto de la aplicación de dos abonos naturales (roca fosfórica y guano de isla), tratados con microorganismos en la actividad microbiana del suelo, se concluye lo siguiente:

1. La aplicación de los abonos (RF y GI) incubados en la solución de ME han promovido una mayor actividad microbiana, con respecto a la aplicación de los mismos abonos sin incubar, especialmente en el suelo pobre en materia orgánica.
2. El abonamiento con guano de isla promueve una mayor actividad microbiana con respecto al abonamiento con roca fosfórica; en ambos suelos.
3. La medida de actividad microbiana a través de la producción de CO<sub>2</sub> en la respiración, muestra que el suelo con mayor concentración de materia orgánica, es el que más masa de CO<sub>2</sub> produce, pero que su tasa de mineralización de materia orgánica es inferior a la del suelo con menor concentración de materia orgánica.
4. La tasa de mineralización de la materia orgánica disminuye a través del tiempo, llegando a estabilizarse en las últimas lecturas.

## 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.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación evaluó el efecto de la aplicación de dos abonos naturales incubados en una solución de microorganismos, 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 una muestra de suelo procedente de un terreno de uso agrícola representativo de la zona de Pampa del Arco, Ayacucho. 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 aplicación de los abonos (RF y GI) incubados en la solución de ME han promovido una mayor actividad microbiana, con respecto a la aplicación de los mismos abonos sin incubar, especialmente en el suelo pobre en materia orgánica; 2. El abonamiento con guano de isla promueve una mayor actividad microbiana con respecto al abonamiento con roca fosfórica; en ambos suelos; 3. La medida de actividad microbiana a través de la producción de  $\text{CO}_2$  en la respiración, muestra que el suelo con mayor concentración de materia orgánica, es el que más masa de  $\text{CO}_2$  produce, pero que su tasa de mineralización de materia orgánica es inferior a la del suelo con menor concentración de materia orgánica; 4. La tasa de mineralización de la materia orgánica disminuye a través del tiempo, llegando a estabilizarse en las últimas lecturas.

## 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. Editorial Mundi – Prensa. Madrid.
3. **BIEDERBECK, V. O.; JANSEN H. H.; CAMPBELL C. A.; ZENTNER R. P. 1994.** Labile soil organic matter as influenced by cropping practices in an arid environment. *Soil. Biol. Biochem.* 26:1647-1656.
4. **BRADY, N.C. 1989.** Natureza e propiedades dos solos. Livraria Freitas Bastos.
5. **BRAGATO, G.; PRIMAVERA, F. 1998.** Manuring and soil type influence on spatial variation of soil organic matter properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 62:1313-1319.
6. **BURBANO, H. 1989.** El Suelo: Una visión de sus componentes Bioorgánicos. Conciencias-Universidad de Nariño. Pasto.
7. **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, No. 1. P. 3-4.
8. **CAMPBELL, C.A.; BRANDT, S.A.; BIEDERBECK, V.O.; ZENTNER, R.P.; 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.
9. **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.
10. **CARTER, M.R.; 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.

11. COLLINS, H.P.; RASMUSSEN, P.E.; DOUGLAS, C.L. 1992. Crop rotation and residue management effects on soil carbon and microbial dynamics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56:783-788.
12. DALAL, R.C.; 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.
13. DOMMERGUES, Y.; MANGENOT, F. 1970. *Ecologie microbienne du sol.* Manson et Cie. Paris.
14. ELLIOT, E.T.; BURKE, I.C; MONZ, C.A.; FREY, S.D. 1994. Terrestrial carbon pools: preliminary data from the Corn Belt and Great Plains regions. p.179-191. *In* Defining soil quality for a sustainable environment. Doran, Coleman, Bezdicsek, and Stewart (eds.). Special Publication Number 35, Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin, USA.
15. FENCHEL, T.; KING, GM.; BLACKBURN, TH. 2000. *Bacterial Biogeochemistry. The Ecophysiology of Mineral Cycling.* 2da Academic Press, San Diego, USA.
16. GARCÍA, I.; 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].
17. 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. Página consultada en septiembre de 2005. [www.ciesasgolfo.edu.mx/istmo/docs/ponencias/iponencias.htm](http://www.ciesasgolfo.edu.mx/istmo/docs/ponencias/iponencias.htm).
18. GRESI, B.M., 1992. Biomasa microbiana do solo: metodos de determinação e resultados recentes. In: Simpósio de Microbiologia do solo. Sao Paulo.
19. GROS, A. 1986. Los abonos. Guía Práctica de Fertilización. Ediciones Prensa. España.
20. GUPTA, V. V.; GRACE P. R.; ROPER M. M. 1994. Carbon and nitrogen mineralization

- as influenced by long term soil and crop residue management systems in Australia. P. 193-200. In Defining soil quality for a sustainable environment. Doran, Coleman, Bezdicek, and Stewart (eds.). Special Publication Number 35. Soil Sci. Soc. of America, Madison, Wisconsin, USA.
21. **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.
  22. **I.G.A.C., 1993.** Aspectos ambientales para el ordenamiento territorial del occidente del departamento del Caquetá. Bogotá: INPA-IGAC.
  23. **JANZEN, H.H. 1987.** Soil organic matter characteristics after long-term cropping to various spring wheat rotations. Can. J. Soil Sci. 67:845-856.
  24. **JENKINSON, D.S. 1992.** La materia orgánica del suelo: evolución. En: WILD, A. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas. Madrid : Mundi-Prensa
  25. **LOBKOV, V.T. 1999.** Biodiversity in agroecosystems as a factor optimizing the biological activity of soil. Eurasian Soil Science 32:664-668.
  26. **MORA, J. 2005.** La actividad microbiana: un indicador integral de la calidad del suelo. Disponible en <http://www.lunazul.ucaldas.edu.co>
  27. **MORENO, J. 2010.** Efecto del abonamiento sintético y orgánico en la actividad microbiana de suelos con diferente contenido de materia orgánica. Tesis Ing. Agrónomo. UNSCH, Ayacucho-Perú. 86 pág.
  28. **OMAY, A.B.; RICE, C.W.; MADDUX, L.D.; GORDON, W.B.. 1997.** Changes in soil microbial and chemical properties under long-term crop rotation and fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J. 61:1672-1678.
  29. **PARTON, W.J.; SCHIMEL, D.S.; COLE, C.V.; OJIMA, D.S. 1987.** Analysis of factors controlling soil organic matter levels in Great Plains grasslands. Soil Sci. Soc. Am. J. 51:173-179.



30. PAUL, E.A.; CLARK, F.E. 1989. Soil microbiology and biochemistry. San Diego: Academic press Inc., 273 p.
31. 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.
32. SCHNÜRER, J.; CLARHOLM, M.; ROSSWALL, T. 1985. Microbial biomass and activity in an agricultural soil with different organic matter contents. Soil Biol. Biochem. 17:611-618.
33. STEVENSON, F.J.; COLE, M.A. 1999. Cycles of soil. 427 p. 2<sup>nd</sup> ed.. John Wiley & Sons, New York, USA.
34. TATE, R.L. 1987. Soil organic matter: Biological and ecological effects. 291 p. John Wiley & Sons, New York, USA
35. TINEO, A. 1997. El análisis funcional de la variancia. Oficina General de Investigación, UNSCH. Ayacucho. Perú. 40 pág.
36. 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.
37. ZIBILSKÉ, 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.
38. ZUNINO, H.; BORIE, F.; AGUILERA, M.; MARTÍN, J.P.; HAIDER, K. 1982. Descomposición de C<sup>14</sup>-labeled glucose, plant and microbial products and phenols in volcanic ash-derived soils of Chile. Soil Biol. Biochem. 14:37-4

# **ANEXOS**

### Anexo 1. Producción de CO<sub>2</sub> (mg) a través del tiempo

TRA	12/01/2010	15/01/2010	18/01/2010	21/01/2010	24/01/2010	27/01/2010	30/01/2010	02/02/2010	05/02/2010	08/02/2010	11/02/2010	14/02/2010
T1	0.6424	0.9614	0.6688	0.4840	0.3373	0.1907	0.3080	0.3740	0.2640	0.1393	0.4400	0.3227
T2	1.0626	1.3266	1.0076	0.4994	0.3447	0.2493	0.3300	0.4967	0.3520	0.1393	0.4767	0.3447
T3	1.4762	1.7578	1.5400	0.6710	0.2640	0.2493	0.3447	0.4253	0.3520	0.1687	0.4840	0.2567
T4	1.6874	1.9316	1.7864	0.7436	0.4253	0.3007	0.3960	0.5060	0.2787	0.1320	0.4400	0.2347
T5	0.8800	1.0516	0.6424	0.4994	0.2273	0.1247	0.2640	0.2640	0.2420	0.1173	0.3593	0.2347
T6	1.0538	2.0416	1.5026	0.8514	0.7333	0.6013	0.7627	0.8580	0.6893	0.4840	0.8140	0.6453
T7	1.4014	2.1252	1.5312	0.8580	0.6893	0.6600	0.7773	0.9313	0.6160	0.4327	0.8433	0.5573
T8	1.9162	2.7214	1.9888	0.9416	0.5573	0.5133	0.7407	0.8580	0.6820	0.3960	0.7993	0.5060
T9	1.9712	2.8666	2.6662	1.1836	0.6013	0.6160	0.7553	0.8727	0.6527	0.3960	0.8213	0.6160
T0	1.1550	2.0614	1.4388	0.7876	0.6307	0.5940	0.7113	0.8360	0.7627	0.5133	0.7993	0.6307

### Anexo 2. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%) a través del tiempo

TRA	12/01/2010	15/01/2010	18/01/2010	21/01/2010	24/01/2010	27/01/2010	30/01/2010	02/02/2010	05/02/2010	08/02/2010	11/02/2010	14/02/2010
T1	2.5889554	3.8745669	2.6953509	1.9505829	1.3594971	0.7684114	1.2412800	1.5072686	1.0639543	0.5615314	1.7732571	1.3003886
T2	4.2824160	5.3463703	4.0607589	2.0126469	1.3890514	1.0048457	1.3289429	2.0096914	1.4186057	0.5615314	1.9210286	1.3890514
T3	5.9492777	7.0841623	6.2064000	2.7042171	1.0639543	1.0048457	1.3890514	1.7141486	1.4186057	0.6797486	1.9505829	1.0344000
T4	6.8004411	7.7845989	7.1994240	2.9968046	1.7141486	1.2172571	1.5959314	2.0392457	1.1230629	0.5319771	1.7732571	0.9457371
T5	3.5465143	4.2360346	2.5889554	2.0126469	0.9161829	0.5024229	1.0639543	1.0639543	0.9752914	0.4728686	1.4481600	0.9457371
T6	1.1176186	2.1652403	1.5935982	0.9029612	0.7777444	0.6377504	0.8088541	0.9099609	0.7310797	0.5133113	0.8632962	0.6844150
T7	1.4862696	2.2539032	1.6239302	0.9099609	0.7310797	0.6999699	0.8244090	0.9877353	0.6533053	0.4588692	0.8944060	0.5910657
T8	2.0322460	2.8862093	2.1092427	0.9986238	0.5910357	0.5444211	0.7855218	0.9099609	0.7233023	0.4199820	0.8477414	0.5366436
T9	2.0905768	3.0402027	2.8488776	1.2552794	0.6377504	0.6533053	0.8010767	0.9255158	0.6921925	0.4199820	0.8710737	0.6533053
T0	1.2249474	2.1862394	1.5259344	0.8352974	0.6688602	0.6299729	0.7544120	0.8866286	0.8088541	0.5444211	0.8477414	0.6688602

**Anexo 3. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 3 días**

Fecha 1	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	2.66	4.88	6.12	7.63	3.10	1.26	1.42	1.96	2.08	1.21
Rep 2	2.84	3.64	5.76	7.00	4.34	1.10	1.40	2.33	1.96	1.17
Rep 3	2.22	4.34	5.94	5.76	3.19	0.98	1.63	1.80	2.24	1.28
$\bar{x}$	2.59	4.28	5.95	6.80	3.55	1.12	1.49	2.03	2.09	1.22

**Anexo 4. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 6 días**

Fecha 2	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	3.72	5.50	7.45	9.04	3.64	2.19	2.12	2.94	2.94	2.26
Rep 2	4.08	5.14	7.00	7.71	4.61	2.08	2.38	2.73	3.10	2.19
Rep 3	3.81	5.41	6.74	6.56	4.52	2.19	2.26	2.99	3.08	2.08
$\bar{x}$	3.87	5.35	7.08	7.78	4.24	2.17	2.25	2.89	3.04	2.19

**Anexo 5. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 9 días**

Fecha 3	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	2.75	4.34	6.21	7.98	2.22	1.68	1.68	2.03	2.92	1.49
Rep 2	2.57	4.17	5.76	7.71	2.66	1.61	1.45	2.12	2.82	1.63
Rep 3	2.75	3.64	6.65	5.85	2.84	1.49	1.73	2.15	2.80	1.45
$\bar{x}$	2.70	4.06	6.21	7.20	2.59	1.60	1.62	2.11	2.85	1.53

**Anexo 6. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 12 días**

Fecha 4	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	1.86	2.04	2.57	2.57	1.77	0.93	0.86	1.00	1.14	0.84
Rep 2	2.13	1.77	2.93	3.72	2.04	0.82	0.96	0.98	1.42	0.84
Rep 3	1.77	2.22	2.57	2.66	2.13	0.96	0.91	1.00	1.17	0.82
$\bar{x}$	1.95	2.01	2.70	3.00	2.01	0.90	0.91	1.00	1.26	0.84

**Anexo 7. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 15 días**

Fecha 5	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	1.42	1.24	0.98	2.04	0.62	0.72	0.61	0.89	0.72	0.70
Rep 2	1.15	1.42	1.33	1.86	1.42	0.84	0.84	0.47	0.58	0.70
Rep 3	1.51	1.51	0.89	1.24	0.71	0.77	0.75	0.42	0.61	0.61
$\bar{x}$	1.36	1.39	1.06	1.71	0.92	0.78	0.73	0.59	0.64	0.67

**Anexo 8. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 18 días**

Fecha 6	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	0.18	0.62	0.98	1.24	1.06	0.65	0.72	0.51	0.61	0.56
Rep 2	0.89	1.15	0.71	1.42	0.09	0.65	0.68	0.65	0.72	0.63
Rep 3	1.24	1.24	1.33	0.98	0.35	0.61	0.70	0.47	0.63	0.70
$\bar{x}$	0.77	1.00	1.00	1.21	0.50	0.64	0.70	0.54	0.65	0.63

**Anexo 9. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 21 días**

Fecha 7	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	0.62	1.33	1.95	1.60	0.71	0.77	0.89	0.91	1.05	0.79
Rep 2	1.60	1.68	1.15	1.77	1.51	0.89	0.93	0.65	0.70	0.77
Rep 3	1.51	0.98	1.06	1.42	0.98	0.77	0.65	0.79	0.65	0.70
$\bar{x}$	1.24	1.33	1.39	1.60	1.06	0.81	0.82	0.79	0.80	0.75

**Anexo 10. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 24 días**

Fecha 8	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	1.51	2.04	1.77	2.13	1.24	0.84	1.17	0.93	1.05	0.96
Rep 2	1.77	1.95	1.95	2.04	1.15	0.86	0.96	0.98	0.84	0.77
Rep 3	1.24	2.04	1.42	1.95	0.80	1.03	0.84	0.82	0.89	0.93
$\bar{x}$	1.51	2.01	1.71	2.04	1.07	0.91	0.99	0.91	0.93	0.89

**Anexo 11. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 27 días**

Fecha 9	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	1.06	1.60	1.42	1.42	1.51	0.61	0.75	0.77	0.84	0.86
Rep 2	0.80	0.98	1.33	1.24	0.71	0.91	0.56	0.68	0.63	0.68
Rep 3	1.33	1.68	1.51	0.71	0.71	0.68	0.65	0.72	0.61	0.89
$\bar{x}$	1.06	1.42	1.42	1.12	0.98	0.73	0.65	0.72	0.69	0.81

**Anexo 12. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 30 días**

Fecha 10	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	0.35	0.44	1.06	0.80	0.53	0.49	0.58	0.42	0.49	0.42
Rep 2	0.71	0.62	0.80	0.35	0.71	0.58	0.33	0.44	0.33	0.47
Rep 3	0.62	0.62	0.18	0.44	0.18	0.47	0.47	0.40	0.44	0.75
$\bar{x}$	0.56	0.56	0.68	0.53	0.47	0.51	0.46	0.42	0.42	0.54

**Anexo 13. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 33 días**

Fecha 11	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	1.33	2.22	1.95	1.42	1.42	1.00	1.00	0.96	0.93	0.89
Rep 2	1.95	2.04	2.31	2.22	1.60	0.77	1.03	0.91	0.82	0.70
Rep 3	2.04	1.51	1.60	1.68	1.33	0.82	0.65	0.68	0.86	0.96
$\bar{x}$	1.77	1.92	1.95	1.77	1.45	0.86	0.89	0.85	0.87	0.85

**Anexo 14. Tasa de mineralización de la materia orgánica (%), a los 36 días**

Fecha 12	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Rep 1	1.42	1.42	0.71	0.71	0.80	0.86	0.47	0.63	0.68	0.68
Rep 2	0.98	1.68	1.15	1.15	1.15	0.75	0.70	0.47	0.61	0.75
Rep 3	1.51	1.06	1.24	0.98	0.89	0.44	0.61	0.51	0.68	0.58
$\bar{x}$	1.30	1.39	1.03	0.95	0.95	0.68	0.59	0.55	0.65	0.67

**Anexo 15. ANAFUNVA de la producción de CO<sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 21 días**

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
Suelo	1	2.11205333	2.11205333	22.31	0.0001 **
Abonado	4	0.26188667	0.06547167	0.69	0.6064 NS
suelo*abonado	4	0.19998000	0.04999500	0.53	0.7164 NS
abono vs t/suelo1	1	0.24961500	0.24961500	2.64	0.1201 NS
entre abonos/suelo1	1	0.12607500	0.12607500	1.33	0.2621 NS
entre R/suelo1	1	0.01126667	0.01126667	0.12	0.7337 NS
entre G/suelo1	1	0.06615000	0.06615000	0.70	0.4131 NS
abono vs t/suelo2	1	0.00620167	0.00620167	0.07	0.8006 NS
entre abonos/suelo2	1	0.00187500	0.00187500	0.02	0.8895 NS
entre R/suelo2	1	0.00026667	0.00026667	0.00	0.6431 NS
entre G/suelo2	1	0.00041667	0.00041667	0.00	0.9478 NS
Error	20	1.89326667	0.09466333		
Total	29	4.46718667			

CV = 29.04%

**Anexo 16. ANAFUNVA de la producción de CO<sub>2</sub> (mg/100 g suelo) a los 30 días**

FUENTES	GL	SC	CM	Fc	Pr > F
suelo	1	0.05896333	0.05896333	1.35	0.2593 NS
abonado	4	0.02001333	0.00500333	0.11	0.9760 NS
suelo*abonado	4	0.08692000	0.02173000	0.50	0.7384 NS
abono vs t/suelo1	1	0.02860167	0.02860167	0.65	0.4283 NS
entre abonos/suelo1	1	0.00607500	0.00607500	0.14	0.7133 NS
entre R/suelo1	1	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000 NS
entre G/suelo1	1	0.03375000	0.03375000	0.77	0.3902 NS
abono vs t/suelo2	1	0.02090667	0.02090667	0.48	0.4973 NS
entre abonos/suelo2	1	0.01333333	0.01333333	0.30	0.5870 NS
entre R/suelo2	1	0.00426667	0.00426667	0.10	0.7581 NS
entre G/suelo2	1	0.00000000	0.00000000	0.00	1.0000 NS
Error	20	0.87500000	0.04375000		
Total	29	1.04089667			

CV = 40.51

# IMÁGENES

## PROCESO DE EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE SUELOS

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



Imagen 03. Tamizado del suelo 1



Imagen 04. Tamizado del suelo 2



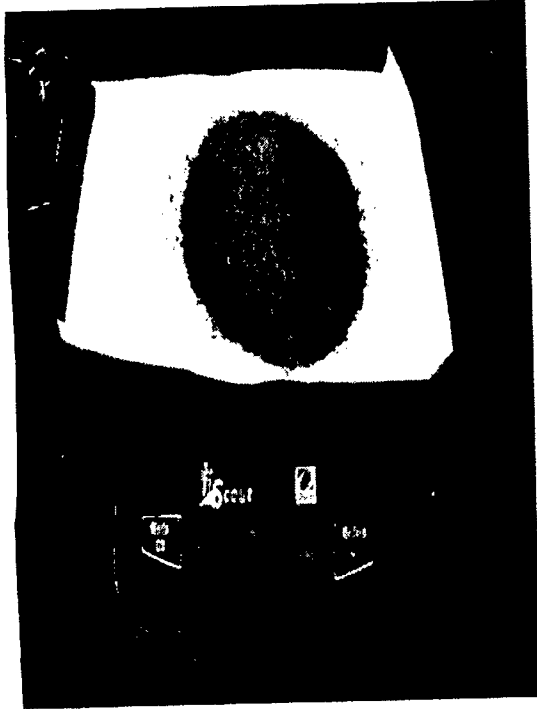


Imagen 05. Pesado (100 g) del suelo 1

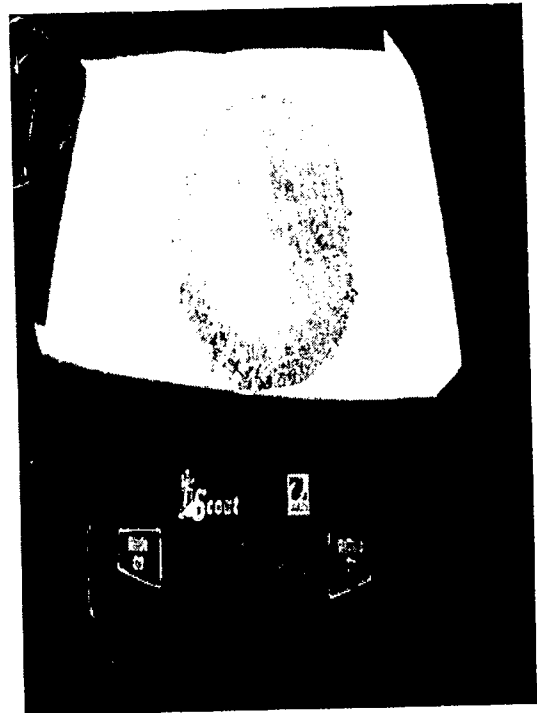
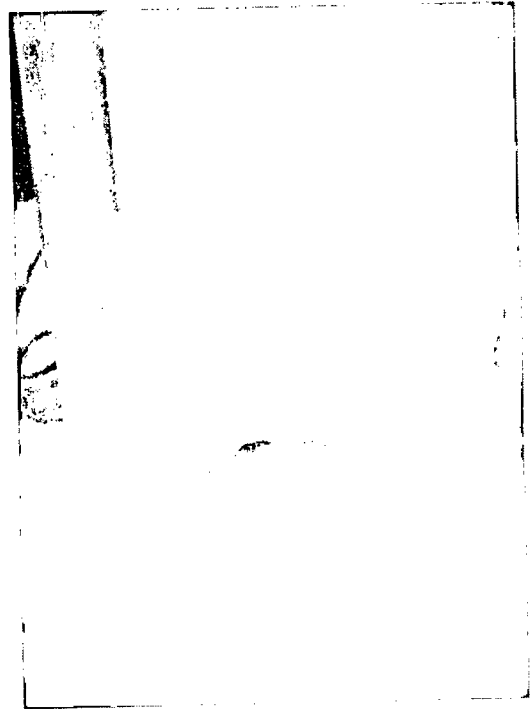
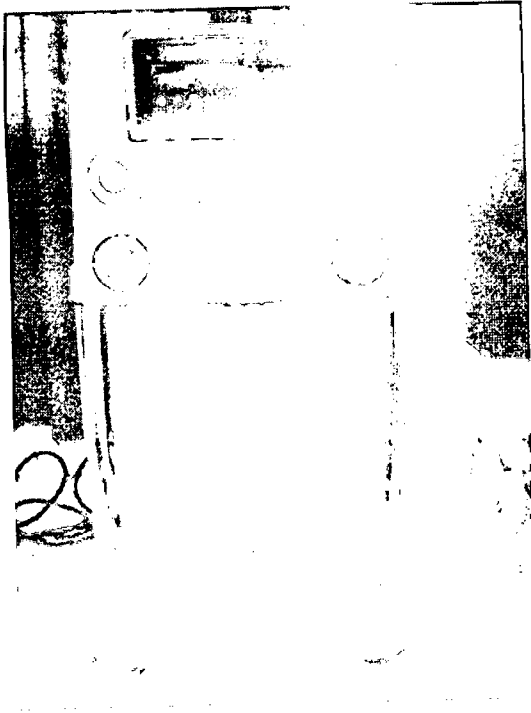
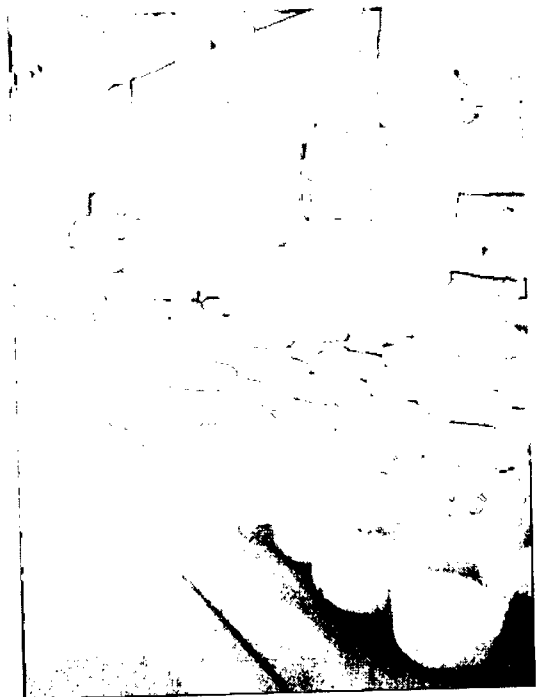
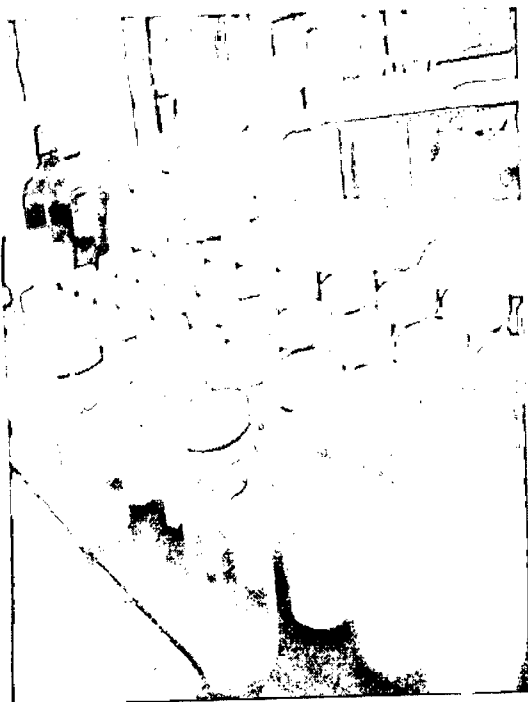


Imagen 06. Pesado (100 g) del suelo 2

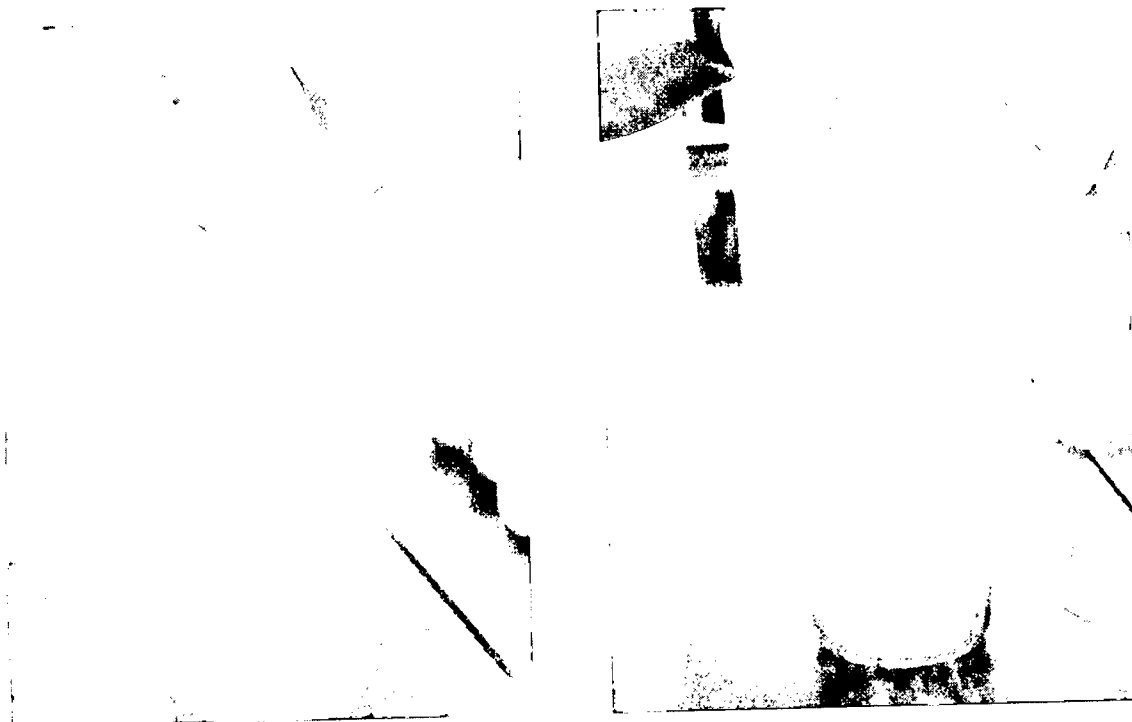
## PROCESO DE INSTALACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS



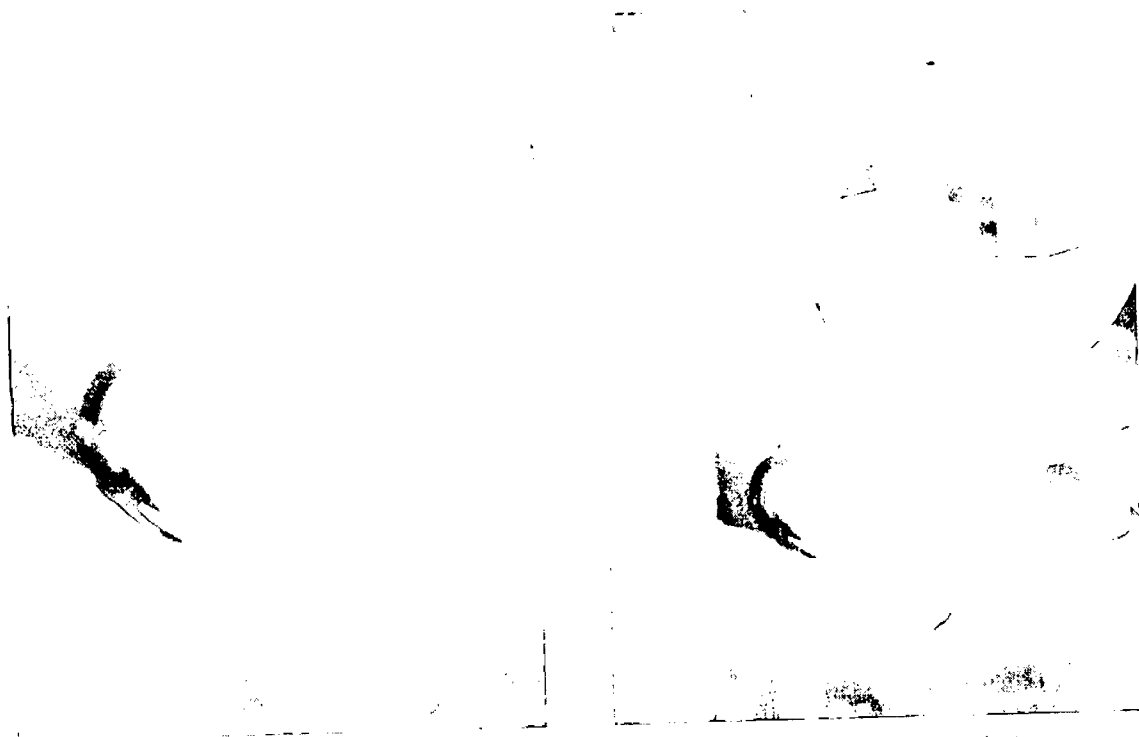
Imágenes 07 y 08. Pesado de los abonos orgánicos, para la preparación de los tratamientos



Imágenes 09 y 10. Incorporación de las muestras de suelo pesadas (100 g) en los frascos de vidrio



Imágenes 11 y 12. Incorporación de los abonos orgánicos a cada uno de los tratamientos



Imágenes 13 y 14. Incorporación de 50ml de agua desionizada a cada uno de los tratamientos



Imagen 15. Preparación de los blancos con 50ml de agua desionizada

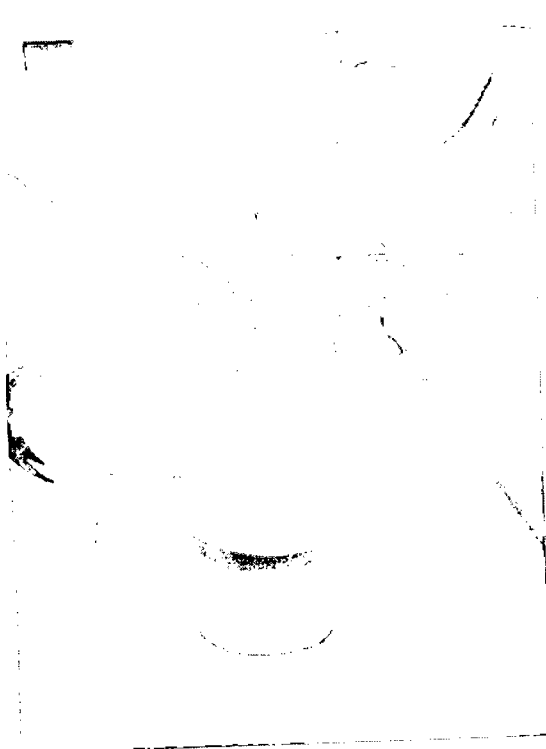


Imagen 16. Incorporación del tubo vial conteniendo  
8ml de NaOH

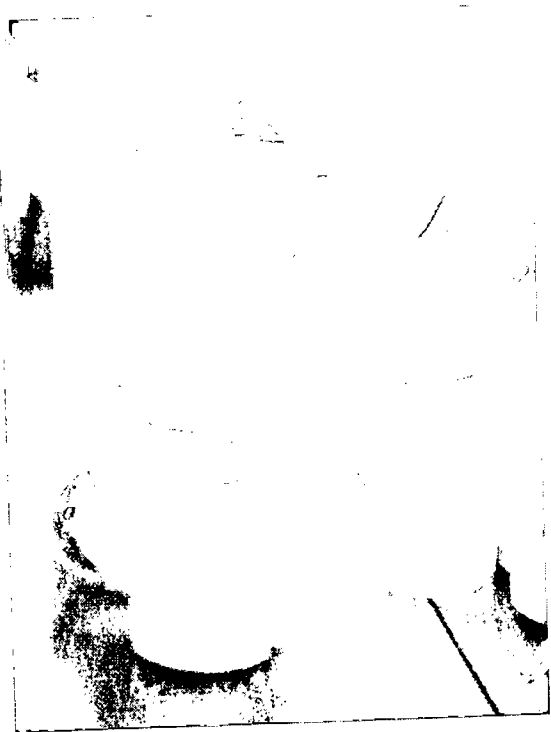


Imagen 17. Cerrado hermético de los frascos

## PROCESO DE TITULACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS EN ESTUDIO



Imagen 18. Incorporación de 1ml de  $\text{BaCl}_2$  a los 8ml de NaOH para la titulación

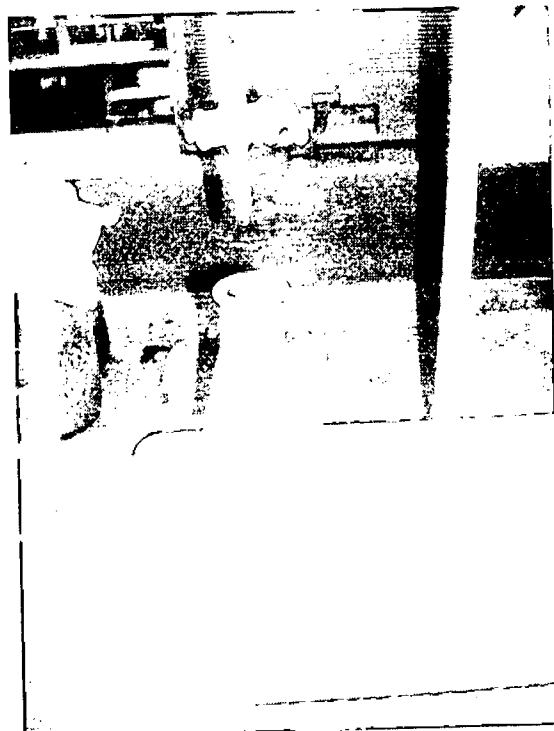


Imagen 19. Incorporación de 3 gotas de fenolftaleína

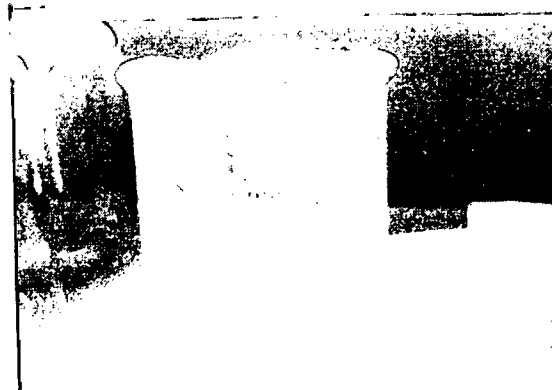


Imagen 20. Cambio de coloración y lectura del gasto del HCl