

**RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y
MICROBIOLÓGICAS DE UN SUELO DEGRADADO, MEDIANTE EL USO
DE COMPOST TIPO BIORREMEDIACIÓN EN CAFÉ MADRID,
SANTANDER**

ANDRÉS MAURICIO GARCÍA DELGADO

JOHANA ALEXANDRA GÓMEZ SANTOS

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
BUCARAMANGA
2004**

**RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS, FÍSICAS Y
MICROBIOLÓGICAS DE UN SUELO DEGRADADO, MEDIANTE EL USO
DE COMPOST TIPO BIORREMEDIACIÓN EN CAFÉ MADRID,
SANTANDER**

**ANDRÉS MAURICIO GARCÍA DELGADO
JOHANA ALEXANDRA GÓMEZ SANTOS**

TESIS DE GRADO

Directora

LUZ ALBA LUNA GELLER

Ingeniera Agrónoma

M.S.c. Producción Agrícola

Co-Director

JAIRO PUENTE BURGÉS

Ingeniero Químico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE QUÍMICA

BUCARAMANGA

2004

DEDICATORIA

A Dios,

A las personas que han estado a mi lado a lo largo de mi vida, en especial a mis papas, familiares y hermanos,

A mi novia Angélica que me acompañó en el último trayecto de mi carrera.

ANDRES MAURICIO GARCIA DELGADO

DEDICATORIA

A mi mami, quien con su ejemplo, amor y apoyo me ha fortalecido para lograr las metas hoy cumplidas.

A mi novio David quien me acompaño y apoyo durante los años de mi carrera.

J OHANNA GOMEZ SANTOS

AGRADECIMIENTOS

A la Ingeniera Luz Alba Luna G3eller, por su colaboraci3n y disposici3n para la investigaci3n.

Al profesor Jairo Puento, por su colaboraci3n.

Al Laboratorio Qu3mico de Suelos de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de la Gobernaci3n de Santander, por el apoyo y colaboraci3n durante el desarrollo de este trabajo.

Al CINBIN y su directora la profesora Mariela Carre3o, por su colaboraci3n con los an3lisis microbiol3gicos de suelos.

A Districrudos de Santander por permitirnos realizar este trabajo en sus predios.

A nuestras familias por el apoyo incondicional.

A nuestros compa3eros, amigos y a todos aquellos que de una manera u otra colaboraron en la realizaci3n de este trabajo de grado.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	1
1. MARCO TEORICO	3
1.1 DEGRADACION DE SUELOS	3
1.1.1 Tipos de degradación de los suelos	3
1.1.2 Consecuencias de la degradación del suelo	5
1.1.3 Contaminación del suelo e impacto ambiental	6
1.2 AGRICULTURA ECOLOGICA Y MEJORAMIENTO AMBIENTAL	6
1.3 MICROORGANISMOS DE IMPORTANCIA EN EL SUELO Y FACTORES QUE LO AFECTAN	9
1.3.1 Microflora del suelo	9
1.3.2 Factores determinantes de la vida del suelo	11
1.3.3 Influencia de la planta en la flora microbiana	17
1.4 LA IMPORTANCIA DEL EDAFON PARA LA AGRICULTURA	18
1.4.1 Transformación de la materia orgánica y mineral	19
1.4.2 La formación de una buena estructura	19
1.4.3 El transporte de materias	20
1.4.4 Efectos mutuos de asociaciones biológicas	20
1.4.5 La influencia mutua entre los seres	20
1.4.6 Fijación biológica de nitrógeno	26
1.4.7 El dominio de la vida del suelo por la disposición técnica del hombre	30
1.4.8 Experiencias en bioremediación de suelos contaminados con microorganismos patógenos	30
1.4.9 Experiencias en mejoramiento de suelos mediante tratamientos biológicos	32
1.5 COMPOSTAJES	36
1.5.1 Historia	36
1.5.2 Compost	37
1.5.3 Ventajas y desventajas del uso y producción de compost	38
1.5.4 Principales parámetros de control en el proceso de compostaje	40
1.5.5 Metabolismos de la materia orgánica por microorganismos	41
1.5.6 Aspectos microbiológicos del compostaje	41

1.5.7	Legislación	42
2.	MATERIALES Y METODOS	44
2.1	LOCALIZACION	44
2.2	MATERIALES	44
2.2.1	Biológicos	44
2.2.2	Semillas	46
2.2.3	Abonos orgánicos	46
2.2.4	Fertilizante químico	47
2.2.5	Suelo degradado	47
2.3	METODOLOGIA	47
2.3.1	Tratamientos	47
2.3.2	Diseño experimental	48
2.3.3	Manejo integral del experimento	50
2.3.4	Variables evaluadas	67
3.	RESULTADOS Y DISCUSION	68
3.1.1	Textura	68
3.1.2	Densidad aparente y densidad real	68
3.1.3	Porosidad	70
3.2	CAMBIO EN EL CONTENIDO NUTRICIONAL DEL SUELO EN FUNCION DE LOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION EVALUADOS	72
3.2.1	pH	73
3.2.2	Materia orgánica	75
3.2.3	Capacidad de intercambio catiónico	76
3.2.4	Elementos mayores	77
3.2.5	Elementos secundarios	80
3.2.6	Elementos menores	81
3.3	ANALISIS MICROBIOLÓGICOS	84
3.4	ENFERMEDADES Y PLAGAS QUE AFECTARON EL DESARROLLO DEL CULTIVO	89
3.5	EFFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION EVALUADOS EN LA PRODUCCION DE LOS CULTIVOS DE FRIJOL VARIEDAD J1J1 Y MAIZ ICA V-304	92
3.6	ANALISIS ECONOMICO DE LOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION EVALUADOS	97
4.	CONCLUSIONES	107
5.	RECOMENDACIONES	109
	BIBLIOGRAFIA	111
	ANEXOS	116

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Efectos más destacados de la materia orgánica en los suelos cultivados (Negro, 2003)	39
Cuadro 2. Legislación para países Europeos	43
Cuadro 3. Contenido nutricional del compost	46
Cuadro 4. Tratamientos utilizados en la evaluación de los abonos orgánicos tipo bioremediación	48
Cuadro 5. Comportamiento de la textura del suelo en su estado inicial y después de la fertilización	69
Cuadro 6. Comportamiento de la densidad y porosidad del suelo en función de los tratamientos de fertilización evaluados	71
Cuadro 7. Cambio en algunas características químicas del suelo en función del sistema de uso y manejo	74
Cuadro 8. Cambio en el comportamiento de algunos microorganismos benéficos del suelo en función del sistema de uso y manejo	86
Cuadro 9. Variación en la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el suelo antes y después de la siembra	88
Cuadro 10. Producción (Kg/ha) de Fríjol J1J1 en función de la fertilización evaluada	93
Cuadro 11. Producción (Kg/ha) de Maíz ICA V-304 en función de la fertilización evaluada	94
Cuadro 12. Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en la producción de fríjol J1J1	95
Cuadro 13. Análisis método DUNCAN 1% para el efecto de los	95

tratamientos de la producción en frijol	
Cuadro 14. Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en la producción de maíz ICA V-304	96
Cuadro 15. Análisis método DUNCAN 1% para el efecto de los tratamientos de la producción de maíz	96
Cuadro 16. Costos variables de producción para cada tratamiento	99
Cuadro 17. Análisis de costos parciales de producción, valor de la producción e ingresos netos parciales para el frijol variedad J1J1	100
Cuadro 18. Análisis de dominancia (Frijol J1J1)	101
Cuadro 19. Análisis de rentabilidad marginal (%) para los tratamientos no dominados en frijol J1J1	102
Cuadro 20. Análisis de costos parciales de producción, valor de la producción e ingresos netos parciales (Maíz ICA V-304)	103
Cuadro 21. Análisis de dominancia (Maíz ICA V-304)	104
Cuadro 22. Análisis de rentabilidad marginal (%) para los tratamientos no dominados en maíz ICA V-304	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Producto utilizado para la inoculación de bacterias	45
Figura 2. Producto utilizado para la inoculación de hongos	45
Figura 3. Banco de micorrizas para la multiplicación de inóculos endomicorrizales	46
Figura 4. Vista general del terreno antes de realizar el experimento	47
Figura 5. Diseño del experimento en bloques completos al azar con tres repeticiones	49
Figura 6. Preparación del compost. Materiales iniciales (mezcla)	51
Figura 7. Preparación del compost. Formación de la pila	53
Figura 8. Preparación del compost. Etapa termofila	54
Figura 9. Tamizado del compost	55
Figura 10. Vacunación de la materia orgánica con hongos (lado izquierdo) y con bacterias (lado derecho)	56
Figura 11. Esquema de los puntos de muestreo para el análisis	59
Figura 12. Plano de campo	61
Figura 13. Estado del cultivo después del primer mes	65
Figura 14. Estado del cultivo después del primer mes	65
Figura 15. Estado del cultivo después del primer mes	66
Figura 16. Enfermedades de la planta. Pudrición radicular	90
Figura 17. a) Plaga del maíz, cogollero del maíz, acción sobre la planta (derecha) b) plaga de frijol, acción sobre la planta.	91

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Métodos analíticos químicos estandarizados en el laboratorio de suelos de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural de Santander	116
Anexo B. Métodos analíticos microbiológicos estandarizados en el laboratorio de microbiología y biotecnología molecular CINBIN	117
Anexo C. Consideraciones generales para la interpretación de análisis de suelos del instituto geográfico Agustín Codazzi	118

RESUMEN

TITULO: RECUPERACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE UN SUELO DEGRADADO, MEDIANTE EL USO DE COMPOST TIPO BIORREMEDIACIÓN EN CAFÉ MADRID, SANTANDER.*

AUTORES: Andrés Mauricio García Delgado y Johanna Alexandra Gómez Santos.**

PALABRAS CLAVES: Recuperación, suelos, degradación, compost, bioremediación.

DESCRIPCION

Este trabajo de tesis pretende ampliar el conocimiento sobre las condiciones de operación que deben aplicarse en un proceso de recuperación de suelos degradados. La necesidad de implementar y evaluar modelos más sostenibles apropiados y apropiables por los agricultores, para enfrentar con decisiones concretas el problema de la degradación de suelos y la contaminación ambiental condujeron a la realización de este trabajo. Se aplicó la técnica de bioremediación "in situ" en condiciones de un suelo de Santander que se encontró parcialmente contaminado por residuos de hidrocarburos, no solo por considerar que era viable en lo técnico y económico, sino también porque ofrece ventajas en el campo ambiental. Con este fin se evaluaron las bondades de los abonos tipo bioremediación variando las dosis de compost, el tipo de microorganismos inoculados, el refuerzo con fertilizante químico y utilizando para esto un cultivo intercalado de maíz y frijol. que sirvió como indicador de los cambios en las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo. Los resultados obtenidos aunque no permitieron sacar conclusiones definitivas, ni esbozar un modelo de comportamiento del suelo a la aplicación de este compost, señalaron que aunque no se alcanzó a influenciar representativamente el contenido nutricional, se dieron cambios positivos en algunos de ellos. Además, que la aplicación de 2500 Kg/ha de compost inoculado con hongos y actinomicetos o con bacterias y actinomicetos y en ambos casos suplementada esta aplicación con 250 Kg/ha de fertilizante químico, ocasionaron en frijol y maíz, el mejor rendimiento de grano. Con este tratamiento se mejoró la rentabilidad económica que domino a los demás tratamientos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ciencias. Escuela de Química. Director de proyecto: Luz Alba Luna Geller

ABSTRACT

TITLE: RECOVERY OF THE PHYSICAL, CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF A DEGRADED SOIL, BY USING BIOREMEDIATION TYPE COMPOST IN CAFÉ MADRID, SANTANDER.*

AUTHORS: Andres Mauricio Thin Garcia and Johanna Alexandra Gómez Santos.**

KEYWORDS: Recovery, soils, degradation, compost, bioremediation.

DESCRIPTION

This thesis project seeks to enlarge our knowledge on the operation conditions that should be applied in a degraded-soil recovery process. The need to implement and to evaluate sustainable models to face the problems of soil degradation and environmental pollution with concrete decisions was what motivated us to conduct this research. The bioremediation "in situ" technique was applied to a soil in Santander which was found partially polluted by hydrocarbon residua, not only because it was considered economically and technically viable but because it was considered to be more advantageous from an environmental point of view. To this end, the advantages of the bioremediation-type compost were evaluated by varying the compost doses, type of inoculated organisms and chemical fertilizer reinforcement on an intercalated harvest of corn and bean which was used as an indicator on the physical, chemical and microbiological properties of the soil. Although results do not permit to make any definitive conclusions neither to outline a soil-response model to the application of compost, they indicate positive changes in some of the soils. Furthermore, the application of 2500 Kg/ha of mushrooms and actinomices or bacteria and actinomices in both cases supplemented with 250 Kg/ha of chemical fertilizer yielded the best efficiency in corn and bean grain production. This procedure improves the economical profitability which dominates aver the other applied procedures.

* Degree Work

** Faculty of Sciences - Chemistry School- Adviser Luz Alba Luna Geller

INTRODUCCIÓN

La permanente y progresiva degradación del suelo, entendida como la alteración de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, son el resultado del uso indebido que del mismo ha venido haciendo el hombre no sólo con las actividades agrícolas que desarrolla, sino también a través del crecimiento de la industria y el inadecuado manejo de los residuos tanto de origen orgánico como inorgánico, los cuales se convierten adicionalmente en focos de contaminación, ya sea con microorganismos patógenos o tóxicos en general, con consecuencias graves en la sostenibilidad del recurso natural y medio ambiente. Esta situación ha sido motivo de preocupación de productores, gobernantes, científicos y la comunidad en general, quiénes han venido planteando alternativas de solución, debido principalmente al riesgo que un suelo contaminado puede suponer para la salud humana y para el correcto funcionamiento de los ecosistemas, pero infortunadamente, mientras se continúe implementando prácticas agrícolas con uso de agroquímicos o los mismos residuos orgánicos sean inadecuadamente procesados y las industrias no manejen eficientemente los residuos, difícilmente se podrá superar la situación planteada y el problema descrito continuará vigente.

La recuperación y conservación de las condiciones naturales del suelo y del medio ambiente, son el reto que hoy es necesario afrontar, si se pretende el establecimiento de una agricultura verdaderamente sostenible, que garantice la obtención de la materia prima que requiere el hombre no sólo para su sustento, sino para el mantenimiento de la misma industria; para ello existen varias técnicas de descontaminación desde tratamiento químico, electroquímico, térmico y biológico, siendo

éste último proceso de biorremediación mediante la utilización de abonos orgánicos y a través de ellos la introducción de microorganismos ya sean bacterias (Pseudomonas, Bacillus, Azotobacter, Azospirillum, Nitrobacter entre otras), hongos (Trichoderma, Penicillium, hongos micorrizicos, etc) y actinomicetos del género Streptomyces para sólo mencionar algunos, una alternativa posible, que no solo contribuye con la reducción de los niveles de contaminación, sino que también provee acondicionamiento al suelo y nutrientes para los vegetales, pero desafortunadamente su práctica es poco común siendo uno de los motivos el escaso conocimiento y difusión que sobre su uso existe.

Las razones anteriores motivaron la realización del presente estudio y evaluación “in situ” de ésta técnica de biorremediación, en condiciones de un suelo de Santander que se encontró contaminado por residuos de hidrocarburos, por considerar que no sólo es viable en lo técnico y económico, sino que ofrece posibilidades bastante prometedoras en el campo ambiental, donde radica quizá una de las mayores preocupaciones que hoy asiste al mundo entero. Se espera que la implementación de ésta técnica contribuya a modificar de manera positiva principalmente la población de microorganismos benéficos, los cuales contribuirán a mejorar las condiciones físicas, químicas y microbiológicas del suelo y con ellas la vida natural en general y su productividad.

1. MARCO TEORICO

1.1 DEGRADACIÓN DE SUELO

Por degradación del suelo se entiende la pérdida parcial o total de productividad de los mismos, cuantitativa o cualitativamente, o en ambas formas, como consecuencia de procesos tales como la erosión hidráulica y eólica de los suelos, la salinización, el anegamiento, el agotamiento de los nutrientes, el deterioro de la estructura de los suelos, la desertificación y la contaminación.

1.1.1 Tipos de degradación de los suelos.

· Degradación de la fertilidad. Es la disminución de la capacidad de los suelos para soportar vida. Se producen modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas que conllevan a su deterioro. Al degradarse el suelo pierde su capacidad de producción y cada vez hay que añadirle más cantidad de abonos para producir siempre muy inferiores rendimientos a los que obtendría el suelo si no estuviera en proceso de degradación.

Puede tratarse de una degradación química, que se puede deber a varias causas: pérdida de nutrientes, acidificación, salinización, 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, aumento de la densidad aparente, 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. Si el agente es el agua se habla de erosión hídrica y para el viento se denomina erosión eólica. El concepto de erosión del suelo se refiere a la erosión antrópica, que es de rápido desarrollo; está además la erosión natural o geológica, de evolución muy lenta. La erosión geológica se ha desarrollado desde siempre en la tierra, es la responsable del modelado de los continentes y sus efectos se compensan en el suelo, ya que actúan con la suficiente lentitud como para que sus consecuencias sean contrarrestadas por la velocidad de formación del suelo.

· **Contaminación.** Un suelo contaminado es aquel que ha superado su capacidad de amortiguación para una o varias sustancias, y como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser causa de problemas para el agua, la atmósfera y los organismos. Al mismo tiempo se modifican sus equilibrios biogeoquímicos y aparecen cantidades anómalas de determinados componentes que originan modificaciones importantes en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

La contaminación 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. (Vesga y Mendoza, 1999).

1.1.2 Consecuencias de la degradación del suelo. La pérdida de elementos como lo son el sodio, potasio, azufre, fósforo, calcio y otros de vital importancia para la agricultura, es una de las consecuencias más notorias en un suelo degradado; esta pérdida se puede dar por diferentes razones; de manera directa, bien al ser eliminados por las aguas que se infiltran en el suelo o bien por erosión a través de las aguas de escorrentía, o de una forma indirecta, por erosión de los materiales que los contienen o que podrían fijarlos.

Así mismo la modificación de las propiedades fisicoquímicas, como lo es la acidificación, desbasificación y bloqueo de los oligoelementos que quedan en posición no disponible, es otro de los problemas que se ven a menudo cuando un suelo empieza a perder su capacidad de producción agrícola. Otro factor importante es el deterioro de la estructura por la compactación del suelo debida una disminución de la porosidad, que origina una reducción del drenaje y una pérdida de la estabilidad y como consecuencia se produce un encostramiento superficial y por tanto aumenta la escorrentía; ocurre disminución de la capacidad de retención de agua, esta disminución también se presenta debido a pérdida de suelos, esto puede además producir erosión selectiva o parcial de los constituyentes más lábiles como lo son los limos; dentro de estas pérdidas física de materiales puede ocurrir disminución de la capa superficial del suelo, o en los casos mas extremos la totalidad de este; todo esto conlleva que al modificarse las propiedades del suelo se produzca una liberación de sustancias nocivas.

En definitiva, se produce un empeoramiento de las propiedades del suelo y una disminución de la masa del mismo. Estos efectos tienen dos consecuencias generales: a corto plazo, disminución de la

producción y aumentos de los gastos de explotación, cada vez el suelo necesita mayor cantidad de abonos y cada vez produce menos; a largo plazo, infertilidad total, abandono y desertización del territorio.

1.1.3 Contaminación del suelo e impacto ambiental. El conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo lo hacen un sistema clave, especialmente importante en los ciclos biogeoquímicos superficiales, en los que actúa como un reactor complejo, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento, etc. Por todo ello el suelo actúa como barrera protectora de otros medios más sensibles, como los hidrológicos y los biológicos. La mayoría de los suelos presentan una elevada capacidad de depuración. Esta capacidad de depuración tiene un límite diferente para cada situación y para cada suelo. Cuando se alcanza ese límite el suelo deja de ser eficaz e incluso puede funcionar como una fuente de sustancias peligrosas para los organismos que viven en él o de otros medios relacionados (Vesga y Mendoza, 1999).

1.2 AGRICULTURA ECOLÓGICA Y MEJORAMIENTO AMBIENTAL

Si consideramos los sistemas productivos, vemos que cualquier sistema consta de insumos, procesos biológicos y pérdidas netas. Entre los insumos están: fertilizantes y pesticidas; entre las pérdidas, hay materia orgánica, minerales, reservas del acuífero, calidad del agua, suelo por erosión y energía derivada de combustibles fósiles. Entonces si el sistema productivo no es manejado adecuadamente, puede haber en mayor o menor grado toda una serie de pérdidas; sin embargo, hay procesos biológicos que ayudan a evitar todo esto, por ejemplo: fijación biológica de nitrógeno, el genotipo de cultivo, las condiciones ambientales y la resistencia a las plagas y enfermedades, que son

sumamente importantes. De hecho, lo que se intenta al hablar de bioagricultura, es no solo reducir el uso de agroquímicos, sino darles su lugar a los organismos benéficos.

En el ecosistema natural se tiene que todo es proceso biológico, o sea que no hay insumos externos, todo se recicla de manera que el ecosistema natural es un conjunto de interacciones casi imperceptibles.

En estos momentos, los conceptos respecto de lo que es el paquete tecnológico sobre la agricultura biológica no está bien definido. Grosso modo, aclarando algunos conceptos básicos:

- **Agricultura sostenible:** puede definirse como el conjunto de prácticas agrícolas que garantizan una productividad sostenida a largo plazo, ecológicamente equilibrada y económicamente sustentable.
- **Agricultura regenerativa:** propone el restablecimiento y la productividad de los agroecosistemas perturbados o degradados, y la activación con fines de producción de cultivos en ambientes adversos o de bajo desarrollo.
- **Agricultura alternativa:** propone la reducción de costos de producción, el manejo prudente de productos e insumos químicos y sintéticos, conjuntamente, con el manejo de productos orgánicos, la protección del medio ambiente y la salud humana.
- **Agricultura biológica:** propone aprovechar al máximo los recursos naturales del biosistema en el cual se ubica y se desarrolla la producción agrícola, o sea, la utilización y el manejo de reservas vivas de la naturaleza que permitan altos rendimientos y cosechas naturales

sanas y económicamente rentables, valiéndose de la conservación y aumento de la fertilidad del suelo a largo plazo.

Si no se mejoran las características o propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, no se podría pensar en la agricultura biológica. La agricultura convencional o la química solo se preocupó por las propiedades químicas, sin tener en cuenta a las demás. Para obtener resultados en agricultura biológica, se tiene que pensar en el aumento de la fertilidad de los suelos, en el control de la erosión, que es el primer factor que acaba con los suelos.

Cuando se encuentran suelos muy degradados, lo primero que hay que hacer desde la agricultura biológica son aplicaciones de materia orgánica para mejorar sus propiedades; en este caso se mejoran todas las propiedades tanto físicas como químicas y biológicas. Así, la agricultura biológica no es volver a lo tradicional, es rescatar de lo tradicional lo que es bueno y aplicar lo que se conoce ya con la ciencia.

De manera, que lo que se intenta hacer es una agricultura sostenible. La agricultura sostenible tiene tres condiciones importantes o básicas: aquella que puede perdurar por tiempo indefinidos, por esto resulta claro que la agricultura intensiva o industrializada no encaja, porque estábamos en un periodo temporal de alta productividad y no podemos cambiar de súbito consecuencias sumamente desfavorables para el entorno. Luego viene el beneficio para la humanidad, pero una de las modalidades de la agricultura conservacionista todavía no encaja en esto, porque la agricultura orgánica cuida el entorno, pero debe ser manejada cuidadosamente, porque también pueden haber erosión; el manejo entonces es bien importante, pero como se practica ahora no hay producción suficiente para alimentar a toda la humanidad.

Desde el punto de vista económico la bioagricultura es muy aceptada; diferentes autores dicen que aunque la producción agrícola bajo el sistema orgánico, biológico natural, puede ser más baja que mediante el uso de sistemas convencionales, los costos de producción también son más reducidos, por lo que el ingreso neto del productor llega a ser equivalente. Hay un punto importante para nuestros países, la producción orgánica es muy importante, y lleva gran cantidad de mano de obra que nosotros tenemos (UPTC y BIOMA, 1995).

1.3 MICROORGANISMOS DE IMPORTANCIA EN EL SUELO Y FACTORES QUE LO AFECTAN

1.3.1 Microflora del suelo. El edafón es parte esencial e integral del suelo; entre la microflora del suelo, se presentan bacterias autotróficas y heterotróficas, aerobios y anaerobios, actinomicetos, hongos y en condiciones inundadas, también algunas algas.

Las bacterias ocupan, generalmente, según el número de individuos el primer lugar, y según el peso de su masa total están en equilibrio con los hongos (Hanke, 1995). La mayoría de las bacterias del suelo son heterótrofas, aerobias y mesófilas. Algunas bacterias producen endosporas y quistes latentes que les proporcionan resistencia a las variaciones de temperatura, los niveles extremos de pH y a la desecación del suelo. Así les permite crecer de nuevo cuando encuentran condiciones favorables. Otras se protegen de la depredación y de la desecación emitiendo una cápsula de sustancias mucoides. Otras se desplazan en la solución del suelo mediante un flagelo para encontrar más fácilmente el sustrato alimenticio. Su capacidad de multiplicación les permite crear poblaciones muy grandes en un tiempo muy corto, colonizando rápidamente los sustratos a

degradar. La clase y abundancia de bacterias presentes en una fracción de suelo dependen de los sustratos que la compongan y de sus condiciones. Los grupos bacterianos que actúan primero sobre los sustratos disponibles son dominantes hasta que termina su acción y luego dan oportunidad a que otros grupos crezcan en el residuo del metabolismo de los primeros. Por lo tanto hay grupos bacterianos que permanecen y otros que entran en latencia hasta que encuentran condiciones favorables para su crecimiento. Entre los géneros bacterianos más importantes agrícolamente por la degradación de los compuestos orgánicos e inorgánicos y por lo tanto que favorecen la nutrición de las plantas están: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, *Clostridium*, *Thiobacillus*, *Lactobacillus*, *Rhizobium*, *Acromobacter*, *Micrococcus*, *Flavobacterio* y *Nitrosomas* (Burgos, 2003).

Los actinomicetos ocupan según su número, generalmente, el segundo lugar (Hanke, 1995). Crecen a manera de micelio radial, forman conidias como los hongos pero las características morfológicas de sus células son similares a las de las bacterias. Se nutren de materiales orgánicos. Degradan desde azúcares simples, proteínas, ácidos orgánicos hasta sustratos muy complejos compuestos por hemicelulosas, ligninas, quitinas y parafinas. En suelos bien aireados con alto contenido de materia orgánica alcanzan poblaciones muy altas. Constituyen del 10 al 50% de la comunidad microbiana del suelo. Se reproducen por conidias y estas son resistentes a condiciones difíciles de temperatura, acidez y humedad. Esto les permite germinar cuando se restablecen las condiciones favorables para su desarrollo. Los géneros de actinomicetos del suelo más importantes para la nutrición de las plantas son: *Streptomyces*, *Nocardia*, *Micromonospora*, *Thermoactinomicetes*, *Frankia* y *Actinomicetes* (Burgos, 2003).

Los hongos demuestran predominancia en lugares secos. Representan una importante fase del comportamiento de los microorganismos en el suelo pues son los que se manifiestan primero dentro de los procesos de transformación de materiales orgánicos. Forman redes y generan enzimas y metabolitos que ablandan materiales muy duros, como las celulosas y las ligninas presentes en materiales orgánicos de origen vegetal. A su vez, las raicillas y los micelios de los hongos ayudan a conservar los agregados, e igual ocurre con los exudados gelatinosos segregados por las plantas y muchos otros organismos. Los hongos de mayor importancia asociados al suelo y a las plantas son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus* y *Trichoderma*. El *Aspergillus* y el *Penicillium* movilizan el fósforo y el nitrógeno del suelo. El *Trichoderma* es antagónico de muchos fitopatógenos y ayuda a ablandar materiales orgánicos vegetales. Existen algunas levaduras que producen alcoholes que son utilizados por otros microorganismos como fuentes de energía. Entre las más importantes están el *Saccharomyces* y el *Rhodotorula* (Burgos, 2003).

1.3.2 Factores determinantes de la vida del suelo.

§ El clima. El hecho de que el clima produzca efectos selectivos sobre la composición de la vida por encima del suelo, nos es a todos bien conocido. Pero también dentro del suelo tiene efectos selectivos; así cambian también las especies y razas de los organismos del suelo, aunque las diferencias morfológicas a veces no sean notorias.

· La temperatura. Según la adaptación a diferentes temperaturas, se distinguen entre microbios sicrófilos que viven en temperaturas mínimas de entre 0 y 10°C, microbios mesófilos con un óptimo de vida entre 25 y 35°C y un máximo de 35-45°C. A esta última categoría

pertenecen la mayoría de las bacterias del suelo. Así mismo, finalmente, distinguimos microbios termofilos que necesitan un mínimo de temperatura de entre 25-45°C y tienen su óptimo entre 50-65°C, su máximo se marca entre 75-80°C.

- La luz como factor de crecimiento entre los microbios. En general, la luz no tiene tanta importancia para los microorganismos como para las plantas mayores, porque no ejercen la fotosíntesis con excepción de las algas verdes, sino la quimosíntesis, o sacan la energía de la materia orgánica. La luz que las influencia es el infrarrojo, que influyen sobre la formación de color y las ondas ultravioleta que influyen sobre la formación de esporangios de colores. Por ejemplo Trichoderma aumenta considerablemente con mayor intensidad de la luz.

- La influencia del viento y de las precipitaciones. El viento tiene su mayor influencia sobre la humedad del suelo, pero también aumenta la erosión en terrenos poco cubiertos por la vegetación. Las precipitaciones aumentan la humedad del suelo y así la cantidad de bacterias, mientras que con menor humedad se aumentan los hongos. La mayor intensidad de lluvias sobre terrenos de escasa cobertura, causa aumentos nefastos en la erosión.

§ Los factores edáficos sobre el edafón.

- La densidad del suelo, el volumen de poros y la aireación. La densidad del suelo restringe enormemente las condiciones de la vida del mismo, sea por falta de penetración del agua, o por falta de circulación del aire, su enriquecimiento en gas carbónico y su empobrecimiento en oxígeno. Entonces, se crean condiciones anaeróbicas que al mismo tiempo aumentan la acidez del suelo,

descomponiéndose la materia orgánica completamente hasta ácidos orgánicos libres. Las bacterias nitrificantes desaparecen por completo.

Los microorganismos anaeróbicos son frecuentemente muy sensibles al acceso libre de oxígeno, pero ocurre sólo en condiciones aisladas de laboratorio, mientras que en suelos aeróbicos y anaeróbicos se encuentran viviendo, aunque en cantidad diferentes en el mismo medio. Se asume que los anaeróbicos destruyen productos del metabolismo venenoso para los aeróbicos, por ejemplo, los Azotobacteres destruyen los peróxidos que perjudican al *Clostridium pasteurianum*, así que éstos pueden vivir en un ambiente aeróbico en biocenosis. Todavía más importante, es el potencial rédox del ambiente. Cada organismo se adapta en su metabolismo a un potencial determinado. Al añadir una sustancia de alto potencial reductivo, se cambian condiciones aeróbicas por anaeróbicas, a pesar del libre acceso del oxígeno.

El dióxido de carbono es indispensable para los seres autótrofos si trabajan por fotosíntesis o quimosíntesis; en la quimosíntesis, se reduce el CO₂ por la energía que se gana, por la oxidación de compuestos inorgánicos y orgánicos por medio de oxígeno libre. Donadores del hidrógeno son hidrógeno libre, ácido sulfhídrico, amoníaco, compuestos bivalentes de hierro o de magnesio y compuestos orgánicos. El dióxido de carbono también es necesario para la vida de los organismos heterótrofos, regulando su turgencia y para el proceso de la carboxilación.

· La retención de agua, el drenaje y el pH. En suelos con agua libre abundan las bacterias, en suelos más secos aumentan los hongos y los actinomicetos ocupan un lugar intermedio. En suelos muy húmedos, se

presenta solo la microfauna porque la meso y macrofauna necesitan de oxígeno para su respiración.

La reacción del suelo tiene un efecto selectivo sobre la flora y la fauna del mismo. En general viven bacterias, cianofíceas y diatomeas preferentemente, en suelos poco ácidos, mientras que hongos y chlorophyceas, prefieren un medio ácido. Los actinomicetos ocupan un lugar intermedio; sin embargo, en todas las especies se presentan excepciones. Un factor limitante en suelos ácidos, puede presentarse por la fijación de ciertos nutrientes como el fósforo y de ciertos microelementos, además por la falta de dióxido de carbono.

El pH del suelo no es constante y puede ser influenciado por los microorganismos como también por las plantas mayores. Al consumirse los nitratos o lixiviarse suben los valores de pH, porque los cationes del calcio, sodio y potasio quedan en la solución del suelo y por hidrólisis, liberan OH⁻ que causa este fenómeno. Al contrario la asimilación de iones de amonio baja el pH, porque la acumulación relativa de aniones libera iones de hidrógeno. En la oxidación de los sulfuros y del azufre, baja el pH fuertemente, al formarse ácido sulfúrico, también la nitrificación tiene este efecto (todos estos procesos son microbiológicos).

Por cambiar el pH del suelo, tenemos la posibilidad de influenciar la composición microbial del suelo. Al agregar cal al suelo ácido, fomentamos la nitrificación y fijación de nitrógeno elemental. Fertilizantes fisiológicamente ácidos como el sulfato de amonio, el cloruro o sulfato de potasio, etc restringen la vida de ciertos microorganismos nocivos, como el *Streptomyces scabies*, el causante de la sarna de la papa y se elimina a valores de pH por debajo de 5. La

fauna del suelo es, generalmente, afectada indirectamente en el cambio de la reacción del suelo, porque no encuentra o al revés, la alimentación adecuada.

· El contenido de nutrientes en el suelo. Para el mantenimiento de su metabolismo a fin de construir o reconstruir su propia sustancia, o para efectuar los procesos vitales que consumen energía, los organismos en el suelo deben asimilar tales sustancias, de las que se componen y de las que pueden sacar las energías. El suelo como fuente de carbono, sirve para la mayoría de la sustancia orgánica muerta o viva, en otras palabras, para la mayoría de los organismos del suelo heterótrofos, lo que quiere decir que están capacitados para descomponer cierta materia orgánica. Dependiendo de la clase de enzimas intra o extracelulares que posea el microorganismo será capaz de descomponer ciertos compuestos.

La secuencia en la cual trabajan los microorganismos en la tierra es en general la siguiente: actinomicetos, bacterias y mucoraceos consumen primero las sustancias hidrosolubles. Después, descomponen bacterias especiales y actinomicetos a la celulosa. Y por fin, atacan basidiomicetos a la lignina. En general, se encuentran más microorganismos en pastos y potreros, que en cultivos anuales, por el constante suministro de raíces muertas.

En nitrógeno, las fuentes minerales son las mismas que para los cultivos, con excepción de los azoorganismos, pero además tienen las disposiciones de las fuentes orgánicas. El nitrógeno elemental lo usan para su alimentación los azoorganismos, estos reducen el nitrógeno hacia grupos amino y por transaminación, forman todos los aminoácidos necesarios.

La disposición de los fosfatos es para los microorganismos mayor que para los cultivos, porque su producción de ácidos orgánicos en el desdoblamiento de los residuos orgánicos, disuelve fuentes menos solubles inorgánicas y orgánicas. El calcio en general, no es un nutriente para los microorganismos, con excepción de *Azotobacter*, *Nitrosomas* y *Rhizobium*, presenta efectos antagónicos contra la toxicidad del magnesio, aunque el mismo efecto tenga también el estroncio. A causa de la neutralización de la acidez del suelo, este elemento es de importancia vital para las bacterias. El magnesio se necesita solo como microelementos con excepción de los organismos verdes; en los otros, tiene importancia en enzimas, además, en concentraciones altas es un veneno. El azufre es para todos los microorganismos un elemento secundario, así como para los cultivos. El sodio sólo es necesario para unas halofitas, como por ejemplo unas bacterias fosforescentes. Muchas otras bacterias tolerantes contra sales sodicas, soportan concentraciones hasta 30% de NaCl. Entre los microelementos, el hierro, el zinc y el cobalto, son esenciales para todos los microorganismos.

El cobre es necesario en *Aspergillus niger* y en *Azotobacter chroococcum*, para la formación de las melaninas, y en los hongos depende de la oxidación de compuestos de magnesio de este elemento. El manganeso fomenta la vida de unos microorganismos y la formación de sus esporas. Puede reemplazar al hierro con unas enzimas o en *Azotobacter chroococcum*, también al magnesio. El molibdeno es indispensable para la asimilación del nitrógeno elemental por las azotobacterias, y tiene la importancia en la asimilación de los nitratos en los otros microorganismos. El cloro aparece, como anión en la solución interna de los microorganismos y es constituyente de unos antibióticos producidos por actinomicetos y hongos.

§ **Los factores geográficos.** Los factores como la latitud, la altura, la inclinación del terreno y su relieve, así como su exposición al sol, tienen solo una influencia indirecta sobre otros factores como la temperatura, la retención de agua y la erosión, aunque esa influencia es de suma importancia.

§ **La asociación biológica.** La cobertura del suelo tiene una influencia importante sobre la composición y la cantidad de los organismos del mismo, sea por la cantidad anual de residuos, sea por la mejor penetración y retención del agua, o sea por las menores oscilaciones de la temperatura (protección contra el viento y efectos de la sombra). Generalmente, contienen los suelos por debajo de pastos, la mayor cantidad de microorganismos, les siguen los bosques y la menor tienen los agros, con cultivos anuales.

§ **Factores antropógenos.** Las medidas explotables agrícolas, industriales y de ingeniería sin consideraciones ecológicas, llevan generalmente a una destrucción de la fertilidad y la productividad de los suelos. Así, conducen a la deforestación, a la polución ambiental, a la construcción de infraestructuras sin estudios preliminares ecológicos, y al uso indiscriminado de agroquímicos, devastando regiones en su totalidad. La reforestación, la adecuación de tierras con estudios ecológicos anteriores, las medidas de la conservación del suelo, el uso adecuado de riego y drenaje, así como de la maquinaria agrícola y especialmente la aplicación de abonos orgánicos, aumentan la fertilidad del suelo y aumentan su producción.

1.3.3 Influencia de la planta en la flora microbiana. La planta tiene una función más importante que el suelo, en la composición microbiana del

medio ambiente determinada por medio de la composición de sus excreciones por la raíz y los constituyentes químicos de sus tejidos.

Las especies vegetales a menudo establecen microfloras algo diferentes. Estas diferencias se atribuyen a variaciones en los hábitos de enraizamiento, composición del tejido y productos de excreción del macroorganismo.

La edad de las plantas también afecta la flora microbiana y el estado de madurez controla la magnitud del efecto rizosfera y el grado de respuesta por microorganismos específicos. Una estimulación es detectable en plántulas muy jóvenes y en consecuencia parecería que los microorganismos están respondiendo a las excreciones de las raíces mas que a los tejidos muertos, en proceso de descomposición. Ya durante el desarrollo tardío el tejido muerto y descompuesto puede contribuir apreciablemente a la composición de la comunidad. Por otro lado, cerca del final de la estación de crecimiento, cuando las raíces están muriendo, los carbohidratos fácilmente aprovechables son metabolizados rápidamente y la abundancia microbiana disminuye. A su vez, la gran comunidad de la rizosfera desaparece gradualmente volviéndose indistinguible de la flora normal del suelo (Memorias II curso sobre biología del suelo, 1994).

1.4 LA IMPORTANCIA DEL EDAFÓN PARA LA AGRICULTURA

La intervención del edafón en muchos procesos del suelo, es de vital importancia. Parece difícil comprender que los suelos no son solo soportes físicos de las plantas. En general, prestamos poca atención a la actividad biológica que allí se desarrolla (Grant y Long, 1989).

A continuación se presenta un esquema comprimido de la actividad, de los procesos y funciones de la vida del suelo:

1.4.1 Transformación de la materia orgánica y mineral. La macro y mesofauna tienen la capacidad de predescomponer residuos orgánicos, de esta forma se crea un medio ambiente favorable para los microorganismos. Por otro lado como consecuencia de la actividad de los microorganismos se produce la descomposición de la materia orgánica; gracias a esto, los ciclos de carbono, del nitrógeno, fósforo y azufre se conservan. Así mismo, estos contribuyen a la formación de sustancias humicas; y como consecuencia de esto, una mejor estructura del suelo y por ende mejor suministro de nutrientes. También, dentro de los productos del metabolismo de los microorganismos se encuentran compuestos como son ácidos orgánicos, compuestos reductores orgánicos e inorgánicos que ayudan a la meteorización química de los minerales.

Existen microorganismos especializados en la oxidación y reducción de metales pesados tales como hierro y manganeso que ayudan a equilibrar las concentraciones de estos metales en los suelos.

1.4.2 La formación de una buena estructura. Gracias al edafón fidente, principalmente lombrices, ocurre una formación de macroporos en el suelo, estos macroporos también pueden ser formados por el desprendimiento de gases especialmente dióxidos de carbono proveniente de la descomposición de la materia orgánica; su función, es el drenaje, la aireación y la creación de cavidades capilares, y así una mejor retención de agua y un aumento en la capacidad de intercambio cationico. Los mocos microbiales y las hifas de los hongos también contribuyen a la estabilización de la estructura.

1.4.3 El transporte de materias. El edafón fodente permite la incorporación en el suelo de residuos vegetales y animales; así como también el mezclar de la materia orgánica con minerales. La macro y mesofauna realiza una diseminación involuntaria de microorganismos, de esta forma los transporta de un lugar a otro, favoreciendo su propagación.

1.4.4 Efectos mutuos de asociaciones biológicas. Como consecuencia de las asociaciones biológicas que se dan en los suelos, se producen efectos tales como la influencia de los microorganismos en la nutrición de los cultivos, la mineralización de sustancias nutritivas de difícil descomposición de la materia orgánica y su aprovechamiento por otros organismos, la formación de sustancias asimilables para los cultivos, la producción de nitrógeno asimilable, por medio de los azoorganismos y con la ayuda indirecta, por creación de un medio adecuado para estos microorganismos, la influencia en el pH del suelo, y así en la solubilización de las sustancias nutritivas, pero también de otros microorganismos en la transformación en compuestos no asimilables, la formación de compuestos orgánicos por el metabolismo microbial, que hacen el fósforo o microelementos más asimilables, la influencia en el crecimiento de las plantas, por medio de la producción de fitohormonas, de vitaminas, de antibióticos y de quelatos, la creación de deficiencias temporales de sustancias nutritivas por el consumo de los microorganismos (inmovilización), la creación de condiciones anaeróbicas, por el consumo del oxígeno del suelo, que influyen en la reducción de elementos menores que pueden aparecer entonces, en cantidades tóxicas (UPTC y BIOMA, 1995).

1.4.5 La influencia mutua entre los seres. En la convivencia de los organismos, distinguimos entre el mutualismo, en que dos seres

diferentes se fomentan el uno al otro, la dependencia es unilateral, el indiferentismo y el antagonismo. En el mutualismo, conocemos las simbiosis, donde los dos seres se compenetran y establecen un mutualismo independiente. En el antagonismo, por otra parte, distinguimos entre el antagonismo ambiental, que no permite a ciertos seres desarrollarse en este ambiente y el parasitismo, que perjudica al otro ser directamente, por nutrirse de sustancias vivas del otro ser.

- La simbiosis. Una simbiosis muy conocida es la simbiosis entre los rizobios y las leguminosas. La fijación de nitrógeno ocurre por la asociación simbiótica que establece la planta con algunas bacterias de la familia Rhizobiaceae; estas bacterias infectan las raíces de las plantas e inducen la formación de nódulos radicales, en el interior de los cuales se realiza la fijación, con la intervención de la enzima nitrogenasa, localizada en el interior de los rizobios. Las bacterias le ceden el nitrógeno fijado a la planta y alanina y la planta a su vez le suministra al nódulo los carbohidratos que proveen la energía necesaria para el proceso de fijación.

Cuando la leguminosa inicia el crecimiento, en su rizosfera se crean condiciones favorables para la multiplicación de los rizobios. Generalmente, la infección ocurre por los pelos radicales, entonces los rizobios se multiplican sobre la superficie de la raíz y el pelo radical se curva; estos penetran a través de un hilo de infección, el hilo de infección crece dentro de la corteza de la raíz, lo cual permite que los rizobios penetren en las células corticales; luego, estas células junto con los rizobios, empiezan a multiplicarse para formar el nódulo. Además de la energía requerida para la formación y mantenimiento del nódulo, la actividad de fijación de nitrógeno también depende de un

suministro adecuado de carbohidratos por parte de la planta. El suministro de los carbohidratos varía con el ciclo de vida de la planta.

Durante la fase vegetativa, la actividad de fijación de nitrógeno alcanza un nivel máximo y luego declina al iniciarse la competencia por carbohidratos para la producción de semillas (Memorias II curso sobre biología del suelo, 1994)

Para que exista un buen funcionamiento de la simbiosis debe haber también una fertilización adecuada. Una fertilización con P, especialmente en el trópico donde la mayoría de los suelos se caracterizan por los inconvenientes para su liberación hacia la solución limitando inclusive más que a la simbiosis, al desarrollo de la planta misma, se ha demostrado que la deficiencia de P condiciona la respuesta a la inoculación.

Se ha creído que el N mineral del suelo cuando es extremadamente bajo puede influir también el grado de respuesta a la inoculación, este puede ser tan bajo que se supone que puede limitar el desarrollo normal de la planta en las primeras etapas, abortando la posibilidad de formar la simbiosis.

Otros elementos importantes son K, Ca, Mg, S y elementos menores como cobre, boro y cobalto según las necesidades, teniéndose presente que ellos son requeridos en los procesos de infección y funcionamiento de la simbiosis. El B, que fácilmente puede pasar de deficiencia a toxicidad, como también ocurre con el Mo, puede limitar el crecimientos de los nódulos, reducir el desarrollo del sistema vascular de estos e impedir la formación de bacteroides; también influye el

transporte de carbohidratos en la planta lo que afecta directamente el proceso de fijación al impedir el normal abastecimiento de la bacteria.

El molibdeno se supe con mínimas cantidades pero en muchos casos ha demostrado, especialmente en suelos ácidos que limitan la fijación de N. Suelos neutros o alcalinos también necesitaran posiblemente Fe, Zn y Mn, una fertilización con estos elementos sin N puede, por si sola, mejorar la actividad de las bacterias fijadoras de N e inclusive en el mercado de los fertilizantes existen presentaciones con este propósito (Orozco, 1999).

La micorriza es otra forma de simbiosis, esta es la asociación mutualista entre algunos hongos del suelo y la raíz de la mayoría de las plantas. La importancia de esta simbiosis en el desarrollo de las plantas se entiende al tener en cuenta que la raíz es el puente entre la planta y el suelo y que a su vez, el micelio del hongo micorrizógeno es el puente entre la raíz y el suelo. En consecuencia, la micorriza, como órgano de absorción y translocación de agua y nutrientes, es una de las más sobresalientes adaptaciones de la raíz para desenvolverse adecuadamente en el ambiente edáfico (Henry, 1999).

Dentro de los beneficios de los hongos formadores de micorrizas se encuentran: el mejoramiento de la absorción iónica y acumulación más eficiente y selectiva, especialmente en el caso del fósforo; la solubilización de minerales que se encuentran en el suelo, facilitando su absorción por las raíces de las plantas; incremento de la vida útil de las raíces absorbentes; las raíces micorrizadas persisten durante mayor tiempo que las raíces no micorrizadas; resistencia de raíces a infecciones causadas por hongos patógenos, tales como *Phytophthora.spp* *Pythium.spp*, *Fusarium.spp* y *Rhizoctonia.spp*,

especialmente en coníferas en época de lluvia; incremento de la tolerancia del árbol a las toxinas del suelo (orgánicas e inorgánicas), valores extremos de acidez del suelo y mayor resistencia a las sequías (IDEMA, 2003). También tienen un efecto positivo sobre el desarrollo y distribución de biomasa, influyen sobre la fotosíntesis de la planta hospedera, producen hormonas estimulantes o reguladoras de crecimiento vegetal, aportan en la recuperación de suelos por ser formadores de agregados y son usados como potencial en suelos degradados o áridos en programas de revegetación (Corredor, 2003).

Se ha subdividido a las micorrizas en dos clases: ectomicorrizas y micorrizas vesículo arbusculares, siendo esta última objeto de muchos estudios debido a los beneficios que aporta a la planta. Las micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) son raíces asociadas simbióticamente con ciertos hongos microscópicos del suelo. Los MVA se forman entre hongos de la familia Endogonaceae, orden Endogonales, clase Zigomicetos y raíces de plantas superiores. El hongo forma con la raíz un consorcio fisiológico caracterizado por la presencia de estructuras típicas en la epidermis de la misma: hifas, arbusculos y vesículas. Con certeza, solamente los géneros Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora, Glomus y Sclerocystis son formadoras de MVA. Estas micorrizas ocurren prácticamente en el 80% de las plantas vasculares.

Los hongos formadores de micorrizas y específicamente las micorrizas vesículo arbusculares establecen una interacción con otros microorganismos; por ejemplo, la fijación de nitrógeno por la asociación leguminosa-Rhizobium requiere aporte de P. En las leguminosas, la presencia de la MVA significa por una parte un soporte para la producción de fotosintatos y por otra, suplir la necesidad de P para la fijación de N. Otro ejemplo importante es que las poblaciones

de *Azotobacter* y *Azospirillum* se incrementan en presencia de MVA con un consecuente efecto positivo para las plantas. En cuanto a microorganismos que solubilizan fosfatos como *Pseudomonas*, *Agrobacterium*, *Bacillus circulans*, *Aspergillus Níger* y *Penicillium funiculosum* también se han registrado efectos positivos. Es probable que estas bacterias afecten el crecimiento de la planta y de la MVA a través de hormonas y síntesis de vitaminas (Memorias II curso de Biología de suelos, 1994).

· El mutualismo independiente. En la descomposición de la celulosa existe un mutualismo independiente, entre los descomponedores aeróbicos de la celulosa y las bacterias desnitrificantes anaeróbicas. Los descomponedores de la celulosa suministran a los desnitrificantes sustancias orgánicas que obtienen en la descomposición de la celulosa, mientras que aquellos les suministran el oxígeno, que obtienen en la descomposición de los nitratos.

Los descomponedores de la celulosa pueden vivir además en mutualismo con azotobacterias, suministrándoles compuestos simples orgánicos y recibiendo de estas, nitrógeno orgánico asimilable. De la misma manera, pueden fomentarse mutuamente las azotobacteria con algas verdes.

Bacterias, hongos y actinomicetos, viven en la rizósfera en mutualismo con las plantas mayores, que les suministran sustancias segregadas por las raíces y sus raíces muertas, mientras que los microorganismos suministran heterauxinas, aminoácidos, monosacáridos, triosas, vitaminas y antibióticos.

- **El antagonismo ambiental.** Presente en algunas plantas mayores por segregación de ciertas sustancias a unos microorganismos, mientras expulsan de su rizósfera a otros.
- **El parasitismo.** Se conocen bacterias y actinomicetos como ectoparásitos de hongos, que pueden destruirlos por completo. *Parasitela* y *Chetocladium* entre los mucoraceas, viven sobre seres de la misma familia, perforando su pared y aprovechándose parasítamente de ellos. De los hongos parásitos a los cultivos, muchos viven en un ciclo dentro de la tierra. Hay también hongos que producen enfermedades y muerte en los insectos, como el *Empusa muscae* en las moscas.
- **El autoequilibrio en el suelo.** Los hongos por su producción de acidez perjudican el desarrollo de bacterias, nematodos, oribatidios y lumbrícidos. Los oribátidos a su vez, comen hifas de los hongos y sus esporas, frenando así la acidificación. Arañas de la misma forma controlan a los colémbolos y oribátidos (Hanke, 1995).

1.4.6 Fijación Biológica de Nitrógeno. Aunque estemos rodeados por una atmósfera que contiene casi el 80 por ciento de nitrógeno, nutriente que, junto con el agua, es factor limitante para el crecimiento de las plantas, la mayoría de los seres vivos son incapaces de aprovecharlo en la forma en que se encuentra y sólo algunos organismos procarióticos pueden reducirlo a amonio, en un proceso conocido como fijación biológica de nitrógeno. Esta incorporación de nitrógeno a la biosfera ocurre gracias a la existencia en las bacterias fijadoras de la enzima nitrogenasa, capaz de realizar en las condiciones ambientales normales, una reacción química que requiere más de 800°C de temperatura y bastantes atmósferas de presión en el procedimiento

industrial Haber Bosch por el que se producen unos 70 millones de Tn de amonio al año; mientras que la cantidad global de nitrógeno fijado biológicamente es pura especulación, aunque se estima razonablemente que puede estar alrededor de unos 170 millones de Tn año (Olivares, 2003).

La actividad de tomar el N gaseoso del aire y ponerlo a disposición de plantas y organismos en forma combinada en el suelo fue conocida indirectamente en la antigüedad, incluso antes de Cristo, cuando se revelaron escritos de los romanos sobre el beneficio de las leguminosas y por los chinos sobre el cultivo y uso de la Azolla en arrozales.

En 1861 Pasteur descubrió la fermentación butírica en anaerobiosis estricta y planteó la posibilidad de fijación de N. En 1863 Winogradsky aisló del proceso de fermentación butírica el *Clostridium* y en honor a Pasteur le asignó a esta especie el nombre de *Clostridium pasteurianum*. A principios del siglo XX se habló directamente de la procedencia del N del aire y Bausingault hizo los primeros estudios sobre incorporación de N por leguminosas en rotación de cultivos.

En 1886, Helriegel y Wilfracth llamaron la atención sobre la importancia de los nódulos en la fijación simbiótica. En 1888, Beijerinck aisló por primera vez la bacteria denominándola *Bacillus radicola*, más tarde rebautizada como *Rhizobium*; y en 1900 descubrió la capacidad fijadora de N en anaerobiosis del *Clostridium*. En 1901 el mismo Beijerinck describió *Azotobacter* como bacteria fijadora de N en condiciones aeróbicas.

La inoculación con bacterias de *Rhizobium* al suelo o a las semillas la hizo por primera vez Voelcker en 1896, las bacterias fueron crecidas en agar y disueltas en agua. En 1920 Hambler recomendó la peletización de la semilla. La primera vez que se obtuvo artificialmente el nitrógeno del aire fue con motivo de la primera guerra mundial, luego se replicó el proceso para obtener el nitrógeno fertilizante. Este consintió en sustituir la acción de la enzima nitrogenasa, la cual es sintetizada solo por bacterias fijadoras, por alta presión y temperatura necesarios para romper el triple enlace que presenta la molécula de N en el aire, el hidrógeno para incorporar al N y formar el NH_3 se obtienen del gas metano (Orozco, 1999).

Los microorganismos que intervienen en la fijación son:

- **Microorganismos fijadores de nitrógeno no simbiótico.** Son la fuente primaria de suministro de nitrógeno a las plantas. Son fijadores del nitrógeno atmosférico algunas bacterias, actinomicetos y algas verde azules (cianofíceas) reducen el nitrógeno atmosférico a nitrógeno amoniacal y lo incorporan al suelo. Entre los géneros de bacterias aerobias nitro fijadoras están *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Derrxia*, *Azomonas* y *Oscillatoria*.

La mayor actividad de las nitro fijadoras se alcanza con una humedad adecuada en el suelo y con una fuente de carbono accesible como el material vegetal en descomposición. Por esto siempre están acompañadas por bacterias celulolíticas. Necesitan de alcoholes, azúcares o ácidos orgánicos que se los suministran otros microorganismos degradadores. El desarrollo de las nitro fijadoras se estimula con las exudaciones que emite la planta cuando se encuentra bien nutrida.

Las bacterias del género *Azotobacter* tienen movimiento y forman quistes cuando encuentran condiciones difíciles. Pueden fijar 40 kilogramos de nitrógeno por hectárea equivalente a 200 kilogramos de sulfato de amonio. Se han encontrado en suelos ácidos (5.5 de pH) y alcalinos, pero prefieren los neutros; las poblaciones comunes de estos en los suelos oscilan entre 10^3 y 10^4 células por gramo, aunque son más abundantes en suelos arenosos y cálidos y más bajos en suelos que tienen uso forestal. Las bacterias del género *Azospirillum* son móviles y crecen en suelos con pH cercanos a neutro. En gramíneas actúan muy bien *A. lipoferum* y *A. brasilense*. No solo están en la superficie de las raíces sino que las penetran e influyen en la nutrición de las plantas. Además producen sustancias promotoras del crecimiento vegetal.

Las bacterias nitro fijadoras también actúan en las hojas de las plantas. Se desarrollan poblaciones de las bacterias *Pseudomonas*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* y también del actinomiceto *Streptomyces*. A partir de las exudaciones foliares estas forman nódulos en las hojas para fijar el nitrógeno, degradan los materiales orgánicos que se depositan sobre ellas, producen enzimas de crecimiento para la planta y segregan antibióticos que protegen las hojas de los ataques de los fitopatógenos. Se han reportado fijaciones hasta de 100 kilogramos de nitrógeno por hectárea (Burgos, 2003).

· **Microorganismos nitro fijadores simbióticos.** Los *Rhizobium* son móviles en estados jóvenes y forman esporas cuando se encuentran en condiciones difíciles. Crecen entre 0 y 47 grados centígrados. El crecimiento óptimo entre 20 y 30 grados centígrados. El pH donde se desarrollan mejor está entre 4,5 y 7,5. Son aerobios aunque toleran escasez de oxígeno por un tiempo moderado. Hay una asociación entre

las rizobacterias y las nitro fijadoras no simbióticas como el *Azotobacter* que incrementan el suministro de nitrógeno a la planta. Además los microorganismos degradadores de fósforo y calcio contribuyen a la fijación del nitrógeno al suministrarle estos elementos que son importantes para el desarrollo de los rizobios y para que la planta al estar bien nutrida les suministre exudaciones importantes para los microorganismos (Burgos, 2003).

1.4.7 El dominio de la vida del suelo por la disposición técnica del hombre. Con el buen uso de maquinaria agrícola adecuada, por la suficiente aplicación de abonos orgánicos, por el uso del abono verde, por la corrección del pH, por el uso adecuado de los fertilizantes, por una buena rotación de cultivos, por la instalación de drenaje y por el dominio de la irrigación, tiene el hombre todas las posibilidades de influenciar favorablemente la vida del edafón del suelo, que le recompensa con una mejor producción agrícola. El éxito depende de la inteligencia del hombre para saber escoger que momento y que medidas son precisos para hacerse servir por el edafón. La agronomía por eso no es una “explotación” del suelo, sino que es “una ecología económica”, que saca provecho del equilibrio ecológico (Hanke, 1995).

1.4.8 Experiencias en bioremediación de suelos contaminados con microorganismos patógenos.

Harly (citado por UPTC y BIOMA, 1995), desarrolló en principios del siglo XX, las técnicas de la eliminación selectiva de patógenos por medio de vapor en suelo, es decir, que después de una larga etapa experimental, encontró que con ciertos requisitos podía eliminar patógenos, pero conservando lo que por muchos años se llamo factor biológico del suelo. Este factor biológico después de varias

investigaciones, ha venido esclareciéndose y se han llegado a identificar muchos de los organismos responsables. Tenemos por ejemplo el control biológico de una enfermedad en fríjol, vemos que la adición de melaza al suelo ayuda a la planta en el control de un hongo patógeno, porque la melaza favorece el desarrollo de organismos antagonistas de una serie de hongos que compiten con dicho hongo patógeno, el *Fusarium solani* y reduce los niveles de la enfermedad.

Otro de los ejemplos de la adición de materiales orgánicos, es el caso de col al suelo, toda la familia crucífera se caracteriza por este tipo de compuestos que controlan los nematodos, esto se pudo observar en el desarrollo radicular de plantas de tomate, en contraste con plantas a las cuales no se les adiciono la col (UPTC y BIOMA, 1995).

En cuba por ejemplo se uso la mosca *Lixophaga diatraeae* (Tachinidae) en casi todas las áreas de cultivo de caña de azúcar, para controlar al depredador de la caña (*Diatraea saccharalis*). A inicios de los años 80, se liberaron avispas parasitoides del género *Trichogramma*, para controlar plagas de lepidópteros (principalmente *Mocis latipes*) en pastos mejorados. Posteriormente, se utilizó *Trichogramma* para controlar *Heliothis spp.* en el tabaco y el tomate, así como también plagas de la yuca, entre otros cultivos.

Por otro lado en el cultivo de camote alimento básico en la dieta cubana, se liberaron hormigas depredadoras (*Pheidole megacephala*) para controlar el picudo del camote (*Cylas formicarius*); se logró una tasa de eficacia del 99%. Con ello, los costos de producción disminuyeron y hubo un incremento en los rendimientos, mayor que el obtenido con control químico. Como resultado, el Ministerio de

Agricultura eliminó todos los insecticidas químicos de las plantaciones de camote y, para utilizar otros plaguicidas químicos para el control de plagas en este cultivo, se debe obtener un permiso de esta entidad. Otras aplicaciones más recientes de control biológico en este país incluyen los insecticidas biológicos como *Bacillus thuringiensis* y *Beauveria bassiana*. El control biológico también ha sido empleado para controlar el picudo negro del plátano (*Cosmopolites sordidus*) utilizando *P. megacephala* y *Tetramorium guineense* (Rosset, 2002).

1.4.9 Experiencias en mejoramiento de suelos mediante tratamientos biológicos.

En Ayacucho Perú se evaluó la aplicación de hongos formadores de micorrizas y Azotobacter en maíz, buscando encontrar cual era el mejor método de inoculación de hongos y Azotobacter solos o en combinación en condiciones de campo con respecto al rendimiento de cosecha; para esto hicieron 6 tratamientos con 3 repeticiones cada uno utilizando: inoculación con hongos formadores de micorrizas adherido a las semillas, inoculación con hongos aplicados directamente al suelo, inoculación con hongos más Azotobacter adherido a las semillas, inoculación con hongos mas Azotobacter aplicados directamente al suelo, fertilización mineral y testigo sin inoculación, respectivamente. Encontraron que los tratamientos 1-4 superaron al testigo sin inoculación, destacando el tratamiento en el cual se usaron hongos directamente en el suelo, seguido por el que uso hongos adheridos a las semillas, el tratamiento de hongos más Azotobacter adherido a la semilla tuvo resultados similares al que tenia fertilización mineral y el tratamiento de hongos más Azotobacter aplicados directamente en el suelo tuvo resultados similares al del testigo (Esquivel, 1996).

En Perú en muchas universidades se realizó innumerable investigación a principios de los 80 y durante toda esta década en este campo, estudiaron el efecto de la inoculación de Azotobacter en diferentes variedades de maíz (Angulo, 1980), compararon el efecto del nitrógeno químico y biológico en cultivos de maíz con respecto al rendimiento en grano en Cajabamba y Cajamarca (Bazan, 1987), ensayaron densidades de siembra utilizando cuatro dosis de Azotobacter en maíz variedad canchero en Cajabamba (Chaupe y Segundo, 1988) y otra gran cantidad de estos, obteniendo muy buenos resultados. En cuanto a el frijol en este país también se realizó investigación enfocada a la efectividad de las cepas de Rhizobium en frijol de diferentes variedades y en distintas localidades de la zona evaluando su rendimiento en cosecha (Huaccha y Segundo, 1991), también se hizo un estudio similar en el valle de Cajamarca (Rodríguez y Roger, 1987).

En Cuba, donde se llevaba una agricultura netamente apegada a los principios de la revolución verde, donde se importaban más del 50% de los insumos y más del 80% de los plaguicidas y se dedicaba mucha de la tierra a la plantación de azúcar la cual era su principal producto de exportación a otros países socialistas de Europa y con el cual obtenían suficientes ganancias para importar muchos de los productos alimenticios y mayor variedad de ellos que los que se obtendrían si se produjeran dentro de la isla; tuvieron que cambiar su modelo primero por la conciencia que se ha ganado en cuanto a la imperiosa necesidad de transformar esas tecnologías agresivas que están afectando el medio natural como son el uso intensivo de fertilizantes, por otras más nobles y segundo por un problema netamente económico, que fue la destrucción del campo socialista en Europa oriental, que los privó de más del 80% del intercambio comercial y con ello de los insumos que adquirirían para la agricultura (UPTC y BIOMA, 1995). A principios de los

80, algunos científicos ecologistas comenzaron a estudiar alternativas no químicas y con esto se iniciaron acciones para restaurar la estructura y fertilidad del suelo por medio de la labranza de conservación, la nivelación del suelo, los cultivos de cobertura, la incorporación de biomasa y biosuelos (suelos preinoculados con microorganismos benéficos) que se agregan al campo antes de la siembra (Rosset, 2002).

También en este mismo país se esta produciendo un nuevo biofertilizante micorrízico conocido por Eco Mic, las características de este producto han permitido la elaboración de una tecnología para su utilización en los cultivos de siembra directa. Se ha estudiado el efecto beneficioso de su aplicación sobre las plantas el cual se expresa en la adaptación y rendimiento de estas y en la dosis de su aplicación, de un 10 por ciento del peso de la semilla que se va a plantar. Esto constituye una revolución en la agricultura ya que se trata de un medio biológico que por primera vez se puede llevar al campo de manera masiva (Dattari, 2003).

En México se esta utilizando un proceso denominado Earp-Thomas, el cual es un proceso de bioconversión rápida de las basuras sólidas domiciliarias en abonos orgánicos para la agricultura, los cuales han sido transferido con éxito del sector de estudios teóricos y de las experimentaciones de laboratorio al sector practico de la realización industrial sobre gran escala. En este proceso se produce un compost en tres fases: primero se hace una inoculación bacteriana para acelerar el proceso de descomposición de la materia orgánica, seguidamente agregan sustancias químicas que mejoran la cantidad de nutrientes según los requerimientos en formulas deseadas y por ultimo hacen una

segunda inoculación con microorganismos útiles al suelo que proliferan en medio del compostaje e intervienen en la transformación de los nutrientes asimilables por las plantas superiores tales como: Azotobacter, Beijerinck, Chroococcum, Vinlandi, Legume algas, Indicum, Clostridium Nitrosococcus, Nitrosomonas, Nitrobacter, Rhizobium, Meliloti, Trifoli, Medicargo, Giberellin, Vitaminas, Hormonas (Planta Industrializadota de desechos sólidos, 2003).

En Colombia, el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha realizado investigación con micorrizas vesículo arbusculares desde la década de los 80, evaluando su importancia agronómica en cultivos tropicales. En este centro realizaron trabajos de recolección de hongos nativos, aislando e identificado micorrizas originarias de varias localidades del país. Como resultado de estas investigaciones formaron un banco de germoplasma y algunas recomendaciones relacionadas con su biodiversidad potencial de uso en la agricultura (Corredor, 2003).

En agricultura ecológica también en Colombia existen ya algunas experiencias exitosas llevadas a cabo por ONGs (Fundación Agro-Biológica Colombiana en Ibagué o el CIPAV en el Valle del Cauca), aún no logran masificarse en razón de los bajos presupuestos asignados a la investigación y a la difusión de tales técnicas, que han demostrado ser muy efectivas, no solo en la conservación de suelos y aguas sino en mantener rendimientos vegetales altos y en disminuir el esfuerzo físico de las labores de cultivo (SICARD, 2003).

1.5 COMPOSTAJES

1.5.1 Historia. El compostaje era practicado en la Antigüedad; desde hace miles de años, los chinos han recogido y compostado todas las materias de sus jardines de sus campos y de sus casas, incluyendo materias fecales. En el Oriente Próximo, en las puertas de Jerusalén había lugares dispuestos para recoger las basuras urbanas: unos residuos se quemaban y con los otros se hacía compost. El descubrimiento, después de la Primera Guerra Mundial, de los abonos de síntesis populariza su utilización en la agricultura.

El desarrollo de la técnica de compostaje a gran escala tiene su origen en la India con las experiencias llevadas a cabo por el inglés Albert Howard desde 1905 a 1947. Su éxito consistió en combinar sus conocimientos científicos con los tradicionales de los campesinos. Su método, llamado método Indore, se basaba en fermentar una mezcla de desechos vegetales y excrementos animales, y humedecerla periódicamente. La palabra compost viene del latín componere, juntar; por lo tanto es la reunión de un conjunto de restos orgánicos que sufre un proceso de fermentación y da un producto de color marrón oscuro, es decir, que en él el proceso de fermentación está esencialmente finalizado. El abono resultante contiene materia orgánica así como nutrientes: nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, calcio y hierro, necesarios para la vida de las plantas.

Fue en el año 1925 cuando en Europa comenzó a estudiarse la posibilidad de descomponer a gran escala las basuras de las ciudades con la puesta en marcha del método indú Indore. En la ciudad holandesa de Hanmer se instaló en 1932 la primera planta de compost hecho con las basuras urbanas. A principios de la década de los 60,

había en Europa 37 plantas, dicho número aumentó considerablemente durante esta década, y a primeros de los 70 se llegó a 230 plantas, destacando el Estado Francés y el Estado Español. Sin embargo, a partir de mediados de los setenta la evolución se estancó y se cerraron numerosas plantas. Una de las causas de este estancamiento fue la deficiente calidad del compost producido (no se hacía separación previa en origen de la materia orgánica de los residuos sólidos urbanos) y el poco interés de los agricultores en utilizarlos. (Planta industrializadota de desechos sólidos, 2003)

1.5.2 Compost. Una característica fundamental de los composts es su utilización como enmiendas orgánicas, o sea, como mejoradores del contenido de materia orgánica de los suelos, cuya pérdida es la principal causa de la disminución de la fertilidad de los suelos productivos, de la erosión y como consecuencia, de la desertificación. (Mazzarino, 2000)

El compostaje es un proceso biológico aerobio, que bajo condiciones de aireación, humedad y temperaturas controladas y combinando bases mesófilas (temperatura y humedad medias) y termófilas (temperatura superior a 45°C), transforma los residuos orgánicos degradables, en un producto estable e higienizado, aplicable como abono o sustrato. Es decir, el compostaje es una técnica de estabilización y tratamiento de residuos orgánicos biodegradables; el calor generado durante el proceso va a destruir las bacterias patógenas, huevos de parásitos y muchas semillas de malas hierbas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado. También es considerado una técnica biológica de reciclaje de materia orgánica que al final de su evolución da humus, factor de estabilidad y fertilidad del suelo.

El compostaje es pues el resultado de una actividad biológica compleja, realizada en condiciones particulares; este no es, por tanto, un único proceso; es en realidad, la suma de una serie de procesos metabólicos complejos procedentes de la actividad integrada de un conjunto de microorganismos. Los cambios químicos y especies involucradas en el mismo varían de acuerdo a la composición del material que se quiere compostar.

1.5.3 Ventajas y Desventajas del uso y producción de compost. En el cuadro 1 se detallan los efectos mas destacados de la materia orgánica en los suelos.

Por otro lado, dentro de las desventajas que se le atribuyen al compost esta la de tipo económico ya que a la hora de producir un compost hay que tener en cuenta que este proceso supone una cierta inversión, ya que se necesitan una serie de equipos y a veces unas mínimas instalaciones, si bien es cierto que la mayoría de las operaciones del proceso se pueden realizar con maquinaria existente en cualquier granja. También encontramos ciertos problemas asociados a la disponibilidad del terreno, ya que dentro del proceso de compostaje hay que prever un terreno para almacenar los materiales de partida, otro para mantener los compost durante la fase de maduración y otro para almacenar los productos ya terminados, además del espacio dedicado al compostaje propiamente dicho.

Así mismo, se encuentran ciertas dificultades de tipo climatológico; si el clima es muy frío, el proceso se alarga debido a las bajas temperaturas, e incluso, a veces, se para, debido a la imposibilidad de hacer funcionar los equipos adecuadamente a causa de las heladas y

Cuadro 1. Efectos más destacados de la materia orgánica en los suelos cultivados (Negro, 2003)

Propiedades del suelo	Efectos de la materia orgánica humificada	
FÍSICAS	<p>Aumento de la capacidad calorífica Aumenta la capacidad de retención hídrica Reducción de las oscilaciones térmicas Da soltura a los arcillosos y cohesiona los arenosos Aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa Mejora el balance hídrico Reduce la erosión Reduce la evaporación</p>	<p>Agregación de las partículas elementales Aumenta la estabilidad estructural Facilita el drenaje Suelos menos encharcados</p>
QUÍMICAS	<p>Aumenta el poder tampón Aumenta la capacidad de cambio catiónico Forma fosfohumatos Mantiene las reservas de nitrógeno</p>	<p>Regula el pH Mantiene los cationes de forma cambiante Forma quelatos</p>
BIOLÓGICAS	<p>Favorece la respiración radicular Regula la actividad microbiana Modifica la actividad enzimática Favorece el estado sanitario de los órganos subterráneos Es fuente de energía para los microorganismos heterótrofos El CO₂ desprendido favorece la solubilización de compuestos minerales</p>	<p>Favorece la germinación de las semillas Mejora la nutrición mineral Activa la rizogénesis</p>

nevadas en países donde se tiene estaciones; las lluvias excesivas también pueden dar lugar a problemas de encharcamientos y anaerobiosis si no hay un buen drenaje y una inclinación adecuada del terreno. Las desventajas de tipo medioambiental se pueden evitar con una buena práctica a la hora de realizar el proceso y con una buena elección del terreno donde se van a almacenar, tanto los materiales iniciales como los compost en fase de maduración, ya que es en este periodo donde hay más peligro que las pérdidas de nitrógeno en forma de nitratos, contaminen las aguas subterráneas.

Otro inconveniente y el que más se ha querido hacer notar por aquellos seguidores de la agricultura convencional o revolución verde, es el del valor fertilizante. En general los compost tienen fama de que su contenido en nitrógeno es muy bajo, pero eso es sólo cierto si a lo largo del proceso ha habido pérdidas debido a una mala práctica. Por otra parte, las cantidades que hay que aplicar de compost son superiores a las que habría que aplicar cuando se usan fertilizantes químicos de síntesis, debido a que en un compost los nutrientes se encuentran en formas muy complejas que necesitan sufrir en el suelo un proceso de mineralización para ser asimilados por las plantas. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la aportación en sucesivas cosechas será menor debido al efecto residual a que da lugar la más lenta liberación de nutrientes (Negro, 2003).

1.5.4 Principales parámetros de control en el proceso de compostaje. En el proceso de compostaje el principio básico más importante es el hecho de que se trata de un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, y por tanto, tiene todas las ventajas y limitaciones de este tipo de procesos. Según esto, los factores que afectan a los microorganismos son los que requieren mayor control a lo largo del

proceso. Entre estos factores están: La aireación, el contenido en humedad y temperatura, pH, los factores nutricionales y la relación C/N. (Negro, 2003)

1.5.5 Metabolismos de la materia orgánica por microorganismos. Los microorganismos metabolizan la materia orgánica usando dos vías distintas: fermentación, en la que la materia orgánica sufre reacciones de oxidación-reducción en ausencia de un aceptor de electrones externo; y respiración, en la que la materia orgánica actúa de dador de electrones, mientras que se emplea como aceptor de electrones un compuesto exógeno (Rueda, 2001).

1.5.6 Aspectos microbiológicos del compostaje. El compostaje, como ya se ha mencionado anteriormente, es un proceso dinámico en el que se producen una serie de cambios físicos y químicos debido a la sucesión de complejas poblaciones microbianas. La naturaleza y número de microorganismos presentes en cada etapa dependen del material inicial. Al comienzo del compostaje el material se encuentra a temperatura ambiente y la flora mesófila presente en los materiales orgánicos empieza a desarrollarse utilizando los hidratos de carbono y proteínas más fácilmente asimilables. La hidrólisis y asimilación de polímeros por los microorganismos es un proceso relativamente lento, por tanto, la generación de calor disminuye hasta alcanzar la temperatura ambiente, alrededor de los 40° C, y los organismos mesófilos (actinomicetos, hongos y bacterias mesófilas) reemprenden su actividad.

La intensa actividad metabólica de estos organismos, fundamentalmente hongos y bacterias, provocan la elevación de la temperatura en el interior de la masa en compostaje. Al aumentar la

temperatura empiezan a proliferar bacterias y sobre todo hongos termófilos que se desarrollan desde los 40° C hasta los 60° C. Esta especies empiezan a degradar la celulosa y la lignina, con lo cual la temperatura sube hasta los 70 ° C, apareciendo poblaciones de actinomicetos y bacterias formadoras de esporas. Durante varios días se mantiene a esta temperatura, en una fase de actividad biológica lenta, en la que se produce la pasteurización del medio. Aunque la celulosa y la lignina a estas temperaturas se atacan muy poco, las ceras, proteínas y hemicelulosas se degradan rápidamente. Cuando la materia orgánica se ha consumido, la temperatura empieza a disminuir (el calor que se genera es menor que el que se pierde) y las bacterias, fundamentalmente los hongos mesófilos, reinvaden el interior del compost utilizando como fuente de energía la celulosa y la lignina residuales. Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante el compostaje se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida (Negro, 2003).

1.5.7 Legislación. Existen normas internacionales que rigen la producción del compost respecto a limitaciones de metales pesados, patógenos y atracción de vectores, específicamente las correspondientes a la EPA (Fed. Reg. 40, C.F.R. Part 503, 1993) y a la Unión Europea (Council Directive 86/278/EEC).

En el caso de patógenos y atracción de vectores, en algunos lugares se utilizan las normas de la EPA para productos Clase A, es decir, durante la etapa termofílica las temperaturas deben ser 55°C durante 15 días con al menos 5 volteos en el caso de hileras con volteos, y 55°C durante 3 días consecutivos en pilas estáticas. Con relación a los valores límites

en metales pesados para los compost en la Unión Europea y otros países podemos ver en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Legislación para países Europeos.

País	Ley / Reglamento	Cd	Cr total	Cr ^{VI}	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Unión Europea	EEC 488/98 Ecolabel	1,0	100	-	100	1,0	50	100	300	10
Francia	Ley de Fertilizantes	1,5	300	-	600	1,0	100	100	1500	-
Alemania	Ley Bio AbFV	1,0	70	-	70	0,7	35	100	300	-
	Clase I, Clase II	1,5	100	-	100	1,0	50	150	400	-
Italia	Ley 748/84	1,5	-	0,5	150	1,5	50	140	500	-
España	Ley de Fertilizantes	10	400	0	450	7	120	300	1100	-

Fuente: Negro, 2003.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

Este trabajo se realizó bajo condiciones de campo en un suelo degradado, perteneciente a la empresa **DISTRICRUDOS DE SANTANDER**, que se dedica a la actividad industrial; ubicada en el Km 1 N° 29N-255 Café Madrid vía Palenque (Santander).

La ejecución de las actividades de campo tuvo duración de 160 días.

2.2 MATERIALES

2.2.1 Biológicos.

- **Bacterias:** Se utilizó **Bacthon** (Figura 1), que es un producto que tiene microorganismos del suelo en estado latente. Un litro contiene cuarenta millones UFC/mL de *Azospirillum brasilense*, treinta millones UFC/mL de *Azotobacter chroococcum*, cien millones UFC/mL de *Lactobacillus acidophilus*, cien mil UFC/mL de *Saccharomyces cerevisiae*.

- **Hongos:** Se utilizó un producto para la agricultura que contiene *Trichoderma*, su nombre comercial es **Fitotripen** (Figura 2) y además una mezcla de hongos formadores de micorrizas, previamente multiplicados en un banco de micorrizas (Figura 3).

Figura 1. Producto utilizado para la inoculación de bacterias.



Figura 2. Producto utilizado para la inoculación de hongos.



Figura 3. Banco de Micorrizas para la multiplicación de inóculos endomicorrizales



2.2.2 Semillas. Las semillas seleccionadas para este experimento fueron la semilla de frijol J1J1 y la de maíz ICA V-304.

2.2.3 Abonos orgánicos. Se utilizó materia orgánica obtenida a partir de una mezcla de estiércoles de equino y bovino, junto con residuos de cosecha. Esta materia orgánica fue analizada en el centro de investigación El Arsenal y presento las siguientes características químicas:

Cuadro 3. Contenido nutricional del compost.

pH	CONTENIDO DE ELEMENTOS POR MUESTRA												
	C/N	C	N	P	K	Ca	Mg	Na	Fe	Cu	Mn	Zn	B
	%								Ppm				
7.8	11,6	19,7	1,7	0,3	2,2	1,7	0,4	-	4.700	34,0	344	200	11,6

2.2.4 Fertilizante Químico. Para el desarrollo de esta tesis se utilizó como fertilizante químico el triple 15 que es el más usado en la región.

2.2.5 Suelo degradado. El suelo seleccionado pertenece a la empresa Districrudos de Santander, tiene un relieve plano, bastante heterogéneo con presencia de algún tipo de contaminación debida a las actividades de la empresa que funciona en este lugar.

Figura 4. Vista general del terreno antes de realizar el experimento.



2.3 METODOLOGÍA

2.3.1 Tratamientos. Para dar respuesta a los objetivos del presente trabajo de investigación, se evaluaron abonos orgánicos tipo biorremediación (inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos) en cantidad de 5 y 10 veces más del equivalente de lo que correspondería a la dosis de fertilizante químico utilizado en la región (250 Kg/ha de 15-

15-15) y se compararon con un testigo control al cual no se le aplicó ningún tipo de fertilización, así:

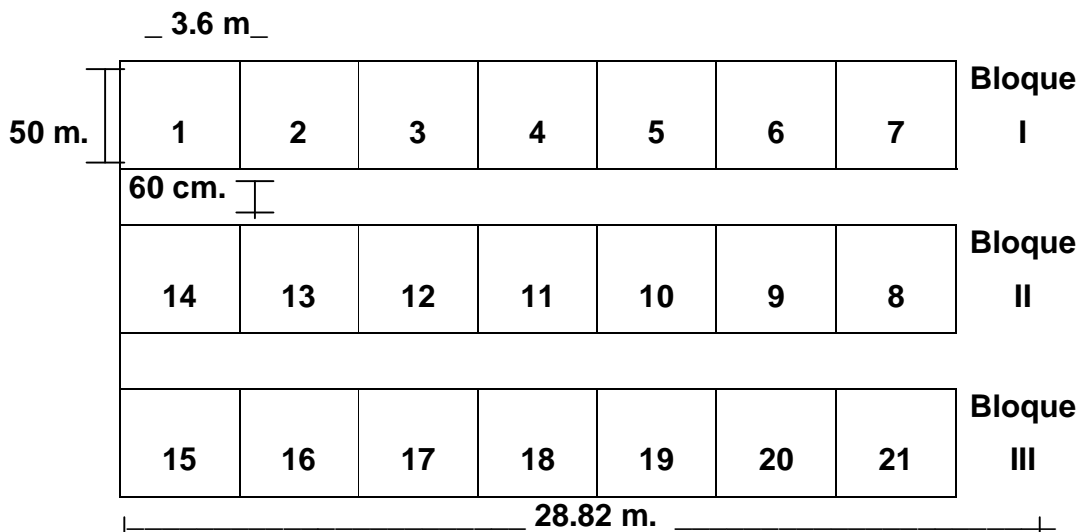
Cuadro 4. Tratamientos utilizados en la evaluación de los abonos orgánicos tipo bioremediación.

No. Tratamiento	Identificación
1	2500 Kg/ha de compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de fertilizante químico.
2	2500 Kg/ha de compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de fertilizante químico.
3	2500 Kg/ha de compost inoculado con bacterias y actinomicetos más hongos + 250 Kg/ha de fertilizante químico.
4	5000 Kg/ha de compost inoculado con hongos y actinomicetos.
5	5000 Kg/ha de compost inoculado con bacterias y actinomicetos.
6	5000 Kg/ha de compost inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos.
7	Testigo control son fertilización.

2.3.2 Diseño experimental. Los tratamientos fueron dispuestos en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones en un arreglo en parcelas divididas, en donde las parcelas principales fueron cada uno de los dos cultivos maíz y frijol y las subparcelas los tratamientos

de fertilización. Cada parcela experimental estuvo conformada por seis surcos de 5 metros de largo cada uno, distanciados 60cm entre ellos y un área por parcela experimental de 18m² (3,6mX5m). La parcela útil consistió en dos surcos centrales, uno de frijol y otro de maíz, tal como se muestra en el diseño de la investigación, en donde se observa un total de 21 parcelas experimentales siete en cada bloque y en cada uno de ellos se distribuyo completamente al azar los siete tratamientos (Figura 5).

Figura 5. Diseño del experimento en bloques completos al azar con tres repeticiones.



Se escogió este diseño debido a que las unidades experimentales no eran todas iguales y este método es históricamente el primer diseño valido para estimar el error experimental y para probar si los efectos de los experimentos son significativos a pesar de la heterogeneidad de las unidades experimentales sobre las que se hacen las observaciones. Además este diseño es uno de los más utilizados en agricultura y de hecho este tiene su origen en experimentos agrícolas.

En este diseño un bloque es simplemente un conjunto de unidades experimentales que son homogéneas o por lo menos más homogéneas que el grupo primitivo no clasificado y cada bloque es a la vez una replica del experimento observado (Li, 1969).

2.3.3 Manejo integral del experimento.

§ **Producción del compost.** El proceso de compostaje requiere toda una serie de operaciones, algunas de las cuales se repiten a intervalos a lo largo de todo el proceso. El sistema utilizado para la producción de compost en esta tesis fue el recomendado por Luna (2002), compostaje solarizado, el cual es un proceso mediante el cual se someten a descomposición biológica, mezclas compostables de residuos orgánicos, mediante un control adecuado de temperatura, aireación, olores indeseables y pérdida de nutrientes, para lo cual se debe cubrir la pila con un plástico de color negro.

Los pasos que se siguieron para su producción son:

- **Recogida y transporte.** La obtención de un buen compost depende fundamentalmente de la composición y preparación de la materia orgánica de partida, que puede experimentar variaciones en función de factores diversos; por esto se utilizó como materia prima estiércol de bovino y equino y residuos vegetales; estos materiales se eligieron por su fácil disponibilidad, su abundancia y por ser materiales adecuados para su utilización posterior en agricultura ecológica, además el estiércol de vacuno es un material rico en nitrógeno y muy húmedo.

En este paso de producción de compost se recogieron los materiales orgánicos (estiércoles y residuos vegetales); y se transportaron hasta el sitio donde se realizó el compost.

· **Mezcla de materias primas.** Seguidamente, se mezclaron ocho partes de estiércol de bovino y equino y nueve partes de desechos de maíz, frijol, arveja, hortalizas, pasto de cortes, hojarasca procedentes de cultivos que no fueron tratados con agroquímicos. Este material estaba debidamente picado y triturado para facilitar el ataque microbiano, la difusión del calor en forma uniforme en toda la pila y acelerar el proceso de descomposición.

Figura 6. Preparación del compost. Materiales iniciales (mezcla).



También se agregaron dos partes de cascarilla de arroz, las cuales facilitan el paso del aire al centro de la pila y la proliferación de bacterias aerobias que contribuyen a la producción de calor en la pila; hasta conseguir una humedad y una relación C/N adecuadas; teniendo

especial cuidado con las materias primas de tipo estiércol ya que estas necesitan una atención inmediata porque rápidamente sufren fermentación anaerobia dando lugar a malos olores. Estas materias primas se pueden observar en la figura 6.

· **Formación de la pila.** Con la mezcla de los sustratos orgánicos se fue formando sobre la tierra una pila haciendo capas de 25 cm. de espesor hasta alcanzar 1m de altura y una base de 1,5mx1,5m (Figura 7); cada una de las capas se humedeció con una solución de caldo microbial (una parte de caldo microbial por tres partes de agua).

En este paso se tuvo muy en cuenta la humedad (esta se debe mantener aproximadamente entre 60% y 70%) para evitar que sucedieran pérdidas de nutrientes por lavado y que se redujera la actividad de los microorganismos aerobios. Esta humedad se controló mediante la prueba del puño que consiste en tomar un puñado de la mezcla de los residuos y comprimirla con la mano y observar: si escurre agua gota a gota por entre los dedos, la pila tiene la humedad adecuada (60-70%) (Luna, 2002), cuando brota gran cantidad de agua, es porque hay un exceso y es necesario reducir la pila y que reciba aire, cuando no sale agua es que está muy seco y hay que rehumedecerlo.

Una vez se verificó que la humedad fuera la adecuada se procedió a tapar la pila con un plástico negro para evitar que los rayos solares afecten los microorganismos inoculados y la deshidratación o sobrehidratación por agua lluvia y lavado de nutrientes.

Figura 7. Preparación del compost. Formación de la pila.



· **Volteos.** Los volteos se realizaron cada quince días para airear la pila, evitar exceso de temperatura y acelerar el proceso de descomposición. En estos se desplazaba toda la materia orgánica asegurándose que los materiales que estaban sobre la superficie quedaran hacia adentro de la pila; esta operación, se realizaba manualmente, con ayuda de una pala.

En la realización de estos volteos se pudo observar las etapas que experimenta la materia orgánica durante el proceso de compostaje. En la figura 8 se puede observar la etapa termofila del compost (temperatura aproximada 60-70°C) por la producción de vapor ocasionado por la liberación de dióxido de carbono, metano y agua que sale al remover el compost con la pala.

Figura 8. Preparación del Compost. Etapa termofila



La duración del proceso de descomposición y la producción del abono tuvo una duración de 60 días.

· **Maduración:** A continuación de la fase activa se requiere un periodo de tiempo para que el proceso termine y para que el compost desarrolle las características deseadas para su posterior aplicación. Cuando la temperatura descendió el abono tenía una apariencia como una pasta de color café oscuro y olor a tierra mojada. En este momento termino la descomposición y ya se tenía el abono orgánico, el cual se extendió en capas delgadas a la sombra y protegido del agua de lluvia, para disminuir la humedad.

· **Tamizado y separación.** También se hizo necesario hacer una separación al final del compostaje; esta operación se realizo ya que se quería mejorar la calidad del producto final, para mejorar la granulometría y facilitar la aplicación uniforme al suelo.

Para que esta separación fuera más efectiva, se reviso que el material tuviera una humedad inferior al 45% y utilizando una malla se tamizo todo el compost obtenido en los pasos anteriores, de esta se separaron piedras, terrones, etc (Figura 9).

§ Inoculación del compost maduro con bacterias y hongos. Parte del abono obtenido se inoculo en la etapa de maduración con Bacthon; para esto se utilizó 200 mL de suspensión de Bacthon y se diluyeron en 5000 mL de agua, esto se mezclo muy bien y se fumigo con esta disolución el abono.

Así mismo, otra parte de este abono se inoculo con hongos (Trichoderma) y actinomicetos (Streptomyces principalmente) utilizando para esto un producto tambien utilizado en la agricultura llamado Fitotripen. Para esto se utilizaron 200 gr de Fitotripen diluidos en 5 litros de agua, mostrado en la figura 10.

Figura 9. Tamizado del compost.



Figura 10. Vacunación de la materia orgánica con Hongos (lado izquierdo) y con bacterias (lado derecho)



Al finalizar la etapa de producción del mismo y justo antes de la siembra se inoculó el compost con cepas de hongos formadores de micorrizas vesículo arbusculares a los tratamientos que se inocularon con hongos. Para este fin se utilizó un inóculo que previamente había sido multiplicado, según las técnicas de cuidado, mantenimiento y producción adecuadas por Luna (2002) en un banco de micorrizas.

§ Inoculación de la semilla de frijón con *Rhizobium*. La inoculación se realizó siguiendo la recomendación técnica que para tal proceso sugiere Corpoica:

Para este fin se utilizaron cinco gramos de inóculo de *Rhizobium* ICA P8 por kilogramo de semilla a utilizar. El procedimiento realizado fue preparar una solución lodosa a razón de 1 mL de solución azucarada al 10% por gramo de inóculo en un balde plástico; seguidamente se

agregaron las semillas de fríjol dentro de esta mezcla de tal forma que quedaran bien impregnadas con la bacteria; hecho esto, se extendieron en un plástico y se dejaron secar a la sombra y con una corriente de aire por unos minutos. Una vez estuvieron secas se llevaron directamente al sitio de la siembra.

§ **Producción de abono orgánico líquido.** Para la producción de este abono orgánico, se siguieron las recomendaciones de Luna (2002), apropiadas en el Centro de investigación El Arsenal de Corpoica. Para esto, se tomo un kilo de lombricompost y se mezcló con una solución ácida (192 gramos de ácido cítrico en 10 litros de agua) y se agitó entre 10 a 15 minutos diarios durante cuatro días. Pasado estos cuatro días se filtro y el líquido obtenido es el producto ácido soluble el cual Gómez citado por Luna (2002) sugiere utilizarlo como fertilizante foliar en periodo de prefloración ya que estos ácidos solubles contienen calcio, potasio, manganeso, fósforo, magnesio y trazas de otros elementos.

El remanente sólido de la producción de ácidos solubles se mezcló con una solución de soda cáustica (200 gramos de soda cáustica en 10 litros de agua) y se agitó durante 4 días; hecho esto, se filtro para obtener las sustancias humicas, los ácidos humicos y fulvicos.

§ **Desarrollo de un cultivo de fríjol y maíz.** Este cultivo se desarrollo con el fin de evaluar los abonos tipo bioremediación; es un indicador el cual tiene que ver en los cambios en las características físicas, químicas y biológicas del suelo, con base en los tratamientos utilizados.

Para el desarrollo de este cultivo fue necesario seguir los siguientes pasos:

- Análisis inicial físico y químico del suelo. El primer paso fue la recolección de muestras; para su realización se tuvieron en cuenta las recomendaciones establecidas según el Manual de Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (González, 1990).**

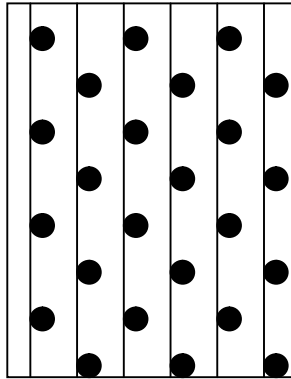
Debido a la heterogeneidad del terreno, se recogieron tres muestras de suelo, correspondiendo estas a cada uno de los bloques del diseño experimental, ya que cada unidad experimental debe poseer características similares dentro de cada bloque.

Se utilizó como instrumento de muestreo una pala. El primer paso fue limpiar la capa superficial, para esto se raspo bien la superficie del terreno usando pala, azadón y rastrillo. Seguidamente se cavo un hueco en V del ancho de la pala y de una profundidad de 20 cm aproximadamente y se tomo la muestra. Utilizando una cubeta de plástico (para evitar la contaminación con microelementos) se recogió la muestra de suelo tomada. Este procedimiento se realizó en diferentes puntos muestreados al azar dentro de cada bloque, siguiendo una trayectoria de zigzag (Figura 11); una vez se muestrea todo el bloque, se revolvieron bien estas submuestras dentro de la cubeta, se tomo un kilo de este suelo y se coloco en una bolsa plástica libre de impurezas.

Una vez tomadas las muestras, estas se llevaron al laboratorio de suelos y se extendieron sobre papel periódico el cual había sido

previamente identificado con un número para evitar posibles confusiones.

Figura 11. Esquema de los puntos de muestreo para el análisis.



Se secaron durante tres días sobre una plancha de cemento y bajo la sombra. Una vez las muestras estuvieron secas, se llevaron a un mortero de porcelana donde se trituraron y se hicieron pasar por un tamiz No. 60 para reducir su tamaño, muestra que se utiliza para la determinación de la materia orgánica y por un tamiz No. 10, para obtener la muestra de los demás análisis.

Cada una de estas muestras se colocó en vasos de polietileno, los cuales también estaban marcados con el número con el cual se habían identificado desde la llegada al laboratorio y se almacenaron en un lugar seco. Después, estas tres muestras fueron sometidas al análisis químico completo según los métodos analíticos usados en el laboratorio de suelos de la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Santander (Anexo A).

· **Análisis inicial microbiológico del suelo.** Para este análisis se muestreo el total del área usada en este experimento, realizando el

mismo procedimiento que se uso en la toma de muestras para el análisis químico. La muestra tomada (aproximadamente 1 Kg.) se empaco en una bolsa plástica y se llevo al Centro de Innovación en Biotecnología industrial y Biología molecular (CINBIN). En el cual le realizaron un análisis mediante métodos estandarizados por este laboratorio (Anexo B).

· **Adecuación del terreno.** Para esto, se desyerbo todo el terreno utilizando azadón y macheta; se retiraron las piedras más grandes superficiales y todos aquellos residuos tales como bolsas, tarros, residuos de construcción, etc. Hecho esto, se paso un tractor por todo el área experimental durante 2 horas el cual arreglo el terreno para la siembra; una vez termino, nuevamente se retiraron piedras y otros materiales que salieron a la superficie después de haber pasado el tractor sobre el suelo.

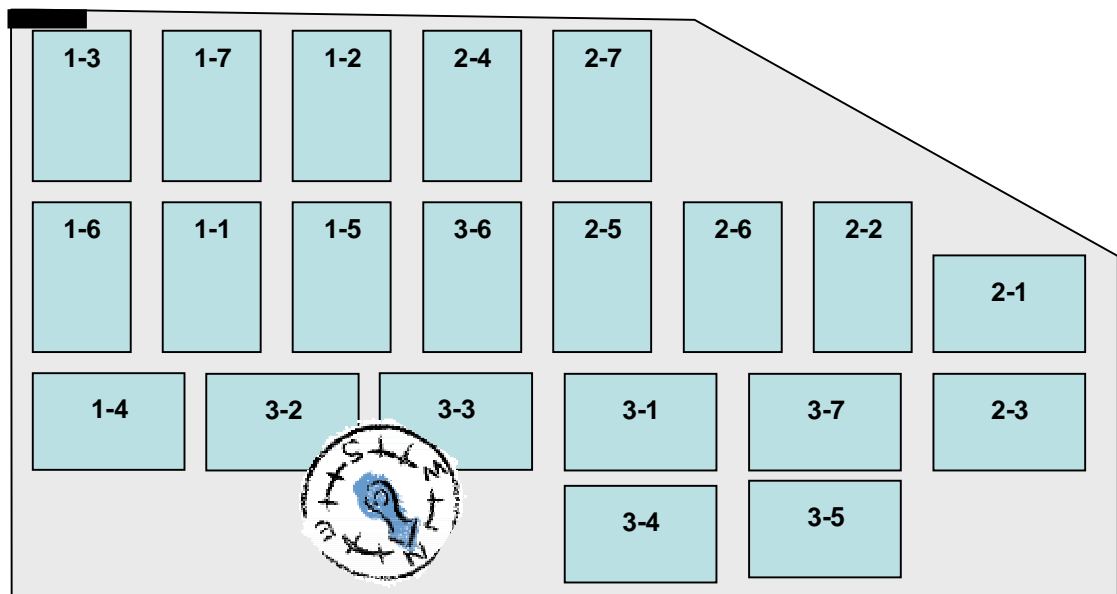
Con ayuda de unas estacas de madera y pita, se delimitaron las parcelas que sirvieron de unidades experimentales durante el desarrollo de esta tesis, y utilizando pica y pala se hicieron zanjas de 60 cm. entre cada una de las unidades experimentales de una profundidad de aproximadamente 20 cm.; esto con el fin de que hubiera un espacio prudente entre unidades experimentales cuidando que no haya interferencia de un tratamiento con otro, además estas sirvieron como zanjas evacuadoras del agua de lluvia o de riego que se acumulen en el terreno y que pueden ser perjudiciales para el cultivo.

Con palas, se hicieron surcos dentro de cada una de las unidades experimentales espaciados 60 cm. para un total de 6 surcos de 5 metros de largo cada uno, tal como se planteo en el diseño experimental. En

cada uno de estos surcos se hicieron huecos espaciados 20cm en el caso del frijol y 50cm para el caso del maíz, para un total de 25 huecos para surcos de frijol y 10 huecos para surcos de maíz; esto se realizó de tal forma que quedarán intercalados el frijol y el maíz.

· **Siembra.** Una vez delimitadas las 21 unidades experimentales (Figura 12), se identificó cada parcela con su respectivo tratamiento (asignado en el diseño experimental al azar). El sistema de siembra escogido fue el intercalado, que es un sistema ampliamente utilizado.

Figura 12. Plano de campo.



Hecho esto, se procedió a aplicar la cantidad de abono orgánico necesario en cada uno de los tratamientos a evaluar. Para esto se pesó la cantidad de compost necesario para cada surco y se agregó una parte de esta dentro de cada uno de los huecos marcados.

Para los tratamientos 1, 2 y 3 los cuales corresponden al compost inoculado con bacterias, hongos y hongos y bacterias respectivamente, se utilizó una proporción de 2.500 Kg./Ha de compost inoculado, es decir 750 gramos de compost por surco. Para la siembra de frijol se utilizaron las semillas inoculadas con Rhizobium; se colocó una semilla en cada uno de los huecos, para un total de 75 semillas de frijol J1J1 por unidad experimental; intercalados con los surcos de maíz, en los cuales se sembraron de a dos semillas por hueco, para un total de 60 semillas de maíz ICA V-304 por unidad experimental. Una vez puesta la semilla se tapó con una capa de tierra de los alrededores.

Para los tratamientos 4, 5 y 6 se procedió de igual forma que para los tratamientos 1, 2 y 3; solo, que en estos últimos se utilizó el doble de compost, es decir, 5.000 kg/Ha que corresponden a 1.500 gramos de compost por surco. Al ser mayor la cantidad de compost y con el fin de cuidar la semilla, para estos tratamientos se aplicó primero una parte del compost, se tapó con una capa de tierra y encima de este se colocó la semilla; se volvió a aplicar otra capa de compost sobre esta y nuevamente una capa más de suelo.

Para el tratamiento 7, que corresponde al testigo (sin fertilización), no se le agregó compost y las semillas tampoco fueron inoculadas. En total, para el desarrollo de este cultivo se utilizaron 1260 semillas de maíz y 1575 semillas de frijol.

- **Prácticas de cultivo.**

- **Riego.** A partir del día de la siembra se regó el terreno día por medio durante la duración del cultivo (si este lo requería), cuidando que la

cantidad de agua fuera la suficiente. Esto se evaluaba según el estado diario de las plantas.

- **Aplicación de fertilizantes.** El fertilizante fue aplicado 25 días después de la siembra a las unidades experimentales cuyo tratamiento así lo requerían; es decir a los tratamientos 1, 2 y 3; esto se hizo utilizando una proporción de 250 kg/Ha (tal como se indica en los tratamientos del diseño experimental) que corresponde a la dosis de fertilizante químico utilizado en la región. Para cada unidad experimental se utilizó 0,45 kg de triple 15 grado comercial.

- **Aplicación de abono líquido.** La aplicación de este al cultivo, se hizo diluyendo el líquido obtenido en la preparación de los ácidos solubles en una proporción 1:20 en agua; este se aplicó a los 30 días de la siembra y se repitió su aplicación 15 días después. Así mismo, la aplicación de los ácidos húmicos y fulvicos se hizo diluyendo la solución proveniente de su producción en agua en una proporción 1:50. Esta se hizo 6 días después de la aplicación de los ácidos solubles y se repitió 15 días después.

- **Control de maleza.** El control de malas hierbas se realizó en forma manual a lo largo del tiempo de duración del cultivo, tratando de que este siempre se encontrara libre, pues la presencia de este tipo de hierba implicaba competencias entre las plantas tanto por espacio como por fertilizante.

El control oportuno de malezas fue indispensable ya que estas fueron muy persistentes durante el desarrollo del experimento. La maleza observada en el terreno es la llamada “caminadora”, la cual es la causante de la reducción de las cosechas (por lo menos en maíz) en un

intervalo entre 10 y 60% y algunas ocasiones con valores mas altos, por esta maleza específicamente (ICA, 1975). En el caso del fríjol en cualquier estado de desarrollo es muy sensible a la competencia de las malezas; siguiendo las recomendaciones de Jaramillo (1991), se mantuvo el cultivo libre de malezas el mayor tiempo posible y en especial los primeros 45 días, un primer desyerbo se realizo a los 15 días de instalado el cultivo y se efectuó un segundo desyerbo después de 40 días. Este control fue además muy importante ya que aparte del efecto directo en la reducción de los rendimientos, las malezas ocasionan problemas tales como hospedaje de plagas y enfermedades y crean microclimas desfavorables a la planta.

- **Aporque de las plantas.** Las plantas fueron aporcadas, es decir, se colocó un montoncito de tierra alrededor de cada tallo, con la finalidad de que estas obtuvieran mayor resistencia para su posterior crecimiento foliar, evitar el volcamiento y facilitar el mejor aprovechamiento del fertilizante aplicado (según el tratamiento) y de los nutrientes del suelo. Esta labor se realizó manualmente conjuntamente con el primer desyerbo.

- **Seguimiento visual del cultivo.**

El desarrollo de las plantas pasado un mes a partir de la siembra se puede observar en la figura 13; en a) se distingue el estado de las plántulas del suelo fertilizado con compost inoculado con hongos y actinomicetos mas fertilizante químico del bloque I; en b) se aprecia el desarrollo en el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos y actinomicetos en el bloque III. Así mismo, la figura 14 muestra el correspondiente estado de desarrollo de plantas pasado dos meses; en a) se observa el crecimiento de plantas de fríjol del bloque I en el testigo

control, pasado este tiempo aún no presentan floración; b) corresponde al estado del cultivo para el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos mas fertilización química del bloque II, en donde las plantas de maíz tienen un crecimiento normal.

Figura 13. Estado del cultivo después el primer mes.



a)



b)

Figura 14. Estado del cultivo después del segundo mes.



a)



b)

La figura 15 presenta el estado de desarrollo de las plantas una vez se recogió la cosecha de fríjol, en esta podemos observar en a) una vista general del terreno de cultivo y en b) se puede observar una planta de maíz con buen desarrollo de mazorcas, en plantas que se encontraban en el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos mas fertilizante químico en el bloque III.

Figura 15. Estado del cultivo pasado el tercer mes.



a)



b)

· **Cosecha.** Esta labor se realizo a los ochenta días en el cultivo de fríjol, pues en esta época la mayoría de las vainas se encontraban secas. Por otro lado en el cultivo de maíz se realizó esta labor a los 100 días, ya que pasado este tiempo se observo que el maíz estaba listo para cortarse.

Por ultimo se tomaron las muestras finales de suelo de cada una de las unidades experimentales y se llevo a los laboratorios químico de suelos y microbiológico para realizar los análisis respectivos.

2.3.4 Variables evaluadas. En cada parcela útil se analizaron las siguientes variables:

· **Cambios en las características físicas (densidad aparente, densidad real, textura y porosidad), químicas (pH, contenido de elementos nutricionales mayores y menores y capacidad de intercambio catiónico) y biológicas del suelo (población de bacterias, hongos, actinomicetos).** Para este fin, se tomaron muestras para los correspondientes análisis que permitieron conocer el estado inicial del suelo, y al finalizar la etapa de investigación (después de la cosecha del frijol y maíz) en los mismos sitios de muestreo considerados iniciales se volvieron a tomar muestras para conocer el estado final y con base en ellos se evaluaron los cambios ocasionados por efecto de los tratamientos utilizados.

· **Se evaluó la producción de frijol y maíz en términos de grano seco en función de los diferentes tratamientos estudiados. Para esto se determino el rendimiento de grano seco, esto se hizo una vez se cosecho el frijol y el maíz y se determino su rendimiento en kg/Ha.**

Por ultimo los resultados obtenidos se evaluaron desde el punto de vista estadístico mediante el análisis de varianza y prueba de separación de medias (Duncan), y los rendimientos obtenidos se sometieron a un análisis económico, utilizando para esto la rentabilidad marginal (%).

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 ANÁLISIS FÍSICOS

3.1.1 Textura. Al realizar el análisis de textura del suelo, mediante el método de Bouyoucous se observó que el suelo pertenece a un grupo conocido como franco arenoso (Cuadro 5) el cual es adecuado para cultivos; los tratamientos evaluados no alcanzaron a ocasionar cambios en la textura del suelo, resultado que era de esperarse, debido a que un cambio en esta variable requiere de un periodo de tiempo largo.

3.1.2 Densidad aparente y densidad real. La densidad real (D_R) de los suelos varía generalmente entre 2,6 y 2,75 g/cm³, en este trabajo se obtuvo valores por debajo de este rango, correspondiendo la menor densidad real a 1,33 g/cm³ determinada en el bloque II, en la parcela que recibió la dosis baja de abono orgánico (2500 Kg/ha) y este había sido inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos y adicionalmente recibió 250 Kg/ha de fertilizante químico. Mientras que la densidad más alta encontrada fue de 2,22 g/cm³, identificada en el bloque III en las parcelas que fueron tratadas también con la dosis baja de abono orgánico y fertilizante químico e inoculadas con actinomicetos y bacterias u hongos (Cuadro 6). Los resultados permiten deducir que el suelo analizado presenta una D_R baja en comparación con el valor crítico, esto se puede explicar por la presencia de materiales fibrosos de bajo peso y de gran volumen en el suelo.

La densidad aparente (D_A) del suelo varía generalmente entre 1,0 y 1,8 g/cm³, siendo 1,4 g/cm³ la densidad aparente para un suelo agrícola.

Cuadro 5. Comportamiento de la textura del suelo en su estado inicial y después de la fertilización

Tratamientos	Bloque I				Bloque II				Bloque III			
	Are (%)	Lim (%)	Arc (%)	Textura	Are (%)	Lim (%)	Arc (%)	Textura	Are (%)	Lim (%)	Arc (%)	Textura
Estado inicial del suelo	70	22	8	Fco-arenoso	76	14	10	Fco-arenoso	68	10	14	Fco-arenoso
Estado final del suelo:												
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	70	20	10	Fco-arenoso	68	14	18	Fco-arenoso	60	16	24	Fco-arciaarenoso
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	72	20	8	Fco-arenoso	58	16	26	Fco-arciaarenoso	64	22	14	Fco-arenoso
T3: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	70	22	8	Fco-arenoso	70	16	4	Fco-arenoso	58	20	22	Fco-arenoso
T4: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	68	22	10	Fco-arenoso	74	20	6	Fco-arenoso	60	20	20	Fco-arenoso
T5: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos	68	22	10	Fco-arenoso	60	22	18	Fco-arenoso	60	26	14	Fco-arenoso
T6: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos	64	22	14	Fco-arenoso	60	22	18	Fco-arenoso	66	26	8	Fco-arenoso
T7: Testigo sin fertilización	70	22	8	Fco-arenoso	68	22	10	Fco-arenoso	60	20	20	Fco-arenoso

Are: arena Lim: limo Arc: arcillas Fco: franco

Los valores obtenidos en los tres bloques estudiados, se encuentran dentro de este rango (Cuadro 6), el análisis inicial del suelo arrojó un D_A de 1,77, 1,54 y 1,50 g/cm^3 para el bloque I, II y III respectivamente. Los resultados del análisis final señalan que en los tres bloques hubo reducción en la densidad, correspondiendo los valores más bajos encontrados a los presentados en las parcelas que fueron tratadas con 2500 Kg/ha de compost previa inoculación con bacterias, hongos y actinomicetos y reforzada esta fertilización con 250 Kg/ha de fertilizante químico. En el bloque III, contrario a los resultados esperados, la densidad aparente del suelo se incrementó, excepto en la parcela que recibió la dosis baja de abono orgánico; llama la atención que la parcela que recibió una dosis de abono orgánico alta (5000 Kg/ha) inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos y que corresponde al bloque II, tuvo un comportamiento similar a la parcela que no recibió fertilización (Cuadro 6).

Contrario también a lo esperado, no hubo correlación entre la reducción de la densidad aparente del suelo y el incremento de materia orgánica, dado que en los tres bloques en las parcelas que la densidad se redujo, el contenido de materia orgánica también se redujo (cuadro 7).

3.1.3 Porosidad. Los resultados obtenidos en el experimento muestran variabilidad en la respuesta con relación a cada tratamiento (Cuadro 6), así en el bloque I se presentó aumento en la porosidad del suelo, destacando el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos y actinomicetos, este exhibió el mayor incremento, al pasar de 11,5 a 23%, salvo en el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos, actinomicetos y fertilizante químico el cual disminuyó ligeramente (11,5 a 9,03 %); en las parcelas correspondientes al bloque II,

Cuadro 6. Comportamiento de la densidad y porosidad del suelo en función de los tratamientos de fertilización evaluados.

Tratamientos	Densidad real (g/cm ³)			Densidad aparente (g/cm ³)			Porosidad (%)		
	BI	BII	BIII	BI	BII	BIII	BI	BII	BIII
Estado inicial del suelo:	2,00	1,81	2,00	1,77	1,54	1,50	11,5	7,22	25,00
Estado final del suelos:									
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	2,00	2,00	2,22	1,63	1,65	1,62	18,50	8,83	27,02
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1,66	2,00	2,22	1,51	1,48	1,52	9,03	26,00	31,53
T3: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1,81	1,33	2,00	1,43	1,39	1,47	20,99	30,50	26,50
T4: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	1,81	1,42	2,00	1,54	1,50	1,52	14,91	12,78	24,00
T5: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos	2,00	2,00	2,20	1,54	1,40	1,58	23,00	1,40	28,18
T6: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos	2,00	1,53	2,00	1,68	1,65	1,70	16,00	17,50	15,00
T7: Testigo sin fertilización	1,66	2,00	2,00	1,66	1,65	1,67	17,00	7,84	16,50

BI: bloque I BII: bloque II BIII: bloque III

porosidad se incrementó, mientras que en las parcelas que fueron ubicadas en el bloque III, se presentó una mayor variación con incremento en algunas y reducción en otras, tal es el caso de las parcelas que recibieron la dosis alta de abono orgánico inoculado con bacterias y actinomicetos o con bacterias, hongos y actinomicetos las cuales tuvieron respuesta similar a la ocasionada en las parcelas que no recibieron ningún tipo de fertilización en donde la porosidad se redujo al pasar de 25% a 24,15 y 16,5%, en su orden (cuadro 6). Una de las posibles causas de estas reducciones es que al bajar la materia orgánica, el suelo puede sufrir compactación, por esta razón los poros se cierran y la densidad del suelo aumenta, especialmente la aparente, quien esta fuertemente ligada a los poros.

Se observa un mejor comportamiento de las parcelas que fueron tratadas con la dosis baja de abono orgánico con población diversa de organismos y reforzada la fertilización con químico, por presentar la menor densidad aparente y al mismo tiempo la mayor porosidad del suelo (cuadro 6).

3.2 CAMBIO EN EL CONTENIDO NUTRICIONAL DEL SUELO EN FUNCION DE LOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN EVALUADOS

El análisis químico realizado permite hacer algunas consideraciones con relación a los cambios ocasionados en los nutrientes del suelo en cada uno de los tratamientos en función del estado inicial. Las concentraciones estimadas en el laboratorio se analizaron de acuerdo con los parámetros generales sugeridos por el Instituto geográfico Agustín Codazzi para la interpretación de análisis de suelos (anexo C).

3.2.1 pH. Esta propiedad mostró en el estado inicial de los bloques identificados como I y II un pH neutro (7,2 a 7,3), mientras que en el suelo del bloque III fue ligeramente alcalino (7,5), pH que favorece la vida de microorganismos, particularmente de las bacterias inoculadas al compost así

como también el crecimiento y desarrollo de los cultivos de maíz y frijol evaluados en este experimento.

Sin embargo, el análisis final (Cuadro 7) arrojó como resultado un aumento en el pH en todos los tratamientos aplicados al suelo y en cada una de las repeticiones. Este aumento fue más marcado en el bloque I al pasar de 7,2 a 8,1 cuando se fertilizó con compost inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos, seguido por el bloque II al pasar 7,3 a 8,0 al tratar el suelo con fertilizante químico y compost inoculado con bacterias y actinomicetos y en el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos y actinomicetos. En menor proporción en el bloque III al pasar de 7,5 a 8,0 cuando se aplicó al suelo compost inoculado con bacterias y actinomicetos más fertilizante químico y suelo con compost inoculado con hongos y actinomicetos más fertilización química.

Este comportamiento puede ser debido probablemente al pH del abono orgánico (7,8). Otro factor que pudo influir en este aumento, es que el lugar donde se encontraba el cultivo es cercano a fabricas de cal y cemento donde no existe un control eficaz de las emisiones de partículas las cuales viajan en el aire ocasionando que los suelos aledaños a estas fabricas sean más alcalinos; así mismo, este efecto pudo atenuarse durante el tiempo de realización del experimento, por los cambios climáticos como lluvias y vientos que se presentaron.

Cuadro 7. Cambio en algunas características químicas del suelo en función del sistema de uso y manejo.

Estado del suelo	Resultados del análisis de suelos														
	pH	C	N	MO	P	Ca	Mg	K	Na	CIC	Fe	B	Mn	Cu	Zn
		%			ppm	meq./100g					ppm				
BLOQUE I:															
Estado inicial :	7,2	0,49	0,04	0,84	99	14,28	0,86	0,12	0,20	20	4,4	0,30	2,45.	1,20	4,95
Trat. 1	7,6	1,10	0,09	1,89	51	14,29	1,01	0,16	0,20	14	7,0	0,36	1,72	2,48	12,41
Trat. 2	7,7	0,92	0,07	1,58	105	12,93	0,78	0,18	0,23	14	5,1	0,45	1,68	1,33	5,44
Trat. 3	8,0	0,24	0,02	0,41	98	12,89	0,89	0,08	0,21	13	9,2	0,31	1,40	0,31	2,41
Trat. 4	7,7	2,09	0,18	3,60	61	14,43	1,16	0,25	0,18	19	8,0	0,41	1,78	4,12	10,25
Trat. 5	7,7	1,48	0,12	2,55	86	11,48	0,71	0,38	0,22	14	9,0	0,50	1,53	2,69	9,83
Trat. 6	8,1	0,82	0,07	1,41	66	26,68	2,07	0,26	0,51	14	5,0	0,24	1,21	0,72	5,37
Trat. 7	8,0	0,37	0,03	0,63	73	12,41	0,76	0,09	0,24	11	5,9	0,36	1,24	0,59	3,40
BLOQUE II															
Estado inicial	7,3	1,59	0,03	2,74	10,8	16,08	1,14	0,46	0,15	26	14,5	0,51	1,70	2,21	13,37
Trat. 1	8,0	1,12	0,09	1,93	89	9,96	0,96	1,22	0,21	13	9,9	0,53	1,12	0,84	13,11
Trat. 2	7,9	0,86	0,07	1,48	46	15,54	0,87	0,45	0,20	14	9,0	0,36	1,20	0,71	6,13
Trat. 3	7,7	1,33	0,11	2,20	124	10,24	1,14	0,80	0,26	14	16,0	0,34	1,16	0,76	6,44
Trat. 4	7,6	1,66	0,14	2,86	96	13,52	1,00	0,26	0,24	12	12,3	0,41	1,61	2,11	10,70
Trat. 5	8,0	0,77	0,06	1,32	74	10,29	1,13	0,64	0,31	13	11,7	0,36	1,92	0,67	2,67
Trat. 6	7,9	1,04	0,08	1,79	140	10,79	1,27	0,71	0,25	15	27,9	0,52	8,54	1,30	4,55
Trat. 7	7,6	1,87	0,01	3,22	114	16,93	1,39	0,32	0,23	16	13,9	0,53	1,58	3,13	12,50
BLOQUE III															
Estado inicial	7,5	1,33	0,01	2,29	51	19,47	1,45	0,47	0,29	13	9,5	0,49	2,08	3,89.	12,90
Trat. 1	8,0	0,67	0,05	1,15	28	10,05	0,73	0,38	0,24	15	15,7	0,31	3,76	0,30	1,85
Trat. 2	8,0	1,06	0,09	1,82	37	10,43	0,62	0,40	0,22	14	12,8	0,53	1,70	1,70	8,78
Trat. 3	7,9	0,73	0,06	1,25	28	10,99	0,74	0,40	0,29	16	9,7	0,57	1,08	0,61	3,00
Trat. 4	7,9	0,53	0,04	0,91	59	9,56	1,10	0,59	0,22	14	7,6	0,36	1,28	0,50	2,08
Trat. 5	7,8	0,29	0,02	0,49	57	8,15	2,20	0,48	0,66	14	5,7	0,40	1,03	0,33	1,05
Trat. 6	7,5	1,84	0,15	3,17	125	13,38	1,16	0,68	0,30	19	16,9	0,50	1,16	1,17	10,72
Trat. 7	7,5	0,44	0,03	0,75	48	11,58	1,10	0,31	0,27	19	12,2	0,45	1,42	0,36	1,48

3.2.2 Materia orgánica. El contenido de materia orgánica (MO) en el suelo antes y después de la aplicación del fertilizante y de la recolección de los cultivos tuvo un comportamiento diferente en los tres bloques evaluados, fue así como en el bloque I pasó de un nivel bajo (0,84%) en su estado inicial a medio (3,60 y 2,55%) cuando al suelo se adicionó compost inoculado con bacterias y actinomicetos y compost inoculado con hongos y actinomicetos respectivamente. Se observó además, que en el suelo tratado con fertilizante químico y compost inoculado con bacterias y actinomicetos, fertilizante químico y compost inoculado con hongos y actinomicetos y compost inoculado con bacterias hongos y actinomicetos a pesar que se incrementó el nivel (1,41 , 1,58 y 1,89%) continua siendo bajo el contenido (Cuadro 7). No obstante, en el bloque II a diferencia del bloque I los contenidos se redujeron en todos los tratamientos, excepto cuando se aplicó 5000 Kg de compost previa inoculación con bacterias y actinomicetos y cuando no se realizó ninguna fertilización, al pasar de 2,74% en el estado inicial a 2,86 y 3,22% para los tratamientos ya mencionados en el mismo orden. El bloque III mostró un comportamiento similar al bloque II, con disminución en los contenidos de MO en las diferentes parcelas; excepto cuando se aplicó la dosis alta de compost inoculado con bacterias y actinomicetos, el efecto fue más notorio en el testigo sin fertilización donde ocurrió una reducción de 2,29 a 0,75% del contenido de MO.

Con excepción del incremento de MO obtenido en el bloque I, en los diferentes tratamientos de los bloques II y III no se presentó una respuesta similar a pesar de la aplicación de la materia orgánica (cuadro 7). Desafortunadamente, y aunque a simple vista entre bloques se apreciaba amplia heterogeneidad, y una aparente homogeneidad dentro de cada uno de ellos, los resultados muestran que ellos no eran

totalmente homogéneos, situación ocasionada por la presencia de algunos núcleos de contaminación con desechos industriales con altos contenidos de carbono, esto se explica en parte porque existen aumentos de MO en tratamientos como el testigo sin fertilización en el bloque II, donde no hubo ninguna aplicación de la misma.

El aumento del contenido de MO en el suelo del bloque I, probablemente este asociado con otro factor importante observado en el experimento; las plantas de maíz que se encontraban en este bloque presentaron un menor desarrollo en comparación con las plantas encontradas en los otros dos bloques, posiblemente las ubicadas en este espacio aprovecharon en menor proporción la MO, también se presume un efecto similar para los incrementos en el contenido de MO de aquellos suelos de los bloques II y III.

3.2.3 Capacidad de intercambio cationico. Los valores de capacidad de intercambio cationico (CIC) para los bloques I, II y III fue de 20, 26 y 13 respectivamente (Cuadro 7), encontrándose en un nivel alto el bloque II y en nivel medio los bloques I y III. Los resultados finales mostraron en el bloque I, disminución en general de CIC. La reducción más notoria se observó en el testigo sin fertilización donde paso de 20 a 11 meq/100g, no obstante el suelo permaneció en un nivel medio en todos los tratamientos (11-19 meq/100g). En el bloque II los resultados fueron similares al bloque I, con disminución de la CIC en el suelo, pasando de un nivel alto (26 meq/100g) a niveles medios. La reducción más marcada se dio en el suelo tratado con compost inoculado con bacterias y actinomicetos (12 meq/100g) y la menor perdida se dio en el tratamiento sin fertilización (16 meq/100g). A diferencia de los bloques anteriores el bloque III presento en general aumento en la CIC del suelo, el aumento más evidente se presento en el suelo fertilizado con

compost inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos y el testigo sin fertilización al pasar en ambos casos de 13 a 19 meq/100g.

Dentro de las posibles razones para estos resultados, en su mayor parte en el caso de la disminución de CIC, se pueden atribuir a la disminución de la materia orgánica, a la baja en el contenido de arcillas, así como los cambios en las concentraciones de Ca, Mg, Na y K. En los casos en los que se presentó un aumento en la CIC pero se observó una disminución de la materia orgánica, se podría atribuir este resultado probablemente a que la CIC está ligada directamente con el porcentaje de arcillas presentes en el suelo. En estos casos se observó en mayor proporción la disminución del porcentaje de arcillas. Así mismo, en los casos en que la materia orgánica aumentó y la CIC disminuyó, se puede observar una disminución del porcentaje de arcillas también.

3.2.4 Elementos mayores. El comportamiento de estos fue muy variable en todos los tratamientos y repeticiones (Cuadro 7).

El nitrógeno mostró un incremento en general en el bloque I excepto en el suelo tratado con compost (2500 Kg) inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos más fertilizante químico, y el testigo sin fertilización al pasar de 0,04 a 0,02 y 0,03% en su orden. El aumento más notorio se presentó en el suelo fertilizado con compost (5000 Kg) inoculado con bacterias y actinomicetos (0,18%); al estudiar el contenido de nitrógeno en el suelo del bloque II, con excepción del testigo sin fertilización, se encontró un incremento al pasar de 0,03 a 0,14%. Cabe destacar que el porcentaje de nitrógeno hallado para el testigo sin fertilización (0,16%) fue el más alto, esto es inusual y no se encuentra explicación alguna para este resultado. Así mismo, el suelo

fertilizado con 5000 Kg de compost inoculado con hongos y actinomicetos obtuvo el menor incremento (0,06%). El bloque III, se comportó de manera similar al II, con aumento en todos los tratamientos, incluido el sin fertilización, el mayor incremento de nitrógeno total se observó en el suelo fertilizado con 5000 Kg compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos al pasar de 0,01 a 0,15%.

El suelo evaluado presentó los resultados esperados en cuanto a nitrógeno se refiere, es decir aumentó su contenido aunque inexplicablemente el contenido de MO se redujo, efecto relacionado con la aplicación de Rhizobium, el cual asociado a la leguminosa es fijador de nitrógeno en el suelo y a bacterias inoculadas al compost tales como Azotobacter y Azospirillum que son también nitro fijadores no simbióticos. Por otro lado, aunque las cantidades de nitrógeno no llegaron a un nivel aceptable, se puede afirmar en general que en el suelo mejoró la concentración, teniendo en cuenta que los resultados del análisis corresponden a un periodo de tiempo corto.

El nivel de fósforo tuvo un comportamiento muy variable; el suelo en su estado inicial mostró concentraciones altas en los tres bloques I, II y III (99 108 y 51 ppm en su orden). En el análisis final se pudo observar ligeras disminuciones en algunos casos y en otros, aumentos marcados, así en el bloque I disminuyó la concentración de fósforo al pasar de 99 a 98 y 51 ppm, excepto cuando el suelo se fertilizó con 2500 Kg/ha de compost inoculado con bacterias y actinomicetos más 250 Kg/ha de fertilizante químico. En el bloque II, se observó disminución en la concentración de fósforo, excepto en los tratamientos que recibieron 2500 Kg de compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos mas fertilizante químico y en la parcela en donde sólo se

aplicó abono orgánico en cantidad de 5000 Kg/ha inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos, así como en el testigo sin fertilización aunque se desconoce la causa. No obstante la situación observada, en los tratamientos donde el contenido de fósforo se redujo, ellos siguen siendo altos. Por otro lado, en el bloque III, el fósforo sólo se aumentó en las parcelas que recibieron dosis altas de compost con sus diferentes inoculaciones al pasar de 51 a 59, 57 y 125 ppm, este resultado no concuerda con las reducciones presentadas en el contenido de MO, por lo que este incremento puede ser atribuible al efecto de los hongos micorrizógenos aportados a través de la materia orgánica.

El potasio en el análisis químico inicial mostró en el bloque I, una concentración baja de 0,12 meq/100g, pero en el II (0,46 meq/100g) y III (0,47 meq/100g) se obtuvo concentraciones altas de este elemento. Al igual que el fósforo éste, presentó variaciones en el factor de respuesta, para el bloque I, con excepción de la parcela que no recibió fertilización y la que fue fertilizada con 2500 Kg de compost inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos mas fertilizante químico. Se obtuvo aumento en la concentración de potasio en el suelo estudiado, siendo el tratamiento de fertilización con 5000 Kg de compost inoculado con hongos y actinomicetos el que mayor respuesta dio en el incremento en la concentración de K en el suelo al pasar de 0,12 a 0,38 meq/100g. En el bloque II, los contenidos de potasio encontrados en el suelo fueron inferiores con respecto al estado inicial en el suelo fertilizado con 2500 Kg de compost inoculado con hongos y actinomicetos más fertilización química (0,45 meq/100g), en el suelo fertilizado con 5000 Kg de compost inoculado con bacterias y actinomicetos (0,26 meq/100g) y en el testigo sin fertilización (0,32 meq/100g); los restantes presentan un alza oscilando entre 0,64 a 1,22 meq/100g (Cuadro 7). El análisis

final realizado en el bloque III revela que los contenidos de potasio bajaron con respecto al estado inicial del suelo, excepto en los tratamientos cuando se aplicó las dosis altas de compost inoculado ya sea con bacterias y actinomicetos, o con hongos, bacterias y actinomicetos, en donde pasó de 0,47 a 0,59 y 0,68 meq/100g los cuales se consideran altos (Cuadro 7).

3.2.5 Elementos secundarios. Elementos tales como el calcio, magnesio y sodio y su relación con respecto a otros elementos tienen influencia en la concentración de otros nutrientes de vital importancia para el desarrollo de los cultivos. Así, cuando se consideraron los elementos secundarios se encontró que inicialmente el elemento más abundante fue el calcio, no obstante, una vez se realizó el experimento, este, en general se redujo excepto en los tratamientos cuando se aplicó 2500 Kg de compost inoculado con bacterias y actinomicetos mas 250 Kg de fertilizante químico o cuando se utilizó 5000 Kg de compost inoculado con bacterias y actinomicetos o con bacterias, hongos y actinomicetos en el bloque I, y cuando no se usó fertilización en el bloque II al pasar de 14,28 a 14,29 , 14,43 , 26,68 y 16,93 meq/100g de suelo para los tratamientos mencionados en su orden (Cuadro 7).

El magnesio por su parte, mostró un comportamiento similar al del calcio, ya que donde hubo incremento del uno, lo hubo también del otro.

Teniendo en cuenta las consideraciones presentadas en el anexo C para las relaciones Ca/Mg, Mg/K y Ca/K, se encuentra que la relación Ca/Mg mostró desequilibrio por deficiencia de Mg, con valores de 16,60,

14,10 y 13,42 para el bloque I, II y III; de la misma manera, la relación Ca/K indicó deficiencia de K en el bloque I (119), II (34,95) y III (41,42), estos resultados probablemente se deban a la alto contenido de Ca en el suelo; por otro lado la relación Mg/K para el bloque I (7,16), II (2,47) y III (3,08) señala que estos elementos tienen una proporción ideal para suelos agrícolas, independientemente de la alta concentración de Ca.

En el estado final del suelo, como consecuencia de la disminución de Ca se redujo la relación Ca/K en el suelo. Los efectos más notorios se dieron en el bloque II, donde debido a las variaciones de estos elementos, se vio una mejoría apreciable, logrando en algunos casos como el suelo fertilizado con compost inoculado con bacterias y fertilizante químico una relación de 8,16 que es ideal en un suelo agrícola.

Después de aplicar los tratamientos al suelo se observó que la deficiencia de magnesio en el suelo disminuyó en todos los tratamientos según los resultados de la relación Ca/Mg, excepto en el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos y bacterias más fertilizante químico (14,85) y compost inoculado con hongos y fertilizante químico (16,82) ambos pertenecientes al bloque III. Por otro lado, la relación Mg/K se mantuvo en una proporción adecuada para cultivos, excepto el suelo tratado con fertilizante químico más compost inoculado con bacterias pasando de 2,48 a 0,78 que indica deficiencia de Mg.

3.2.6 Elementos menores. Los micronutrientes esenciales son el Fe, Mn, Cu, Zn y B, los resultados del análisis químico tanto para el estado inicial como para el final se presentan en el cuadro 7.

El hierro desde el comienzo exhibió una concentración baja en todos los bloques: 4,4 , 14,5 y 9,5 ppm en el estado inicial para los bloques I, II y III respectivamente; el bloque I, aunque aumento ligeramente su concentración en todos los tratamientos, persistió en su deficiencia, siendo el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos y bacterias mas fertilización química el mas marcado al pasar de 4,4 a 9,2 ppm y el de menor proporción correspondió al suelo fertilizado con 5000 Kg de compost inoculado con bacterias y hongos (5,0 ppm). El bloque II, se comporto de manera variable, con disminución desde 14,5 a 9 ppm e incrementos en los tratamientos con 2500 Kg de compost inoculados con bacterias, hongos y actinomicetos y fertilización química, y en el tratamiento con 5000 Kg de compost también inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos, mientras que en el bloque III se incrementó en todos los tratamientos, incluido el testigo sin fertilización, excepto en los tratamientos que recibieron la dosis alta de compost y que fueron inoculados con bacterias y actinomicetos, u hongos y actinomicetos.

El Manganeso y el cobre tuvieron un comportamiento similar en los tres bloques, en donde estos se redujeron, excepto el Mn en los tratamientos con dosis alta de materia orgánica en el bloque II y la aplicación de 2500 Kg de compost inoculado con bacterias y actinomicetos más fertilización química en el bloque III.

Por su parte el Zinc se redujo en todos los tratamientos de los bloques II y III, mientras que en el bloque I se incrementó, excepto en las parcelas sin fertilización y en las que recibieron 2500 Kg de compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos mas fertilización química, en donde los niveles pasaron de 4,95 a 3,40 y 2,41 ppm respectivamente.

El comportamiento del boro no fue consistente en los diferentes tratamientos entre bloques. Sin embargo, los contenidos encontrados están por encima de los niveles requeridos para los cultivos estudiados. Una vez realizado el análisis final, el bloque I presento incremento desde 0,31 ppm en el suelo tratado con fertilizante químico mas compost inoculado con hongos y bacterias, hasta una elevación máxima de 0,50 ppm en el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos, excepto en suelo fertilizado con compost inoculado con hongos y bacterias que bajo desde 0,30 a 0,24 ppm. En el bloque II, los contenidos finales de B fueron muy variables, con ligeros aumentos en el suelo tratado con fertilizante químico mas compost inoculado con bacterias (0,53 ppm), compost inoculado con hongos y bacterias (0,52 ppm) y el testigo sin fertilización (0,53 ppm), los restantes presentaron disminución siendo el suelo tratado con fertilizante químico mas compost inoculado con hongos y bacterias el de más relevancia (0,34 ppm). Al igual que el bloque anterior, el bloque III presento variabilidad en el contenido de B, incrementos en el suelo tratado con fertilizante químico mas compost inoculado con hongos (0,53 ppm) y mas compost inoculado con hongos y bacterias (0,57 ppm), así como el suelo fertilizado con compost inoculado con hongos y bacterias (0,50 ppm); los restantes exhibieron disminución en el contenido de B (Cuadro 7).

El análisis de suelo nos indica la deficiencia de boro en todo el experimento, ya que los limites de concentración oscilan entre 1 y 5 ppm para la mayoría de suelos agrícolas; aunque existen cultivos que no soportan más de 1 ppm.

Estos comportamientos pudieron darse debido a que el suelo se encontraba inicialmente deficiente en oligoelementos y aquellas concentraciones de los mismos aportados por el compost, más aquellas que se encontraban en el suelo fueron consumidos por el cultivo para su nutrición, aumentando el déficit de las concentraciones de estos en el suelo. Los resultados obtenidos concuerdan con los reportes entregados en investigaciones en suelos arenosos en donde generalmente el contenido de nutrientes de elementos menores es bajo.

En suelos con pH elevado es bastante común encontrar carencia de muchos oligoelementos. Uno de los más afectados es el hierro donde probablemente la conversión de Fe^{++} a Fe^{+++} seguida por la precipitación de hidróxido de hierro $Fe(OH)_3$ baja disponibilidad de este elemento para la planta.

En relación con la interacción de oligoelementos, se ha encontrado que altos niveles de N y P pueden inducir deficiencia de cobre y de hierro, por otro lado el exceso de Zn puede también inducir a esta deficiencia; los experimentos realizados mostraron una tendencia similar.

3.3 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS

El análisis del estado inicial de la estimación de la población de microorganismos edáficos benéficos, particularmente bacterias y actinomicetos, se muestra en el cuadro 8, en donde se observa que estas se encontraron dentro de un rango típico (10^6 , a 10^9 UFC/gramo de suelo seco) para un suelo normal, excepto las *Pseudomonas* que estuvieron por debajo de este rango (6×10^3) UFC/g).

No obstante, el haberse encontrado una población microbiana aceptable en el suelo, se esperaba después de la aplicación de abono orgánico un incremento en la población bacteriana de *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Streptomyces* y *Lactobacillus*, ya que estas fueron inoculadas al suelo junto con el abono orgánico y en las semillas como en el caso del *Rhizobium* en el frijol. Pero los resultados muestran que esta situación no se dio y en algunas parcelas estas se redujeron como ocurrió con *Lactobacillus* y *Streptomyces*, que pasó en el caso del *Lactobacillus* de 2×10^6 a 1×10^5 hasta 6×10^5 UFC/g, y el *Streptomyces* de 3×10^6 a 2×10^5 hasta 3×10^5 , mientras que la población de *Rhizobium* se vio afectada positivamente cuando el suelo recibió 5000 Kg/ha de un abono orgánico que había sido inoculando al pasar de 3×10^7 a 2×10^9 UFC/g, en las otras parcelas esta bacteria bajo su población hasta 3×10^5 .

El *Azotobacter*, a su vez, mantuvo la población constante en los suelos de las parcelas tratadas con la dosis alta de compost (5000 Kg/ha) y en la tratada con 2000 Kg de compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos y adicionalmente fertilizante químico. En las demás parcelas el *Azotobacter* se redujo, mientras que la población de *Pseudomonas* se incrementó en todas las parcelas.

Según Vicent (1965), Vidor (1983) (citados por Luna, 2002), el comportamiento de la población microbiana del suelo es variable y extremadamente complejo e inconsistente. Tales autores afirman que pH por encima de 7,5 o por debajo de 5,0, el crecimiento de la población bacteriana se afecta negativamente; para el caso del experimento realizado tales pH estuvieron por encima de 7,5 al finalizar, guardando concordancia con lo afirmado. A esta condición puede adicionarse el comportamiento de la temperatura ambiente, la cual según el mismo Vidor (1983) debe mantenerse entre 24 a 30°C para un crecimiento

Cuadro 8. Cambio en el comportamiento de algunos microorganismos benéficos del suelo en función del sistema de uso y manejo.

Estado del suelo	Microorganismos identificados en UFC/g de suelo seco					
	Nitrificantes	Rhizobium	Streptomyces	Lactobacilos	Azotobacter	Pseudomonas
Inicial	2×10^6	3×10^7	3×10^6	2×10^6	1×10^6	6×10^3
Final:						
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	2×10^6	4×10^5	3×10^5	3×10^5	3×10^5	8×10^4
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	2×10^5	3×10^5	2×10^5	1×10^5	2×10^5	1×10^5
T3: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	2×10^6	2×10^6	2×10^6	6×10^5	1×10^6	5×10^4
T4: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	1×10^6	2×10^9	3×10^5	1×10^5	1×10^6	2×10^5
T5: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos	2×10^6	2×10^6	3×10^5	2×10^5	1×10^6	2×10^5
T6: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos	4×10^5	3×10^6	3×10^5	2×10^5	1×10^6	8×10^3
T7: Testigo sin fertilización	3×10^5	5×10^5	3×10^5	2×10^5	4×10^5	3×10^5

óptimo y durante la ejecución del experimento se registraron temperaturas superiores a 30°C.

Otros factores tales como la baja porosidad, reducción en el contenido de materia orgánica, exceso de algunos microelementos y deficiencia de otros, también tuvieron un papel relevante en el comportamiento de las poblaciones de microorganismos en el suelo; sin embargo, el recuento final reportado en los análisis para *Azotobacter*, *Rhizobium* y bacterias nitrificantes, muestra que aún se tiene un valor aceptable para realizar las funciones de fijación de nutrientes en plantas y descomposición de materia orgánica entre otras.

Los microorganismos patógenos presentaron un comportamiento variable; inicialmente los microorganismos más numerosos fueron los mesófilos (4×10^7 UFC/g), seguidos por mohos y levaduras (2×10^4 UFC/g), por último coliformes totales y esporas de *Clostridium sulfito reductoras* en la misma proporción (1×10^2 UFC/g). El recuento final mostró disminución en microorganismos mesófilos en el suelo en todos los tratamientos, en donde el suelo fue fertilizado con 5000 Kg de compost inoculado con hongos y bacterias presentó la mayor reducción en la población al pasar a 4×10^5 UFC/g. A diferencia de los mesófilos, los microorganismos coliformes totales y las ECSR aumentaron su población en el suelo, la máxima población de mesófilos se obtuvo en el suelo fertilizado con 2500 Kg de compost inoculado con hongos y bacterias (2×10^4 UFC/g). Valga aclarar que los *Clostridium*s, son patógenos al hombre pero benéficos al suelo ya que contribuyen a la descomposición de la materia orgánica y a la fijación de nitrógeno.

Cuadro 9. Variación en la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el suelo antes y después de la siembra.

Estado del suelo	Microorganismos identificados en UFC/g de suelo seco					
	Mesófilos	Coliformes totales	Coliformes fecales	Mohos y levaduras	Clostridium sulfito reductor	Salmonella
Inicial	4×10^7	1×10^2	(-)	2×10^4	1×10^2	Ausente
Final:						
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1×10^6	1×10^4	(-)	4×10^3	2×10^3	Ausente
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	9×10^5	2×10^4	(-)	6×10^3	2×10^3	Ausente
T3: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	8×10^5	6×10^3	(-)	4×10^4	1×10^3	Ausente
T4: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	6×10^5	1×10^4	(-)	5×10^3	2×10^3	Ausente
T5: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos	5×10^5	5×10^3	(-)	4×10^3	9×10^2	Ausente
T6: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos	4×10^5	4×10^3	(-)	7×10^3	2×10^3	Ausente
T7: Testigo sin fertilización	1×10^6	4×10^3	3×10^2	3×10^4	2×10^3	Ausente

Otra apreciación importante es la ausencia de Salmonella tanto en el estado inicial como en el final. Las poblaciones de mohos y levaduras se redujeron, excepto cuando el suelo no recibió ningún tipo de fertilización y en las parcelas que fueron fertilizadas con 2500 Kg de compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos, las cuales estuvieron entre 3×10^4 y 4×10^4 UFC/g. Es importante destacar que los valores de patógenos en el suelo son bajos, con excepción de los microorganismos mesófilos que tienen una población considerable (cuadro 9).

3.4 ENFERMEDADES Y PLAGAS QUE AFECTARON EL DESARROLLO DEL CULTIVO.

El cultivo de maíz es muy susceptible al ataque de numerosos patógenos. Los patógenos que atacan al maíz pueden interferir con ciertos procesos vitales de la planta y disminuir su eficiencia. Los principales procesos interferidos son: el metabolismo de las plántulas (enfermedades de semillas y plántulas), el transporte de agua y nutrientes (enfermedades vasculares) y otras tales como la pudrición de la planta.

Durante el desarrollo del cultivo, en el primer mes del mismo se pudieron observar pudriciones radiculares en maíz, las cuales pueden deberse al exceso de agua en el suelo o algún tipo de hongo. En la figura 16 se observa un daño del 50% en las plantas de una era, ocasionado por pudrición radicular.

· **Plagas.** Durante el desarrollo del cultivo se pudieron observar algunas plagas comunes a los cultivos desarrollados en el experimento:

§ **Cogollero del maíz. (*Spodoptera frugiperda*).** Conocido también con el nombre de “gusano ejercito”, es sin duda el más difundido y perjudicial en el cultivo de maíz en Colombia. Su forma más común de ataque es como cogollero, pero también causa daños de cierta consideración como gusano de la mazorca y en mayor grado como trozador. En su fase de trozador la cual ocurre cuando el cultivo se encuentra en estado de plántula, las larvas barrenan profundamente y pueden destruir la parte de crecimiento. Suelen bajar y atacar exteriormente la base de las plantas.

Figura 16. Enfermedades de la planta. Pudrición radicular.



En plantas de maíz mas desarrolladas los cogolleros penetran en el cogollo y devoran el follaje en las áreas de crecimiento. Su presencia en el interior se puede determinar al observar la salida de hojas con perforaciones y por el aserrín áspero y húmedo que dejan sus excreciones. En plantas bien desarrolladas pueden producir huecos grandes y profundos con el consecuente quebramiento del tallo. (ICA,

1975). En la figura 17 se puede observar la acción de esta plaga sobre la planta, cuando el cultivo tenía 30 días.

- Lorito verde. (*Empoasca kraemeri*). Esta es la plaga que más afecto al frijol en el desarrollo de este experimento. Los síntomas de daño causados por esta plaga son amarillamiento y enroscamiento (hacia abajo) de las hojas (debido a la intervención de una toxina). Provoca también que haya poco crecimiento de la planta y además los rendimientos se reducen drásticamente cuando los ataques ocurren en el primer mes del cultivo (Jaramillo, 1991).

Figura 17. a) Plaga del maíz, cogollero del maíz, acción sobre la planta. (derecha) y b) plaga de frijol, acción sobre la planta.



a)



b)

- Cucarroncitos de las hojas (Complejo Crisomélidos). Estos perforan las hojas y dañan la semilla. Esta plaga se observo durante el desarrollo del cultivo con poblaciones altas de los mismos

especialmente en el último mes y en las plantas de los suelos sin fertilización.

Para tratar de controlar estas plagas se aplicó ruda al cultivo la cual es recomendado en la agricultura orgánica.

3.5 EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACIÓN EVALUADOS EN LA PRODUCCIÓN DE LOS CULTIVOS DE FRIJOL VARIEDAD J1J1 Y MAIZ ICA V-304

En el cuadro 10, se visualizan los rendimientos obtenidos en frijón en donde se destaca una amplia variación en los resultados, como efecto de los diferentes tratamientos estudiados, los cuales oscilaron entre 136,4 y 1.392,8 Kg/ha cuando el frijón fue sembrado en la parcela que recibió 5000 Kg/ha de compost inoculado con hongos y actinomicetos o en la parcela que fue fertilizada con el mismo tipo de compost pero mejorado el nivel nutricional mediante la aplicación de 250 Kg/ha de un fertilizante químico, respectivamente.

Estas diferencias desde el punto de vista del análisis estadístico (ANOVA) resultaron ser altamente significativas (Cuadro 12 y 13), no existiendo diferencias significativas en producción entre las parcelas que recibieron 2500 Kg/ha de compost inoculado con hongos y actinomicetos (1.392,0 Kg/ha) y las que fueron abonadas con compost pero inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos (1.236,9 Kg/ha), resultado que permite indicar una buena producción de frijón y predecir al mismo tiempo una baja actuación de las bacterias que fueron inoculadas al compost, tratamientos que fueron estadísticamente muy superiores a los alcanzados con el resto de tratamientos, entre los cuales no se presentó diferencias, sin que entre estos últimos se

Cuadro 10. Producción (Kg/ha) de Frijol J1J1 en función de la fertilización evaluada.

Tratamientos	Producción en Kg/ha			Total	Promedio por Tratamiento
	Bloques				
	I	II	III		
T1: 2500 Kg/ha Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de fertilizante químico (15-15-15)	554,34	360,30	341,16	1.255,80	418.60
T2: 2500 Kg/ha Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de fertilizante químico (15-15-15)	1.682,82	1.303,32	1.192,14	4.178,28	1392.76
T3: 2500 Kg/ha Compost inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de fertilizante químico (15-15-15)	1.813,14	774,36	1.123,14	3.710,64	1236.88
T4: 5000 Kg/ha Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	226,14	91,98	820,32	1.138,44	379.48
T5: 5000 Kg/ha Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	69,00	26,82	313,32	409,14	136.38
T6: 5000 Kg/ha Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	383,34	467,64	64,62	915,60	305.20
T7: Testigo sin fertilización	532,80	19,14	69,62	1.249,56	416.52
Total	5.261,58	3.043,56	4.552,32	1.2857,46	4285.82
Promedio/Bloque	751,65	434,79	650,33	-	-

Cuadro 11. Producción (Kg/ha) de Maíz ICA V-304 en función de la fertilización evaluada.

Tratamientos	Producción en Kg/ha			Total	Promedio por Tratamiento
	Bloques				
	I	II	III		
T1: 2500 Kg/ha Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de fertilizante químico (15-15-15)	19,44	1.755,00	1.538,33	3.312,77	1.104,25
T2: 2500 Kg/ha Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de fertilizante químico (15-15-15)	50,11	1.423,88	783,61	2.257,6	752,53
T3: 2500 Kg/ha Compost inoculado con bacterias, hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de fertilizante químico (15-15-15)	77,78	1.715,28	1.303,61	3.096,67	1.032,22
T4: 5000 Kg/ha Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	158,89	27,94	2.019,44	2.206,27	735,42
T5: 5000 Kg/ha Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	33,61	90,55	1.339,72	1.463,88	487,96
T6: 5000 Kg/ha Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	66,66	848,61	1.345,28	2.260,55	753,51
T7: Testigo sin fertilización	8,61	0	1.552,77	1.561,38	520,46
Total	415,1	5.861,26	9.882,76	16.159,12	538,37
Promedio/Bloque	59,3	837,32	1.411,82	-	-

Cuadro 12. Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en la producción de frijol J1J1

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F OBSERVADA	F TABULADA	
					5%	1%
Total (T)	20	5.758.570,67	287.928,53	-	-	-
Bloque (B)	2	366.619,96	183.309,98	2,11 ^{NS}	3,89	9,33
Tratamiento (T)	6	4.350.248,65	725.041,44	8,35 ^{**}	3,00	4,82
error €	12	1.041.702,05	86.808,50	-	-	-

NS= No existe diferencia significativa

*= Diferencia significativa

**= Diferencia altamente significativa

Cuadro 13. Análisis método DUNCAN 1% para el efecto de los tratamientos de la producción en frijol.

TRATAMIENTOS	T2	T3	T1	T7	T4	T6	T5
Total producción (Kg/ha)	1392.76	1236.88	418.6	416.52	379.48	305.2	136.38
Factor R	-	1	1.05	1.08	1.1	1.12	1.14
DMS*R	A	a	b	b	B	B	b
	-	734.93	771.677	793.725	808.424	823.123	837.821

Promedios de tres repeticiones. Identificados con letras comunes no presentan diferencias significativas entre si.

Cuadro 14. Análisis de varianza para el efecto de los tratamientos en la producción de Maíz ICA V-304

Fuentes de variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F OBSERVADA	F TABULADA	
					5%	1%
Total (T)	20	11.158.208,60	557.910,42	-	-	-
Bloque (B)	2	6.450.938,42	3.225.469,21	10.36**	3,89	9,33
Tratamiento (T)	6	972.227,46	162.037,91	0.52 ^{NS}	3,00	4,82
Error (E)	12	3.735.042,69	311.253,55	-	-	-

NS= No existe diferencia significativa

*= Diferencia significativa

**= Diferencia altamente significativa

Cuadro 15. Análisis método DUNCAN 1% para el efecto de los tratamientos de la producción en maíz.

BLOQUES	BIII	BII	BI
Total producción Kg/ha	9.882,76	5.861,26	415,10
Factor R		1,00	1,05
	a	b	c
DMS*R		911,03	956,58

Promedios de tres repeticiones. Identificados con letras comunes no presentan diferencias significativas entre si.

hubiese detectado diferencias significativas, los cuales estuvieron por debajo del promedio de producción para el cultivo de frijol en la región. Así mismo, en los bloques no se encontró diferencia significativa.

Por su parte, en la producción de grano seco de maíz se encontraron diferencias altamente significativas entre los bloques (Cuadro 14), y diferencias entre los mismos al realizar el análisis de separación medias Duncan (Cuadro 15); debido a que esta varió desde 488,0 a 1.104,3 Kg/ha en las parcelas que recibieron 5000 Kg/ha de compost inoculado con hongos y actinomicetos y en las que recibieron una dosis baja de compost, que había sido inoculado con bacterias y actinomicetos. Al mismo tiempo recibió fertilización química, resultado que difiere del encontrado en frijol en donde una de las mejores producciones se logró con el compost pero inoculado con hongos y actinomicetos (Cuadros 10 y 11) señalando cierta preferencia del frijol por los hongos y el maíz por las bacterias.

3.6 ANALISIS ECONOMICO DE LOS TRATAMIENTOS DE FERTILIZACION EVALUADOS.

Al analizar el comportamiento económico de los diferentes tratamientos estudiados, se observó en frijol variedad J1J1 (Cuadros 17 a 19), que la aplicación de dosis alta (5000 Kg/ha) de abono orgánico, ya sea inoculado con hongos y actinomicetos o adicionalmente con bacterias, con costos de producción que oscilaron entre \$495.000 y \$557.500, ocasionaron pérdidas en el ingreso neto parcial de -\$254.936 y -\$20.348, respectivamente, mientras que cuando se usó la dosis baja (2500Kg/ha) y esta fertilización fue reforzada con químico en dosis de 250 Kg/ha, se logró incrementar el ingreso entre \$1.913.828 y \$249.236,

correspondiendo el valor superior al tratamiento que había recibido abono orgánico inoculado con hongos y actinomicetos y el valor inferior al tratamiento con compost inoculado con bacterias y actinomicetos, resultado este último que fue ampliamente superado por el tratamiento que no recibió fertilización, con un ingreso neto parcial de \$680.540 (cuadro 17).

Cuando se realizó el análisis de dominancia, se observó que tanto el tratamiento en donde se usó compost en dosis de 2500 Kg/ha como en donde no se usó fertilización, dominaron económicamente al resto de tratamientos, con una ventaja en rentabilidad marginal buena de 254.3% del primer tratamiento sobre el segundo; no obstante esta mayor rentabilidad, el agricultor debe estar dispuesto a incrementar el costo variable en \$485.000 con relación al testigo sin fertilización, para obtener un ingreso superior en \$1.233.288, que le representará una rentabilidad marginal de 254.3% (cuadro 19).

No hubo concordancia entre los resultados económicos mostrados por la especie fríjol con relación al maíz ICA V304, ya que para este cultivo la ventaja económica fue también para dosis baja de compost (2500 Kg/ha), pero en este caso cuando fue inoculado con bacterias y actinomicetos, el cual ocasionó un ingreso neto de \$1.194.165 (cuadro 20) y dominó al resto de tratamientos, excepto al testigo sin fertilización, que alcanzó un ingreso neto parcial de \$754.275 con el menor costo de producción (\$52.500) (cuadro 21). Este fue superado en el costo variable en \$465.000 por el tratamiento con compost pero al mismo tiempo también superó el ingreso neto en \$439.890, lo que representa una rentabilidad marginal de sólo 94.6% (cuadros 21 y 22).

Cuadro 16. Costos variables de producción para cada tratamiento.

TRATAMIENTOS	Insumo	Costo (\$)	Costo total (\$)
T1	2500 Kg/ha Compost	187.500	
	250 Kg/ha Fertilizante Qco	200.000	
	1L/ha Bacthon	40.000	
	Jornal de siembra y cosecha	60.000	487.500
T2	2500 Kg/ha Compost	187500	
	250 Kg/ha Fertilizante Qco	200.000	
	Hongos formadores de Micorrizas Trichoderma	30.000 30.000	
	Jornal de siembra y cosecha	90.000	537.500
T3	2500 Kg/ha Compost	187.500	
	250 Kg/ha Fertilizante Qco	200.000	
	1L/ha Bacthon	40.000	
	Hongos formadores de Micorrizas Trichoderma	30.000 30.000	
	Jornal de siembra y cosecha	97.500	585.000
T4	5000 Kg/ha Compost	375.000	
	1L/ha Bacón	40.000	
	Jornal de siembra y cosecha	75.000	490.000
T5	5000 Kg/ha Compost	375.000	
	Hongos formadores de Micorrizas Trichoderma	30.000 30.000	
	Jornal de siembra y cosecha	60.000	495.000
T6	5000 Kg/ha Compost	375.000	
	1L/ha Bacthon	40.000	
	Hongos formadores de Micorrizas Trichoderma	30.000 30.000	
	Jornal de siembra y cosecha	82.500	557.500
T7	Jornal, siembra y cosecha	52.500	52.500

Cuadro 17. Análisis de costos parciales de producción, valor de la producción e ingresos netos parciales para el frijol variedad J1J1

Tratamientos	Producción (Kg/ha)	Valor de la producción (\$)	Costos variables (\$)	Ingreso neto parcial (\$)
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	418,6	736.736	487.500	249.236
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1392,8	2.451.328	537.500	1.913.828
T3: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1236,9	2.176.944	585.000	1.591.944
T4: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	379,5	667.920	490.000	177.920
T5: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos	136,4	240.064	495.000	-254.936
T6: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos	305,2	537.152	557.500	-20.348
T7: Testigo sin fertilización	416,5	733.040	52.500	680.540

El valor de la producción corresponde a los precios actuales (Enero/2004) para el Frijol \$1.760 Kg.

Cuadro 18. Análisis de dominancia (Frijol J1J1).

Tratamientos	Ingreso neto parcial (\$)	Costos variables (\$)	Dominancia
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1.913.828	537.500	
T3: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15).	1.591.944	585.000	*
T7: Testigo sin fertilización	680.540	52.500	
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	249.236	487.500	*
T4: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	177.920	490.000	*
T6: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos	- 20.348	557.500	*
T5: 5000 kg/Ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos	-254.936	495.000	*

Cuadro 19. Análisis de rentabilidad marginal (%) para los tratamientos no dominados en frijol J1J1.

Tratamientos	Ingreso neto parcial (\$)	Costos variables (\$)	Incremento marginal en:		Rentabilidad marginal %
			Ingreso neto parcial (\$)	Costos variables (\$)	
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1.913.828	537.500	1233.288	485.000	254.3
T7: Testigo sin fertilización	680.540	52.500			

Cuadro 20. Análisis de costos parciales de producción, valor de la producción e ingresos netos parciales (Maíz ICA V-304).

Tratamientos	Producción (Kg/ha)	Valor de la producción (\$)	Costos variables (\$)	Ingreso neto parcial (\$)
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1104,3	1.711.665	517.500	1.194.165
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	752,5	1.166.375	522.500	643.875
T3: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1032,2	1.599.910	585.000	1.014.910
T4: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	735,4	1.139.870	505.000	634.870
T5: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos	488,0	756.400	510.000	246.400
T6: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos	753,5	1.167.925	572.500	595.425
Testigo sin fertilización	520,5	806.775	52.500	754.275

· El valor de la producción corresponde a los precios actuales (Enero/2004) para el Maíz \$1.550 Kg.

Cuadro 21. Análisis de dominancia (Maíz ICA V-304).

Tratamientos	Ingreso neto parcial (\$)	Costos variables (\$)	Dominancia
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1.194.165	517.500	
T3: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15).	1014.910	585.000	*
T7: Testigo sin fertilización	754.275	52.500	
T2: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15).	634.875	522.500	*
T4: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos	634.870	505.000	*
T6: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos, bacterias y actinomicetos	595.425	572.500	*
T5: 5000 Kg/ha de Compost inoculado con hongos y actinomicetos	246.400	510.000	*

Cuadro 22. Análisis de rentabilidad marginal (%) para los tratamientos no dominados en maíz ICA V-304.

Tratamientos	Ingreso neto parcial (\$)	Costos variables (\$)	Incremento marginal en:		Rentabilidad marginal %
			Ingreso neto parcial (\$)	Costos variables (\$)	
T1: 2500 Kg/ha de Compost inoculado con bacterias y actinomicetos + 250 Kg/ha de Fertilizante Qco (15-15-15)	1.194.165	517.500	439.890	465.000	94,6
T7: Testigo sin fertilización	754.275	52.500			

4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación no permiten aún sacar conclusiones definitivas sobre las bondades de los tratamientos estudiados como alternativas de bioremediación de suelos degradados, como tampoco permiten identificar un primer acercamiento a un modelo de comportamiento de este suelo, dada la amplia variabilidad en las respuestas obtenidas.

No obstante es posible señalar que:

Los tratamientos estudiados no alcanzaron a influir significativamente en el nivel inicial de nutrientes del suelo, a pesar de que, se dieron cambios positivos en ellos, correspondiendo los mejores aportes a los alcanzados cuando se aplicó 5000 kg/ha de compost y este había sido inoculado con bacterias y actinomicetos o con bacterias, hongos o actinomicetos.

La aplicación de 2500 kg/ha de compost inoculado con hongos y actinomicetos o con bacterias y actinomicetos y en ambos casos suplementada esta aplicación con 250 kg/ha de fertilizante químico compuesto, ocasionaron en fríjol, el mejor rendimiento de grano (1392.8 y 1236.9 kg/ha, respectivamente). No obstante la ventaja económica fue para el primer tratamiento mencionado (254.3% de rentabilidad marginal), el cual dominó económicamente al resto de tratamientos incluido el segundo de mejor rendimiento físico.

Los tratamientos de fertilización evaluados no alcanzaron a influir representativamente en las propiedades físicas del suelo permaneciendo prácticamente constantes a lo largo del experimento.

No obstante, las parcelas que presentaron mejor comportamiento fueron aquellas tratadas con dosis baja de abono orgánico inoculado con microorganismos y reforzada con fertilización química al presentar la mayor porosidad y la menor densidad aparente.

El comportamiento de la población microbial en el suelo fue variable e inconsistente. La reducción generalizada de microorganismos benéficos, principalmente los que habían sido inoculados en el abono orgánico fue el resultado mas inesperado. La mayoría de los resultados obtenidos en esta investigación fueron probablemente influenciados por acción del pH, interviniendo tanto en la disponibilidad de nutrientes como en la población de microorganismos. En el control de microorganismos patógenos la aplicación de 5000 kg/ha de compost inoculado con hongos y actinomicetos causaron el mayor beneficio.

5. RECOMENDACIONES

La agricultura del mañana no solo esta orientada a obtener mayores rendimientos y por ende incrementos económicos. Esta debe enfocarse en la investigación de alternativas tecnológicas conservacionistas; por lo tanto, se recomienda impulsar el uso de abonos orgánicos de buena calidad, tipo bioremediación inoculados con microorganismos benéficos, en aquellos lugares donde por el manejo inadecuado de los suelos se encuentren degradados tanto en su fertilidad por degradación química (perdida de nutrientes, salinización, etc) o por degradación física (perdida de la estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad, etc) como por contaminación (fertilizantes, metales pesados, hidrocarburos entre otros). En cualquiera de estos casos es recomendable estudiar las opciones en cuanto a microorganismos específicos disponibles para realizar estos procesos, ya sean nativos o introducidos en el suelo, principalmente a través de abono orgánico, que sea viable y apropiable por los agricultores.

Se sugiere adelantar una segunda fase por otro grupo de investigadores como complemento de esta, en sitios con condiciones agroclimáticas iguales y diferentes, en búsqueda de acopia del mayor numero de datos posibles que permitan evaluar las bondades del abono orgánico tipo bioremediación en la recuperación de la calidad del suelo, bajo diferentes ambientes.

Se propone realizar una campaña de información con los agricultores por parte de la Universidad o de entidades gubernamentales donde se promueva las buenas prácticas en producción de abonos tipo bioremediación, mostrando los beneficios económicos y ecológicos, al

poder realizarlos con los residuos de fácil disponibilidad y al contar con productos comerciales que contienen ya en fase inmovilizada los microorganismos benéficos.

BIBLIOGRAFIA

ANGULO S., Diomedes A. Efecto de la inoculación de *Azotobacter* spp en tres variedades de tres cruza de maíz para choclo. Perú. 1980. 68 paginas. Trabajo de grado. Ciudad Universitaria (UNC).

BAZAN S., Luzalbina M. Efecto del nitrógeno químico y biológico en el cultivo de maíz (*Zea mays*) en rendimiento para grano. Cajabamba y Cajamarca, Perú. 1987. 82 páginas. Trabajo de grado.

BURGOS, A. Vida del suelo. [on line]. 2003. [citado el 1 Junio de 2003] IBO S.A. Disponible en internet en:
<http://www.ibosa.org/vida_suelo.htm>

CHAUPE C., Segundo J. Ensayo de tres densidades de siembra y cuatro dosis de *Azotobacter* spp en maíz (*Zea mays* L) variedad canchero en Cajabamba. Cajabamba y Cajamarca, Perú. 1988. 77 paginas. Trabajo de grado.

CORREDOR G. Micorrizas arbusculares: aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas. [on line]. Corpoica reg. 1 Caribe. Noviembre de 2003. [citado el 20 de septiembre de 2003] Disponible en internet en: <<http://www.turipana.org.co/micorrizas.htm>>

DATTARI. Nuevo fertilizante biológico cubano [on line]. Habana Cuba. Comunidad inorgánica. 2003. [citado en septiembre de 2003]. Disponible en internet en: <www.inorganic.com>

ESQUIVEL, Roberta. Evaluación de la aplicación de hongos micorrizicos y *Azotobacter* en maíz (*Zea mays*) en Ayacucho y Suso. Ayacucho, Perú. 1996. 78 páginas. Trabajo de grado.

GONZALEZ, FLETCHER, Álvaro y MALAGON CASTRO, Dimas. Métodos analíticos de laboratorio de suelos. 5ª ed. Bogotá. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 1990. Pág. 7, 393.

GRANT, W.D. y LONG P.E. Microbiología ambiental. España. Editorial Acribia S.A. 1989. Pág. 7-13.

HENRY, Fabio. Propuesta del frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) a la inoculación rhizobium, micorrizas y materia orgánica prehumificada en la zona agroecológica de Piedecuesta (Santander). Bucaramanga. 1999. 140 páginas. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander.

HANKE, F. El equilibrio ecológico en el suelo y su influencia en la producción agrícola. En: Primer Congreso Internacional de Agricultura Biológica. Memorias del primer congreso internacional de agricultura. Primera edición. Tunja. Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 1995. Pág. 50-70.

HUACCHA T, Segundo L. Estudio de efectividad de 10 cepas de *Rhizobium phaseoli D.* en frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) variedad Gloriabamba en la localidad de Matara. Cajamarca, Perú. 1991. 75 páginas. Trabajo de grado.

ICA. El cultivo de Maíz, conferencias. Ministerio de Agricultura. Programa de maíz y sorgo. Septiembre de 1975.

IDEMA. Instituto de defensa del medio ambiente. Biofertilizantes. Arequipa. Perú. 2003.

JARAMILLO, Mario. El cultivo de frijol (*Phaseolus Vulgaris L*) en zona cafetera. Opciones tecnológicas. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Editolaser. Junio, 1991. 33 páginas.

LI, Ching Chun. Introducción a la estadística experimental. Barcelona. Ediciones Omega S.A. 1969. Edición traducida al español. Páginas 60-70.

LUNA, Luz. Producción, uso y manejo de bioestimulantes, abonos orgánicos, acondicionadores y biofertilizantes a partir de fuentes no convencionales. Segunda edición. Bucaramanga. Publicación CORPOICA. 2002. 60 páginas.

MAZZARINO, M.J. et al. Aprovechamiento integral de residuos orgánicos en el n.o. de patagonia. [on line]. Comahue. Editores: Grupo de suelos del crub (Universidad Nacional de Comahue) con el apoyo técnico de SURBASA. 2000. [citado en Junio de 2003]. Disponible en internet en: <<http://www.estrucplan.com.ar/Articulos/Residuos1.asp>>

MARINA SANCHEZ DE PRAGER. Conocimientos básicos sobre micorriza. En: Il curso sobre biología del suelo. (1º: 1994: Palmira). Memorias del Il curso sobre biología del suelo. Palmira, Valle. Vol 1. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, extensión universitaria. 1994.

NEGRO, M.J. et al. Producción y gestión del compost. [on line]. Centro de Técnicas agrarias. España. 2003. [citado en junio de 2004]. Disponible en internet en:
<http://www.agrilogica.com/tecnicas/compost_antiguo.htm>

OLIVARES, José. Estación experimental del Zaidín. Fijación biológica de nitrógeno. Granada, España. Actualización Junio de 2003. [citado en septiembre de 2003] Disponible en internet en:
<<http://www.eez.csic.es/~olivares/ciencia/fijacion/>>

OROZCO, Francisco Hernando. La biología del nitrógeno. Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas. Primera edición. Medellín. Impreso por graficas Montoya. 1999. 231 páginas. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, Facultad de Ciencias.

PLANTA INDUSTRIALIZADORA de desechos sólidos. [on line]. México. Cooper crouse-hinds. 2003. [citado en Junio de 2003]. Disponible en internet en: <<http://www.geocities.com/cccimisa/Basura/Basura01.htm>>

PROYECTO CORAZON Verde. [on line]. España. 2003. [citado en junio de 2003]. Disponible en internet en:
<<http://www.corazonverde.org/index1.html>>

RODRÍGUEZ R., Roger A. Efecto de cinco cepas de *Rhizobium phaseoli* D. en el rendimiento de una línea y una variedad de frijol (*Phaseolus vulgaris* L) en el valle de Cajamarca. Perú. 1987. 84 páginas.

ROSSET, Peter. Agricultura alternativa durante la crisis Cubana. [on line]. Oakland, USA. Institute for Food and Development Policy. Mayo 7 de 2002. [citado en Octubre de 2003]. Disponible en internet en: <<http://www.foodfirst.org/cuba/agalternativa.html>>

RUEDA, Sandra. Tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos mediante procesos Biológicos. Bucaramanga. 2001. Páginas 41-42. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Facultad de ciencias.

SICARD, Tomas L y Rodríguez S,L .Ciencia, tecnología y ambiente en la agricultura colombiana-Diagnostico [on line]. Bogota, Colombia 2003. [citado en octubre de 2003]. Disponible en internet en: <www.sabanet.unisabana.edu.co. Pdf.>

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA (UPTC), CORPORACIÓN PARA LA CONSERVACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE (BIOMA). Medio ambiente y agricultura ecológica. “Primer Congreso Internacional de Agricultura Biológica”. Primera edición. Editorial de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja. 1995. Pág. 15-35.

VESGA, Fidson. MENDOZA, Carlos. Utilización de inoculantes microbianos para el mejoramiento de suelos contaminados por la extracción del carbón mineral. Bucaramanga. 1999. Páginas 9-11. Trabajo de grado. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ciencias.

ANEXO A

METODOS ANALÍTICOS QUÍMICOS ESTANDARIZADOS EN EL LABORATORIO DE SUELOS DE LA SECRETARIA DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL DE SANTANDER

ANÁLISIS QUÍMICO DEL SUELO			
ANALISIS	UNIDADES	METODO EMPLEADO	EXTRACCION
PH	Unidad	Potenciometrico	Agua destilada
Determinación de Materia Orgánica	Porcentaje %	Walkley y Black	Dicromato de Potasio y Ácido sulfúrico
Intercambio Cationico	Meq. Atomo/100gr de suelo	Titulación	Acetato de Amonio
Fósforo disponible	ppm	Calorimétrico: Bray II	Ácido Clorhídrico (0.1 N) y NH ₄ F (0.03 N)
Azufre	Ppm	Turbidimetrico	Fosfato Monocalcico
Bases Intercambiables (Ca, Mg, Na, K)	Meq. Atomo/100gr de suelo	Absorción Atómica	Acetato de Amonio
Elementos Menores (Fe, Mn, Cu, Zn)	ppm	Absorción atómica	DTPA
Boro	ppm	Colorimétrico	Fosfato Monocálcico
Nitrógeno Total	%	Método Modificado de Kjeldahl	Digestión con ácido sulfúrico
ANÁLISIS FÍSICO DEL SUELO			
Textura	Porcentaje %	Bouyoucus	Agua destilada
Densidad aparente	gr/cm ³	Cilindro	
Densidad real	gr/cm ³	Peso de partícula solida seco/ volumen desalojado	Agua destilada
Porosidad	%	Relación D _a y D _r	-

ANEXO B

MÉTODOS ANALÍTICOS MICROBIOLÓGICOS ESTANDARIZADOS EN EL LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA Y BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR CINBIN

ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL SUELO	RECUESTO POBLACIONAL DE MICROORGANISMOS
Benéficos	Recuento en placa de Azotobacter
	Recuento en placa de Lactobacillus
	Recuento en placa de Nitrificantes
	Recuento en placa de Rhizobium
	Recuento en placa de Pseudomonas
Recuento en placa de Streptomyces	
Patógenos	Recuento en placa de mesofilos (RM)
	Esporas Clostridium Sulfito Reductor (E.C.S.R.)
	Recuento en placa de coliformes totales (RCT)
	Recuento en placa de coliformes fecales (RCF)
	Recuento en placa de mohos y levadura (RML)
	Presencia o ausencia de Salmonella

ANEXO C

CONSIDERACIONES GENERALES PARA LA INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE SUELOS DEL INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI

pH en agua 1:1	Apreciación	P Ppm (BRAY II)	K (meq/100g)	%MO			% N total			CIC (meq/ 100g)	Saturación de bases (%)		
				CLIMA			CLIMA						
				Frío	Medio	Calido	Frío	Medio	Calido				
<4.5	Bajo	<15	<0.2	<5	<3	>2	<0.25	<0.15	<0.1	<10	<35		
Extremadamente ácido 4.6-5.0	Medio	15-40	0.2-0.4	5-10	3-3.5	2-4	0.26-0.5	0.16-0.3	0.1-0.2	10-20	35-50		
Muy fuertemente ácido 5.1-5.5	Alto	>40	>0.4	>10	>5	>4	>0.5	>0.3	>0.2	>20	>50		
Fuertemente ácido 5.6-6.0	Apreciación	RELACIONES				CLASIFICACION DE ACUERDO CON SALES Y SODIO			SATURACION CON ALUMINIO	APRECIACION			
Medianamente ácido 6.1-6.5		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	(Ca+Mg)/K	CE Mmohm s/cm	PSI %	Clase	<15	Sin problemas en general limitante para cultivos susceptibles			
Ligeramente ácido 6.6-7.3	RELACIÓN IDEAL	2-4	3	6	10	Inferior a 15	Normal	Límite	15-30	Limitante para cultivos moderadamente tolerantes			
Neutro 7.4-7.8	K deficiente		>18	>30	>40				0-2	S1	30-60	Limitante para cultivos tolerantes	
Ligeramente alcalino 7.9-8.4	Mg deficiente	>10	<1						2-4		S2	>60	Niveles tóxicos para la mayoría de cultivos
Medianamente alcalino 8.5-9.0									4-8				
Fuertemente alcalino >9.0	CONT. OPTIMO	ELEMENTOS MENORES * (ppm)				>16	Superior a 15	S3	*Extractables con DPTA en suelos; digestión húmeda en tejido vegetal. Boro en suelos (extractable en agua caliente), 0.6 ppm. Boro en tejido vegetal: 30-80 ppm				
Ext. Alcalino		Zn	Cu	Mn	Fe	0-4				Na			
	Suelo	3-6	1.5-3	15-30	20-30	4-8				NaS1			
	Planta	30-100	5-25	30-200	60-500	8-16	NaS2						
						>16	NaS3						