

**DETERMINACION Y SEGUIMIENTO A NIVEL DE INVERNADERO DEL  
METABOLISMO Y LA MATERIA ORGÁNICA DE UN SUELO EROSIONADO DE LA  
LOCALIDAD DE MONDOÑEDO, UTILIZANDO EL BIOESTIMULANTE EM  
(MICROORGANISMOS EFICIENTES) COMO RECUPERADOR DE SUELOS**

**DIANA MARCELA MACANA GUERRERO  
41001057**

**ASTRID FABIOLA MALDONADO DÍAZ  
41001058**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
AREA DE SUELOS  
BOGOTÁ, D.C.  
2006**

**DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO A NIVEL DE INVERNADERO DEL  
METABOLISMO Y LA MATERIA ORGÁNICA DE UN SUELO EROSIONADO DE LA  
LOCALIDAD DE MONDOÑEDO, UTILIZANDO EL BIOESTIMULANTE EM  
(MICROORGANISMOS EFICIENTES) COMO RECUPERADOR DE SUELOS**

**DIANA MARCELA MACANA GUERRERO  
ASTRID FABIOLA MALDONADO DÍAZ**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
Ingeniera Ambiental y Sanitaria**

**Director  
Jesús Alberto Lagos Caballero  
Ingeniero Agrónomo M. Sc. Suelos**

**UNIVERSIDAD DE LA SALLE  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA  
AREA DE SUELOS  
BOGOTÁ, D.C.  
2006**

La Universidad no se hace responsable por las ideas expuestas en este documento.

**Art. 42. Parágrafo 2.  
Reglamento estudiantil.**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Bogotá, D.C. Febrero de 2006**

A Dios y a la Santísima Virgen porque siempre estuvieron iluminando mi camino.

A mis Padres Alfonso y Alicia porque gracias a su amor, confianza y apoyo estoy culminando otra etapa de mi vida.

A mis hermanos porque siempre estuvieron ahí apoyándome y ayudándome para que lograra este anhelado título, pero en especial a mi hermana Liliana quien siempre creyó en mí y en mis capacidades.

A la memoria de mi abuelita Carlina quien desafortunadamente no logró estar conmigo en la obtención de mi título pero que cuando estuvo a mi lado me regaló amor, confianza, consejos y muchas fuerzas para salir adelante.

A mi novio Darío a quien amo con todo mi corazón pues siempre creyó en mí, siempre estuvo a mi lado brindándome su amor, su confianza y lo más importante su ayuda desinteresada.

A Makis por su paciencia, dedicación y lo mas importante por creer en mi.

A todas las personas que directa o indirectamente ayudaron para que fuera posible llegar hasta el lugar donde estoy.

*Astrid.*

A mis padres Edilberto y Ana, a mis abuelitos Rosalba y Arturo y a mis tías Consuelo y Patricia.

A Lenin, Nathalie, Sergio, Leonardo y Astrid, para que siempre crean en la realidad de sus ideales.

*Diana.*

## **AGRADECIMIENTOS**

Las autoras expresan sus agradecimientos a:

Jesús Alberto Lagos Caballero, Director de tesis; por la colaboración prestada durante la ejecución del proyecto.

Camilo Guáqueta, Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, por su pronta colaboración para que fuera posible llevar a cabo el proyecto.

Departamento de Servicios Generales de la Universidad de la Salle, por su ayuda en el montaje del invernadero.

Carlos Rodríguez, Técnico del Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, por su gran colaboración y acompañamiento a lo largo de la investigación.

Profesores de la Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, porque gracias a los conocimientos que nos aportaron a lo largo de la carrera fue posible llevar a cabo la investigación.

Darío Rubio, Ingeniero Civil, por su amable y desinteresada colaboración a lo largo de la ejecución del proyecto.

Luisa Fernanda Román y Carlos Rubio, Ingenieros Agrónomos, por su oportuna colaboración a lo largo de la investigación.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	27
OBJETIVOS	28
OBJETIVO GENERAL	28
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	28
1. MARCO TEÓRICO	29
1.1. LOCALIDAD DE MONDOÑEDO	29
1.1.1. Ubicación.	29
1.1.2. Tipo de suelo.	29
1.1.3. Climatología.	31
1.2 ACACIA JAPONESA	31
1.3 EL SUELO	33
1.3.1. Fase sólida.	33
1.3.2. Fase líquida.	33
1.3.3. Fase cambiante.	33
1.3.4. Fase biológica.	33
1.4. MATERIA ORGÁNICA	34
1.4.1. Descomposición de la materia orgánica.	36
1.4.1.1. Inmovilización de la materia orgánica.	36
1.4.1.2. Mineralización de la materia orgánica.	37
1.4.2. Factores que afectan la descomposición de la materia orgánica.	38
1.4.2.1. Temperatura.	38
1.4.2.2. Humedad.	38
1.4.2.3. pH.	39
1.4.3. Microorganismos que afectan la descomposición de la materia orgánica.	39
1.4.3.1. Bacterias.	40
1.4.3.2. Hongos.	40
1.4.3.3. Actinomicetos.	40
1.4.3.4. Algas.	40
1.4.4. Acción de la materia orgánica sobre las propiedades químicas y físicas del suelo.	40
1.4.4.1. Propiedades químicas del suelo.	41
1.4.4.2. Propiedades físicas del suelo.	41
1.5. EL HUMUS	42
1.6. METABOLISMO DEL SUELO	43
1.7. EL NITRÓGENO	44
1.7.1. Ciclo del nitrógeno.	45
1.7.1.1. Nitrificación.	45
1.7.1.2. Desnitrificación.	45
1.7.2. Mineralización del nitrógeno.	46

1.7.3. Inmovilización del nitrógeno.	47
1.8. EL CARBONO	47
1.8.1. Ciclo del carbono.	47
1.8.2. Inmovilización del carbono.	48
1.8.3. Mineralización del carbono.	49
1.9. RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO (C/N)	49
1.10. ABONOS	50
1.10.1. Mulch.	50
1.10.2. Gallinaza.	51
1.10.3. Fertilización química.	51
1.10.4. Microorganismos eficientes (EM)	52
1.10.4.1. Bacterias fototrópicas.	52
1.10.4.2. Bacterias ácido lácticas.	52
1.10.4.3. Levaduras.	52
1.11. MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES	53
1.11.1. Calcio.	53
1.11.2. Cobre.	54
1.11.3. Hierro.	54
1.11.4. Magnesio.	54
1.11.5. Manganeseo.	55
1.11.6. Potasio.	55
1.11.7. Sodio.	55
2. DISEÑO METODOLÓGICO	56
2.1. LOCALIZACIÓN	56
2.2. TOMA DE MUESTRAS	57
2.3. MONTAJE DE UNIDADES EXPERIMENTALES	58
2.4. TRATAMIENTOS	59
2.5. SIEMBRA DE PLANTAS	62
2.6. CÁLCULO DE AGUA PARA RIEGO	62
2.7. DOSIS DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM) A APLICAR	64
2.8. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	64
2.9. DETERMINACIÓN DEL METABOLISMO DEL SUELO	65
2.10. DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO	66
3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
3.1. MATERIA ORGÁNICA	67
3.2. CARBONO ORGÁNICO	73
3.3. NITRÓGENO TOTAL	78
3.4. METABOLISMO	83
3.5. pH	91
3.6. ANÁLISIS FOLIAR DE LAS PLANTAS	94
3.6.1. Calcio.	94
3.6.2. Cobre.	99
3.6.3. Hierro.	104
3.6.4. Magnesio.	108
3.6.5. Manganeseo.	112
3.6.6. Potasio.	117
3.6.7. Sodio.	122



3.7. ANÁLISIS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS	126
3.7.1. Compost.	126
3.7.2. Gallinaza.	127
3.7.3. Microorganismos eficientes (EM)	128
3.7.4. Mulch.	129
3.8. ANÁLISIS MORFOLÓGICO	130
3.8.1. Diámetro.	130
3.8.2. Hojas.	135
3.8.3. Ramas.	139
3.9. PESO HÚMEDO	143
3.9.1. Peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	143
3.9.2. Peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	145
3.10. PESO SECO	147
3.10.1. Peso seco en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	147
3.10.2. Peso seco en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	149
3.11. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNIC (CIC)	151
3.12. DENSIDAD APARENTE	154
3.13. DENSIDAD REAL	155
4. CONCLUSIONES	156
5. RECOMENDACIONES	159
BIBLIOGRAFÍA	161
ANEXOS	166

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Panorámica de la formación Mondoñedo.	29
<b>Figura 2.</b> Horizonte A de la zona de estudio.	30
<b>Figura 3.</b> Plántula de acacia japonesa.	32
<b>Figura 4.</b> Semillas de acacia japonesa.	32
<b>Figura 5.</b> Inmovilización y mineralización.	37
<b>Figura 6.</b> Ciclo del nitrógeno.	46
<b>Figura 7.</b> Ciclo del carbono.	48
<b>Figura 8.</b> Invernadero.	56
<b>Figura 9.</b> Horizontes del suelo.	57
<b>Figura 10.</b> Toma de muestras.	57
<b>Figura 11.</b> Montaje de unidad experimental.	58
<b>Figura 12.</b> Diseño de bloques completos al azar.	62
<b>Figura 13.</b> Aplicación del riego.	63
<b>Figura 14.</b> Distribución de las unidades experimentales en el invernadero.	65
<b>Figura 15.</b> Determinación del metabolismo del suelo.	66
<b>Figura 16.</b> Resultados de materia orgánica en el suelo por tratamiento a los 68 días.	67
<b>Figura 17.</b> Resultados de materia orgánica en el suelo por tratamiento a los 105 días.	69
<b>Figura 18.</b> Resultados de carbono orgánico en el suelo por tratamiento a los 68 días.	73
<b>Figura 19.</b> Resultados de carbono orgánico en el suelo por tratamiento a los 105 días.	75

<b>Figura 20.</b> Resultados de nitrógeno total en el suelo por tratamiento a los 68 días.	78
<b>Figura 21.</b> Resultados de nitrógeno total en el suelo por tratamiento a los 105 días.	80
<b>Figura 22.</b> Resultados de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en el suelo por tratamiento a los 44 días.	83
<b>Figura 23.</b> Resultados de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en el suelo por tratamiento a los 103 días.	85
<b>Figura 24.</b> Resultados de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en el suelo a través del tiempo.	89
<b>Figura 25.</b> Resultados de pH en el suelo.	91
<b>Figura 26.</b> Resultados de calcio (Ca) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	94
<b>Figura 27.</b> Resultados de calcio (Ca) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	96
<b>Figura 28.</b> Resultados de cobre (Cu) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	99
<b>Figura 29.</b> Resultados de cobre (Cu) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	101
<b>Figura 30.</b> Resultados de hierro (Fe) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	104
<b>Figura 31.</b> Resultados de hierro (Fe) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	106
<b>Figura 32.</b> Resultados de magnesio (Mg) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	108
<b>Figura 33.</b> Resultados de magnesio (Mg) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	110
<b>Figura 34.</b> Resultados de manganeso (Mn) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	112
<b>Figura 35.</b> Resultados de manganeso (Mn) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	115
<b>Figura 36.</b> Resultados de potasio (K) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	117
<b>Figura 37.</b> Resultados de potasio (K) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	119

<b>Figura 38.</b> Resultados de sodio (Na) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	122
<b>Figura 39.</b> Resultados de sodio (Na) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	124
<b>Figura 40.</b> Composición del compost.	126
<b>Figura 41.</b> Composición de la gallinaza.	127
<b>Figura 42.</b> Composición del bioestimulante EM (microorganismos eficientes).	128
<b>Figura 43.</b> Composición del mulch.	129
<b>Figura 44.</b> Diámetro del tallo de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	130
<b>Figura 45.</b> Diámetro de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	133
<b>Figura 46.</b> Hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	135
<b>Figura 47.</b> Hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	137
<b>Figura 48.</b> Ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	139
<b>Figura 49.</b> Ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	141
<b>Figura 50.</b> Peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	143
<b>Figura 51.</b> Peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	145
<b>Figura 52.</b> Peso seco de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	147
<b>Figura 53.</b> Peso seco de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	149
<b>Figura 54.</b> Resultados de capacidad de intercambio catiónico en el suelo por tratamiento.	151

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Formación y tipo de suelo de la formación Mondoñedo.	30
<b>Tabla 2.</b> Interpretación de los resultados de materia orgánica y carbono orgánico en suelos.	35
<b>Tabla 3.</b> Apreciación del porcentaje de materia orgánica según el clima.	38
<b>Tabla 4.</b> Efectos del pH en el suelo.	39
<b>Tabla 5.</b> Composición del humus.	42
<b>Tabla 6.</b> Estimativo conceptual del nitrógeno en los suelos.	44
<b>Tabla 7.</b> Apreciación del porcentaje de nitrógeno total según el clima.	44
<b>Tabla 8.</b> Clasificación del contenido de nitrógeno total sin tener en cuenta el clima.	45
<b>Tabla 9.</b> Relación Carbono/Nitrógeno.	50
<b>Tabla 10.</b> Composición en porcentaje de la gallinaza.	51
<b>Tabla 11.</b> Dosis en kg/árbol 3 a 4 meses.	59
<b>Tabla 12.</b> Necesidades nutricionales del suelo.	60
<b>Tabla 13.</b> Composición del fertilizante UR-FOS.	60
<b>Tabla 14.</b> Identificación de las unidades experimentales.	61
<b>Tabla 15.</b> Resultados de materia orgánica en el suelo por tratamiento a los 68 días.	67
<b>Tabla 16.</b> Análisis de varianza para materia orgánica a los 68 días.	68
<b>Tabla 17.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para materia orgánica a los 68 días.	68
<b>Tabla 18.</b> Resultados de materia orgánica en el suelo por tratamiento a los 105 días.	69

<b>Tabla 19.</b> Análisis de varianza para materia orgánica a los 105 días.	70
<b>Tabla 20.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para materia orgánica a los 105 días.	70
<b>Tabla 21.</b> Resultados de carbono orgánico en el suelo por tratamiento a los 68 días.	73
<b>Tabla 22.</b> Análisis de varianza para carbono orgánico a los 68 días.	74
<b>Tabla 23.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para carbono orgánico a los 68 días.	74
<b>Tabla 24.</b> Resultados de carbono orgánico en el suelo por tratamiento a los 105 días.	75
<b>Tabla 25.</b> Análisis de varianza para carbono orgánico a los 105 días.	76
<b>Tabla 26.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para carbono orgánico a los 105 días.	76
<b>Tabla 27.</b> Resultados de nitrógeno total en el suelo por tratamiento a los 68 días.	78
<b>Tabla 28.</b> Análisis de varianza para nitrógeno total a los 68 días.	79
<b>Tabla 29.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para nitrógeno total a los 68 días.	79
<b>Tabla 30.</b> Resultados de nitrógeno total en el suelo por tratamiento a los 105 días.	80
<b>Tabla 31.</b> Análisis de varianza para nitrógeno total a los 105 días.	81
<b>Tabla 32.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para nitrógeno total a los 105 días.	81
<b>Tabla 33.</b> Resultados de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en el suelo por tratamiento a los 44 días.	84
<b>Tabla 34.</b> Análisis de varianza para dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) a los 44 días.	84
<b>Tabla 35.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) a los 44 días.	85
<b>Tabla 36.</b> Resultados de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en el suelo por tratamiento a los 103 días.	86
<b>Tabla 37.</b> Análisis de varianza para dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) a los 103 días.	86

<b>Tabla 38.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) a los 103 días.	87
<b>Tabla 39.</b> Resultados de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) en el suelo a través del tiempo.	89
<b>Tabla 40.</b> Resultados de pH en el suelo.	91
<b>Tabla 41.</b> Análisis de varianza para pH.	92
<b>Tabla 42.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para pH.	92
<b>Tabla 43.</b> Clasificación del suelo de acuerdo al pH.	93
<b>Tabla 44.</b> Resultados de calcio (Ca) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	94
<b>Tabla 45.</b> Análisis de varianza para calcio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	95
<b>Tabla 46.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para calcio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	95
<b>Tabla 47.</b> Resultados de calcio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	97
<b>Tabla 48.</b> Análisis de varianza para calcio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	97
<b>Tabla 49.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para calcio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	98
<b>Tabla 50.</b> Resultados de cobre (Cu) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	99
<b>Tabla 51.</b> Análisis de varianza para cobre en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	100
<b>Tabla 52.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para cobre en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	100
<b>Tabla 53.</b> Resultados de cobre (Cu) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	102
<b>Tabla 54.</b> Análisis de varianza para cobre en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	102
<b>Tabla 55.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para cobre en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	103

<b>Tabla 56.</b> Resultados de hierro (Fe) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	104
<b>Tabla 57.</b> Análisis de varianza para hierro en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	105
<b>Tabla 58.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para hierro en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	105
<b>Tabla 59.</b> Resultados de hierro (Fe) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	106
<b>Tabla 60.</b> Análisis de varianza para hierro en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	107
<b>Tabla 61.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para hierro en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	107
<b>Tabla 62.</b> Resultados de magnesio (Mg) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	109
<b>Tabla 63.</b> Análisis de varianza para magnesio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	109
<b>Tabla 64.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para magnesio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	110
<b>Tabla 65.</b> Resultados de magnesio (Mg) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	111
<b>Tabla 66.</b> Análisis de varianza para magnesio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	111
<b>Tabla 67.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para magnesio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	112
<b>Tabla 68.</b> Resultados de manganeso (Mn) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	113
<b>Tabla 69.</b> Análisis de varianza para manganeso en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	113
<b>Tabla 70.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para manganeso en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	114
<b>Tabla 71.</b> Resultados de manganeso (Mn) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	115



<b>Tabla 72.</b> Análisis de varianza para manganeso en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	116
<b>Tabla 73.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para manganeso en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	116
<b>Tabla 74.</b> Resultados de potasio (K) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	117
<b>Tabla 75.</b> Análisis de varianza para potasio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	118
<b>Tabla 76.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para potasio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	118
<b>Tabla 77.</b> Resultados de potasio (K) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	120
<b>Tabla 78.</b> Análisis de varianza para potasio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	120
<b>Tabla 79.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para potasio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	121
<b>Tabla 80.</b> Resultados de sodio (Na) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	122
<b>Tabla 81.</b> Análisis de varianza para sodio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	123
<b>Tabla 82.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para sodio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	123
<b>Tabla 83.</b> Resultados de sodio (Na) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	124
<b>Tabla 84.</b> Análisis de varianza para sodio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	125
<b>Tabla 85.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para sodio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	125
<b>Tabla 86.</b> Composición del compost.	126
<b>Tabla 87.</b> Composición de la gallinaza.	127
<b>Tabla 88.</b> Composición del bioestimulante EM (microorganismos eficientes).	128
<b>Tabla 89.</b> Composición del mulch.	129

<b>Tabla 90.</b> Diámetro del tallo de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	131
<b>Tabla 91.</b> Análisis de varianza para diámetro del tallo de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	132
<b>Tabla 92.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para diámetro del tallo de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	132
<b>Tabla 93.</b> Diámetro de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	133
<b>Tabla 94.</b> Análisis de varianza para diámetro del tallo de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	134
<b>Tabla 95.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para diámetro del tallo de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	134
<b>Tabla 96.</b> Hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	135
<b>Tabla 97.</b> Análisis de varianza para hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	136
<b>Tabla 98.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	136
<b>Tabla 99.</b> Hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	137
<b>Tabla 100.</b> Análisis de varianza para hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	138
<b>Tabla 101.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	138
<b>Tabla 102.</b> Ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	139
<b>Tabla 103.</b> Análisis de varianza para ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	140
<b>Tabla 104.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	140

<b>Tabla.105</b> Ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	141
<b>Tabla 106.</b> Análisis de varianza para ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	142
<b>Tabla 107.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	142
<b>Tabla 108.</b> Peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	143
<b>Tabla 109.</b> Análisis de varianza para peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	144
<b>Tabla 110.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	144
<b>Tabla 111.</b> Peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	145
<b>Tabla 112.</b> Análisis de varianza para peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	146
<b>Tabla 113.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	146
<b>Tabla 114.</b> Peso seco de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	147
<b>Tabla 115.</b> Análisis de varianza para peso seco en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	148
<b>Tabla 116.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para peso seco en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.	148
<b>Tabla 117.</b> Peso seco de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	149
<b>Tabla 118.</b> Análisis de varianza para peso seco en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	150
<b>Tabla 119.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para peso seco en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.	150

<b>Tabla 120.</b> Resultados de capacidad de intercambio catiónico en el suelo por tratamiento.	152
<b>Tabla 121.</b> Análisis de varianza para la capacidad de intercambio catiónico.	152
<b>Tabla 122.</b> Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para la capacidad de intercambio catiónico.	153
<b>Tabla 123.</b> Densidad aparente por tratamiento.	154
<b>Tabla 124.</b> Densidad real por tratamiento.	155

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
<b>ANEXO A.</b> Análisis inicial del suelo de estudio.	167
<b>ANEXO B:</b> Protocolos de laboratorio.	168
<b>ANEXO C.</b> Clasificación de la génesis y la evolución de los suelos.	174
<b>ANEXO D.</b> Comparaciones múltiples de Dunnett y Tukey.	175
<b>ANEXO E.</b> Materia orgánica total.	198
<b>ANEXO F.</b> Metabolismo total.	199
<b>ANEXO G.</b> Tendencia general existente entre el pH del suelo y la asimilación.	200
<b>ANEXO H.</b> Elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores.	201
<b>ANEXO I.</b> Registros de temperatura.	202
<b>ANEXO J.</b> Efecto del pH del suelo sobre la disponibilidad de los nutrientes.	203
<b>ANEXO K.</b> Factores fundamentales de asimilabilidad, acciones y efectos.	204
<b>ANEXO L.</b> Resultados de materia orgánica durante la investigación.	206
<b>ANEXO M.</b> Resultados de carbono orgánico.	207
<b>ANEXO N.</b> Resultados de nitrógeno total.	208
<b>ANEXO O.</b> Relación Carbono/Nitrógeno.	209
<b>ANEXO P.</b> Datos de metabolismo.	210
<b>ANEXO Q.</b> Tabla resumen de los datos del análisis foliar.	211
<b>ANEXO R.</b> Resultados de peso seco en las plantas.	212
<b>ANEXO S.</b> Resultados de peso húmedo en las plantas.	213
<b>ANEXO T.</b> Resultados de densidad aparente.	214
<b>ANEXO U.</b> Resultados de densidad real.	215

## GLOSARIO

**ABONO:** material aplicado al suelo para suministrar nutrientes como nitrógeno, fósforo, y potasio. Los abonos orgánicos provienen de materia orgánica natural mientras que los abonos inorgánicos son una mezcla de uno o más nutrientes necesarios.

**ACTINOMICETO:** orden de microbios comunes para el suelo; son bacterias pero se parecen a los hongos en que tienen un micelio. Importantes descomponedores y fuentes de antibióticos médicos.

**ANÁLISIS DE TEJIDO FOLIAR:** prueba o evaluación cuantitativa del contenido de nutriente del tejido de una planta macerada.

**BACTERIAS:** organismos unicelulares que abundan en el suelo.

**CAPACIDAD DE CAMPO:** porcentaje del agua que permanece en el suelo justo después de la paralización del drenaje.

**CICLO DEL CARBONO:** proceso donde el  $\text{CO}_2$  del aire cambia a carbono orgánico y donde la fotosíntesis toma la energía solar convirtiéndola en energía química almacenada en azúcar simple y en otros hidratos de carbono.

**CICLO DEL NITRÓGENO:** serie de cambios del nitrógeno atmosférico a la fijación del nitrógeno en el suelo y finalmente retorno de éste a la atmósfera.

**CLOROFILA:** pigmento verde de los vegetales que absorbe la energía de la luz requerida para la fotosíntesis.

**COMPOST:** material orgánico de color oscuro. Mejora la capacidad de almacenamiento de agua del suelo, reduce la relación C/N y aumenta la solubilización de los nutrientes haciéndolos asimilables por las plantas debido a su elevada carga enzimática y bacteriana.

**DENSIDAD APARENTE DEL SUELO:** es la relación de la masa al volumen microscópico ocupado por las partículas del suelo más el espacio poroso

**DENSIDAD REAL DEL SUELO:** se refiere a la densidad de las partículas sólidas estimada colectivamente. Se expresa como la relación de la masa total de las partículas sólidas a su volumen total, excluyendo el volumen ocupado por los poros entre las partículas.

**DESNITRIFICACIÓN:** reacción química producida por ciertos microorganismos en el suelo que cambian el nitrógeno nitrato a nitrógeno gaseoso o en óxidos de nitrógeno gaseoso.

**EPIPEDÓN:** horizonte más superficial del suelo.

**EROSIÓN:** desprendimiento y arrastre de la capa vegetal de la tierra por el viento, el agua, el aire o actividades antrópicas. Degrada al suelo dándole una textura de arena y roca.

**FOTOSÍNTESIS:** reacción en presencia de la clorofila, de  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  para formar azúcar utilizando la energía de la luz solar.

**GALLINAZA:** desecho del proceso digestivo de las aves. Abono con alto contenido de nitrógeno y nutrientes claves para el desarrollo de las plantas.

**HONGOS:** Son los principales descomponedores del suelo junto con las bacterias y pueden atacar materia orgánica resistente a la descomposición.

**HUMUS:** residuo marrón o negro, suave y esponjoso que queda después de la descomposición de la materia orgánica. Se oxida lentamente. Es importante para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo.

**INMOVILIZACIÓN:** absorción de un nutriente disponible por parte de un organismo del suelo o planta, los cuales lo transforman en formas orgánicas no disponibles.

**MACRONUTRIENTES:** elementos requeridos por las plantas en grandes cantidades: Ca, Mg, S, N, P y K.

**MATERIA ORGÁNICA:** toda sustancia carbonada proveniente de restos animales y vegetales sujeta a la descomposición de los microorganismos.

**METABOLISMO DEL SUELO:** sinónimo de la respiración del suelo como consecuencia de la actividad de los seres vivos del mismo.

**MICRONUTRIENTES:** elementos requeridos por las plantas en pequeñas cantidades: Zn, Cu, Fe, Mn, B, Mo y Cl.

**MICROORGANISMOS EFICIENTES:** mezcla natural de bacterias ácido lácticas, bacterias fototróficas y levaduras que son compatibles entre sí. Incrementan la diversidad microbial en suelos y plantas.

**MINERALIZACIÓN:** proceso microbiológico por el cual el nitrógeno del suelo es convertido de una forma orgánica a formas inorgánicas, haciéndolas disponibles para las plantas.

**MULCH:** cobertura vegetal compuesta por residuos vegetales que se esparce sobre el suelo con el fin de formar una cubierta protectora contra la erosión. Disminuye la evaporación del agua y mantiene la humedad por más tiempo.

**pH:** escala de acidez o basicidad del suelo, expresada como el logaritmo de las concentraciones de iones de hidrógeno  $\text{H}^+$ .

**PRODUCCIÓN PRIMARIA BRUTA:** cantidad total de tejidos producidos por la planta. Cantidad total de fotosíntesis, la cual incluye la energía que se fija y que posteriormente se emplea para la actividad fotosintética, es decir la respiración, así como la energía destinada a la producción de nuevos tejidos.

**PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA:** es la cantidad total de tejido utilizada para el hombre para su sustento. Proporción en que la planta almacena energía como materia orgánica (tejidos), además de la que consume durante la respiración.

**RESPIRACIÓN:** reacción biológica en la que se descomponen los carbohidratos en  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , con la liberación de energía. Es la reacción contraria a la fotosíntesis.

**SUELO:** sistema dinámico de tres componentes: partículas minerales, detritos y organismos que se alimentan de éstos.



## RESUMEN

Para la determinación y seguimiento del metabolismo y materia orgánica bajo condiciones de invernadero de una muestra de suelo erosionado de la localidad de Mondoñedo utilizando como bioestimulante microorganismos eficientes (EM) se diseñaron 8 tratamientos con 3 repeticiones en un diseño de bloques completos al azar.

Inicialmente se transplantaron 24 plantas de acacia japonesa (*acacia melanoxylon*) a cada una de las unidades experimentales como indicadores de la fertilidad del suelo y se realizaron 8 mediciones para determinar la actividad microbiana y 3 mediciones para determinar la evolución de la materia orgánica. Los resultados obtenidos se sometieron al análisis de varianza ANOVA y a las pruebas de comparación de Duncan, Tukey y Dunnett usando como software el SPSS 12.

A partir de los porcentajes de materia orgánica se determinaron los porcentajes de carbono orgánico y nitrógeno total. Se halló pH y se realizó análisis foliar a las plantas transplantadas y a los abonos orgánicos aplicados en cada uno de los tratamientos.

Se comprobó que en el suelo de todas las unidades experimentales aumentó el porcentaje de materia orgánica luego de adicionar los tratamientos, especialmente en el suelo de los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM). Igualmente se comprobó que en estos tratamientos la actividad metabólica se incrementó a lo largo del tiempo, siendo mayor cuando los abonos orgánicos se encontraban frescos y menor cuando éstos se encontraban descompuestos.

**Palabras claves:** metabolismo, materia orgánica, microorganismos eficientes, carbono orgánico, nitrógeno total, análisis foliar.

## **ABSTRACT**

In order to determine and monitor the metabolism and organic matter under green house conditions, of a sample of erosion soil from Mondoñedo, by using bioestimulating efficient microorganisms, a series of 8 treatments with 3 repetitions was designed, in a complete blocks random pattern.

Initially, japanese acacia plants were transplanted in each experimental unit, as an indicator of soil fertility and 8 measurements were performed to determine microbial activity, same as 3 measurements to determine the organic material evolution. Results were submitted to ANOVA analysis of variability and Duncan, Tukey and Dunnett comparison test using a SPSS 12 software.

Percentages of organic material obtained were used then to determine percentages of organic carbon and total nitrogen. The PH was measured and foliage analysis was performed to the transplanted plants and to the organic fertilizers applied in each treatment.

It was proved, that, in all experimental units, the soils percentage of organic material has increased, especially in the soil of treatment T5, T7 and T8. At the same time, it was proved that in these treatments, the metabolic activity increased in time, being high when the organic fertilizers were fresh and lower when they were de composed.

Keywords: metabolism, organic material, efficient microorganism, organic carbon, total nitrogen, foliage analysis.

## INTRODUCCIÓN

El uso irracional dado a los suelos de Colombia, ha ocasionado la deforestación e infertilidad de grandes extensiones de tierra, lo que incrementa el deterioro ambiental. El desierto de Zabrinsky, ubicado en la formación Mondoñedo, por ser una de las áreas más secas de la sabana de Bogotá y por la actividad antrópica ejercida allí durante varios años, lo han convertido en una zona con elevados procesos de degradación de suelos, haciendo que sus niveles de materia orgánica y actividad biológica disminuyan. Por esta razón fue necesario profundizar en el efecto de los microorganismos eficientes (EM) sobre suelos degradados como una nueva alternativa en su recuperación, teniendo en cuenta que su aplicación en suelos de otros países ha tenido resultados satisfactorios.

Por consiguiente, este trabajo tiene como objetivo evaluar bajo condiciones de invernadero, la acción de los microorganismos eficientes (EM) mediante la determinación y seguimiento del metabolismo y la materia orgánica de una muestra de suelo erosionado del desierto de Zabrinsky, como indicadores de su fertilidad. Con el fin de lograr este objetivo se diseñaron 8 tratamientos en combinación con el bioestimulante EM, cada uno de ellos con 3 repeticiones distribuidos en un diseño de bloques completos al azar.

La investigación se llevó a cabo por un periodo de 4 meses, tiempo durante el cual se comparó el comportamiento de cada uno de los tratamientos en la recuperación de la fertilidad del suelo mediante un análisis estadístico, utilizando como software el SPSS 12.

Los resultados obtenidos son de gran importancia para la ingeniería ambiental porque la metodología utilizada durante la investigación se enmarca dentro del contexto de una agricultura sostenible, proporcionando información para próximas investigaciones relacionadas con la recuperación de suelos de Colombia, utilizando como bioestimulante microorganismos eficientes (EM).

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar bajo condiciones de invernadero, la acción de los microorganismos eficientes (EM) mediante la determinación y seguimiento del metabolismo y la materia orgánica de un suelo erosionado de la localidad de Mondoñedo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Realizar el montaje de las unidades experimentales con los diferentes tratamientos en el invernadero.

Aplicar dosis iguales del bioestimulante EM a 7 de los 8 tratamientos con sus respectivas repeticiones para determinar el comportamiento de estos microorganismos en los diferentes tratamientos.

Determinar la materia orgánica y el metabolismo inicial de cada unidad experimental.

Realizar la determinación y seguimiento del metabolismo y materia orgánica de cada una de las unidades experimentales.

Evaluar y comparar la efectividad de cada uno de los tratamientos aplicados para la recuperación del suelo, teniendo en cuenta los parámetros a determinar.

Evaluar la producción primaria bruta de los 8 tratamientos con la especie acacia japonesa.

Establecer de forma comparativa la acción mixta o sola del bioestimulante EM en el mejoramiento biológico del suelo erosionado.

Correlacionar los resultados de metabolismo y materia orgánica del suelo con datos de otras investigaciones.

Determinar el tratamiento más efectivo para la recuperación del suelo.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. LOCALIDAD DE MONDOÑEDO

**1.1.1. Ubicación.** “...Mondoñedo se encuentra ubicado en el cerro de la cordillera oriental, entre los municipios de Mosquera al suroeste y Bojacá al sureste, en el departamento de Cundinamarca; tiene una altura aproximada de 2700 m.s.n.m....”<sup>1</sup>

**1.1.2. Tipo de suelo.** “...La formación Mondoñedo se apoya discordante sobre el cretáceo y deriva principalmente de su erosión. Está formada generalmente por limos arenosos y cantos de areniscas en la parte baja. Existen también varios perfiles intercalados de suelos negros...”<sup>2</sup>.

**Figura 1. Panorámica de la formación Mondoñedo.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

Según Bernal y Ojeda<sup>3</sup>, los sedimentos de esta formación se encuentran en las regiones más secas de la sabana de Bogotá, especialmente en el suroeste de los cerros de

---

<sup>1</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Diccionario de Colombia. 3 ed. Bogotá : IGAC, 1996. Tomo 3. p. 1406.

<sup>2</sup> POT Mosquera. 2000-2004.

<sup>3</sup> BERNAL CUESTA, Marcela y OJEDA CRUZ, Ruth Belén. Avance de los procesos de desertificación en los bordes del altiplano. Estudio comparativo entre Mondoñedo (Mosquera) y Guasca – Guatavita. Bogotá, 2003. 147 p. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas. Departamento de Geografía.

Mosquera, y localmente en la parte inferior de la pendiente de los valles cerca de Soacha, Usme y Guasca. Esta formación está constituida por limos y arenas, a menudo con fragmentos de rocas subangulares que están intercaladas con paleosuelos. En esta localidad predominan los suelos de tipo alfisol, los cuales según Buol<sup>4</sup>, son suelos forestales con alto contenido de bases y con mayor cantidad de arcilla en el horizonte B que en el horizonte A. Este tipo de suelo se encuentra en grandes extensiones de tierra como son loess y desiertos.

Se distinguen tres sub-unidades:

**Tabla 1. Formación y tipo de suelo de la formación Mondoñedo.**

<b>Formación</b>	<b>Tipo de suelo</b>
Mondoñedo Superior	Suelo reciente Complejo de suelos negros
Mondoñedo Medio	Limos marrones
Mondoñedo Inferior	Limos rojos

**Fuente:** POT Mosquera. 2000 – 2004.

Según la FAO<sup>5</sup>, los alfisoles se caracterizan por tener un horizonte secundario subsuperficial con alto contenido de arcillas. Este horizonte es desarrollado en condiciones de acidez, asociado con un horizonte A pobre en materia orgánica.

**Figura 2. Horizonte A de la zona de estudio.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

<sup>4</sup> BUOL, S.W. et. al. Soil genesis and classification. 5 ed. Iowa : Iowa State Press, 2003. p. 217.

<sup>5</sup>Disponible en Internet <<http://www.fao.org/ag/agl/agll/lada/arg/Archivos/04%20-%20Recursos/suelo.htm#Principales>>

“...En condiciones subhúmedas a áridas, los alfisoles se confinan normalmente a los límites de las depresiones, donde las concentraciones escasas de agua han favorecido la migración del sodio y la arcilla para formar el horizonte nátrico...”<sup>6</sup>.

Según la soil taxonomy<sup>7</sup>, en el suelo de estudio se identificó el epipedón mólico, cuyo porcentaje de saturación de bases es mayor al 50%, y el endopedón argílico, con presencia de arcillas y argicuténeas (películas con revestimiento de arcilla). Por lo tanto, este suelo se clasifica como *Typic Haplustalfs*.

El Manual de Técnicas Agropecuarias clasifica este suelo como Clase VIII el cual corresponde a “...tierras que no sirven para agricultura ni ganadería, como pantanos, playones de arena, zonas de cárcavas sucesivas, áreas muy escarpadas, abruptas o rocosas, derrumbes y desiertos; las cuales, deben dejarse de reservas naturales, para que surja vegetación espontánea que conserve las aguas y aloje la fauna silvestre...”<sup>8</sup>

**1.1.3. Climatología.** La zona de estudio presenta temperaturas promedio de 14°C, con variaciones diarias entre 0°C en la noche y 18°C en el día. En la mayoría de la zona se presentan fuertes lluvias, causantes de los fenómenos erosivos. Según el IGAC, “...en los climas secos de la región andina, los suelos presentan generalmente bajos contenidos de materia orgánica, lo que está de acuerdo con el crecimiento exiguo de la vegetación, que aporta escasos restos orgánicos...”<sup>9</sup>

## 1.2 ACACIA JAPONESA

Esta especie, cuyo nombre científico es *acacia melanoxylon R. Brown*, también conocida como acacia negra, pertenece a la familia *mimosaceae* y es originaria de Australia. Según Mahecha<sup>10</sup>, esta especie se localiza en la cordillera central y oriental del departamento de Cundinamarca, entre los 2000 y 2800 m.s.n.m., en el bosque muy húmedo montano bajo (bmh-MB), bosque húmedo montano bajo (bh-MB) y en el bosque seco montano bajo (bs-MB).

---

<sup>6</sup> BUOL, Op. cit., p. 219.

<sup>7</sup> COMITÉ PARA reconocimiento de suelos (Soil Survey Staff). Claves de taxonomía de suelos. Departamento de agricultura de E.E.U.U. 6 ed. 1994. p. 115-117. s.n.

<sup>8</sup> MANUAL DE técnicas agropecuarias. Plan Nacional de Rehabilitación. Bogotá : Presidencia de la República. 3 ed. 1989. p. 20.

<sup>9</sup> INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Bogotá : Librería del ingeniero, 1995. p. 302.

<sup>10</sup> MAHECHA VEGA, Gilberto *et al.* Vegetación del territorio CAR. 450 especies de sus llanuras y montañas. Bogotá : CAR, 2004. p. 603.

Este árbol puede alcanzar hasta 20 metros de altura y 50 centímetros de diámetro, posee una corteza agrietada y escamosa, su follaje es de color verde blanquizco y está distribuido en cúmulos, sus ramas crecen de forma horizontal a oblicua y son delgadas y angulosas.

Las hojas (filodios) miden entre 6 y 10 centímetros de largo por 2 centímetros de ancho y tienen forma de sable, nacen recompuestas y posteriormente se convierten en simples, son alternas y están dispuestas en forma de hélice (helicoidales), su borde es entero, son lisas y la distribución de sus nervaduras es paralela.

**Figura 3. Plántula de acacia japonesa.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

Las flores de la acacia son redondas, de color crema y se localizan en panículas. Los frutos son vainas de color negro y miden 7 centímetros de largo, están enroscados y cada uno contiene varias semillas. Las semillas son de color negro y están rodeadas por un cordón (funículo) que tiene tonalidades que van del color rosado a rojo.

**Figura 4. Semillas de acacia japonesa.**



**Fuente:** las autoras. 2006.



Su propagación y crecimiento es por semillas o por rebrotes de las raíces, es una especie de crecimiento rápido que requiere de abundante luz solar y se puede sembrar en asociaciones puras o combinada con otras especies, además soporta suelos pobres y arcillosos.

Esta especie se caracteriza por ser fijadora de nitrógeno y es muy útil para la recuperación de suelos y el control de la erosión. Lo anterior corrobora lo expuesto por Bolívar quien afirma que "...la habilidad para fijar nitrógeno y el aporte de hojarasca en forma abundante colocan a la especie como árbol de alto potencial para la recuperación de suelos degradados..."<sup>11</sup>

### 1.3 EL SUELO

Según Guerrero<sup>12</sup>, el suelo es un sistema dinámico compuesto por cuatro fases:

**1.3.1. Fase sólida.** Constituida por partículas minerales y compuestos orgánicos complejos. Los sólidos orgánicos están constituidos por tejidos vegetales o animales, o por complejos orgánicos alterados por acción de los microorganismos (humus). En esta fase los nutrientes no pueden ser usados por las plantas porque se encuentran en estados complejos.

**1.3.2. Fase líquida.** Integrado por agua y sales disueltas. En esta fase los nutrientes son absorbidos por las plantas porque se encuentran en formas simples y en estado iónico. La concentración de nutrientes en esta fase es pequeña en relación a la concentración que se encuentra en la fase sólida y en la fase cambiante, por lo tanto, esta fase no puede considerarse como reserva nutricional porque muchos de los iones en solución se pierden por lixiviación.

**1.3.3. Fase cambiante.** Constituida por coloides del suelo (humus y arcillas), con cargas positivas y negativas que generan una atracción electroquímica de los iones en solución formando el enjambre iónico del suelo. Los iones intercambiables conforman la fase cambiante y son la porción más reactiva de los sólidos.

**1.3.4. Fase biológica.** Es el resultado de la interacción entre los iones nutritivos en solución con las superficies radicales de las plantas.

---

<sup>11</sup> BOLÍVAR VERGARA, Diana María. Contribución de acacia mangium al mejoramiento de la calidad forrajera de brachiaria y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Bogotá, 1998. p. 16. Trabajo de grado (Ingeniero Químico). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Departamento de Química.

<sup>12</sup> GUERRERO, RIASCOS Ricardo. Hacia la formulación de un modelo suelo-planta. s.l : s.n, s.f. p. 2.-3

#### 1.4. MATERIA ORGÁNICA

Para Plaster<sup>13</sup>, la materia orgánica es la porción de suelo que incluye restos de animales y vegetales en diferentes estados de descomposición, compuesta químicamente por complejos de carbono que forman largas cadenas. Los suelos áridos presentan poca materia orgánica debido a su pobre vegetación, por lo tanto, las funciones de la materia orgánica en el mejoramiento de las condiciones de suelos minerales se basan principalmente en el almacenamiento de nutrientes y agua, la disponibilidad de nutrientes y prevención de la erosión.

Eldor<sup>14</sup> afirma que los microorganismos son los encargados de la descomposición, por consiguiente, la materia orgánica se define como residuos de plantas parcialmente descompuestas que después de largos periodos de tiempo no son reconocibles. Estos subproductos sufren un proceso llamado humificación, en donde el humus es formado.

Igualmente, Munévar<sup>15</sup> afirma que la materia orgánica está compuesta por tejidos vegetales, animales y células microbianas no descompuestas, así como de material estable amorfo sin las mismas características de su estructura inicial y está compuesta por dos grupos de sustancias:

- Húmicas: aquellas que presentan alguna modificación química y biológica y no conservan semejanza con los compuestos orgánicos conocidos. Estas sustancias son la parte más activa de la materia orgánica, ya que intervienen en varias reacciones con otras moléculas orgánicas porque sus grupos funcionales contienen oxígeno.
- No húmicas: constituidas por residuos vegetales y animales que no han presentado alguna alteración, son las primeras que llegan al suelo a ser parte de la materia orgánica. Estas sustancias están compuestas por celulosa, hemicelulosa, ligninas, azúcares, aminoácidos, ácidos alifáticos, grasas, aceites, ceras, y proteínas, en donde generalmente, se encuentran el nitrógeno y el azufre orgánico.

Para Nyle<sup>16</sup>, la materia orgánica del suelo está compuesta por diferentes sustancias carbonadas que incluyen microorganismos vivos, los cuales hacen parte de la biomasa

---

<sup>13</sup> PLASTER Edward. La ciencia del suelo y su manejo. Paraninfo, 2000. p. 133-134.

<sup>14</sup> ELDOR, Paul and FRANCIS, Clark. Soil microbiology and biochemistry. 2 ed. Academic Press, 1996. p. 145.

<sup>15</sup> MUNÉVAR M., Fernando. Conceptos sobre la materia orgánica y el nitrógeno del suelo relacionados con la interpretación de análisis químicos. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá : SCSC, 1991. p. 227

<sup>16</sup> NYLE, Bryde and RAY, Weil. The nature and properties of soil. Prentice Hall, 2000. p.20.

del suelo, al igual que los residuos carbonados de los microorganismos presentes en él y los componentes orgánicos producidos por el metabolismo. Los residuos de plantas, animales y microorganismos se descomponen continuamente en el suelo y las nuevas sustancias son sintetizadas por otros microorganismos, así, mientras la materia orgánica del suelo se va perdiendo como dióxido de carbono producido por la respiración de los microorganismos, ésta se mantiene con nuevos residuos vegetales y/o animales.

Según el IGAC "...la materia orgánica y su producto coloidal de síntesis biológica (humus) constituyen la parte orgánica del suelo incluyendo a los organismos del mismo (macro, meso y microorganismos)..."<sup>17</sup>

Para Rivero de Trinca<sup>18</sup>, la materia orgánica del suelo está conformada por estructuras de alto y bajo peso molecular, en las primeras se ubican los ácidos húmicos y en las segundas los ácidos fúlvicos. La fracción viva de la materia orgánica sirve de soporte para las plantas superiores, en donde los residuos incorporados se degradan y sirven como fuente energética para los diferentes organismos. De esta manera, la materia orgánica cumple funciones importantes relacionadas con las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.

**Tabla 2. Interpretación de los resultados de materia orgánica y carbono orgánico en suelos.**

<b>Materia orgánica (%)</b>	<b>Carbono orgánico (%)</b>	<b>Clasificación agronómica</b>
< 0,60	< 0,35	Muy bajo
0,60 – 1,80	0,35 – 1,05	Bajo
1,81 – 3,50	1,06 – 2,30	Medio
3,51 – 6,0	2,31 – 3,50	Alto
> 6,0	> 3,50	Muy Alto

Fuente: Rodríguez y Rodríguez. 2002.

---

<sup>17</sup> INSITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Op. cit., p. 289.

<sup>18</sup> RIVERO DE TRINCA, Carmen. Materia orgánica del suelo. En: Alcance 57. Facultad de agronomía. Universidad Central de Venezuela. Junio, 1999. p. 16 y 73

**1.4.1. Descomposición de la materia orgánica.** Según Plaster<sup>19</sup>, la descomposición de la materia orgánica ocurre en dos etapas:

- En la primera, los microorganismos digieren los materiales orgánicos liberando dióxido de carbono y carbohidratos, así permanecen los materiales más resistentes, mientras que los compuestos simples reaccionan para convertirse en compuestos complejos resistentes a la descomposición, denominados humus.
- En la segunda, el humus se descompone lentamente.

Para Alexander<sup>20</sup>, la descomposición de la materia orgánica tiene dos funciones para la microflora: abastecerla de energía suficiente para su crecimiento y suministrar el carbono necesario para la transformación de nuevos materiales celulares. El dióxido de carbono, el metano, ácidos orgánicos y alcohol son productos de desecho que se liberan durante el desarrollo microbiano para la adquisición de energía.

Según Munévar<sup>21</sup> cuando los residuos llegan al suelo estos sufren una serie de transformaciones debidas a cambios físicos como la humedad y temperatura, y a la presencia de microorganismos en el suelo. Estos microorganismos (bacterias, actinomicetos, hongos) son los encargados de hacer la mayor parte del trabajo en la descomposición de la materia orgánica, utilizando las sustancias orgánicas como fuentes de carbono y de energía para su crecimiento, degradándolas y convirtiéndolas en sustancias más simples.

**1.4.1.1. Inmovilización de la materia orgánica.** Guerrero<sup>22</sup> afirma que este es un proceso de naturaleza bioquímica mediante el cual los iones nutritivos de la solución son transformados a formas sólidas complejas no aprovechables.

Según Guerrero<sup>23</sup>, la inmovilización es un proceso microbiano que incide en la eficiencia de la fertilización, en donde las formas iónicas de los nutrientes en la solución del suelo son asimiladas por los microorganismos y producen compuestos orgánicos no aprovechables por las plantas como consecuencia de su metabolismo. Sin embargo, este es un proceso reversible porque los compuestos orgánicos sintetizados por los

---

<sup>19</sup> PLASTER, Op. cit., p. 133.

<sup>20</sup> ALEXANDER, Martin. Fundamentos de microbiología. México : AGT., 1994. p. 143.

<sup>21</sup> MUNÉVAR M., Op. cit., p. 228.

<sup>22</sup> GUERRERO, RIASCOS Ricardo. Op. cit., p.4.

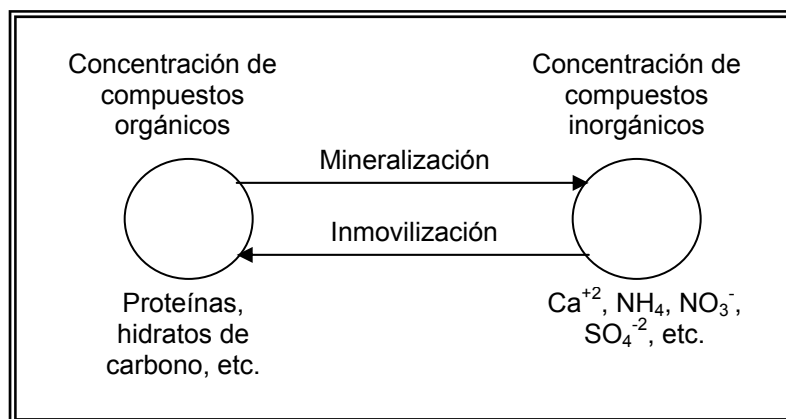
<sup>23</sup> GUERRERO RIASCOS, Ricardo. La recomendación de fertilizantes. Fundamentos y aplicaciones. En: Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Bogotá : Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1988. p. 248.

microorganismos pueden ser mineralizados y por lo tanto las formas complejas serán aprovechadas por las plantas.

**1.4.1.2. Mineralización de la materia orgánica.** Para Guerrero,<sup>24</sup> debido a que en la fase sólida los nutrientes se encuentran en formas no disponibles, los compuestos orgánicos complejos están sujetos a la acción del proceso de mineralización, liberando formas iónicas simples que restituyen a la fase cambiante y a la fase líquida nutrientes en estado disponible que compensen las cantidades consumidas por las plantas.

Para Alexander<sup>25</sup>, la mineralización es un término usado para designar la conversión de compuestos orgánicos de un elemento al estado inorgánico. Por lo tanto, factores como la velocidad a la cual un sustrato se oxida, la temperatura, el suministro de O<sub>2</sub>, humedad, pH, nutrientes inorgánicos y la proporción C/N de los restos vegetales son los principales factores que afectan la mineralización de la materia orgánica.

**Figura 5. Inmovilización y mineralización.**



**Fuente:** Plaster. La ciencia del suelo y su manejo. 2000. p. 117

Según Plaster, "...Los nutrientes pueden verse como ocupantes de dos concentraciones y pueden pasarse de un lado a otro entre ambas. Cuando los organismos mueren, sus restos crean una concentración de compuestos orgánicos. Los microbios de putrefacción mineralizan estos compuestos a formas inorgánicas. Estos a su vez son recogidos por las plantas de otros organismos, siendo inmovilizados de nuevo a la concentración orgánica..."<sup>26</sup>

<sup>24</sup> GUERRERO, RIASCOS Ricardo. Hacia la formulación de un modelo suelo-planta. Op. cit., p. 5.

<sup>25</sup> ALEXANDER, Op. cit., p.147 y 150.

<sup>26</sup> PLASTER, Op. cit., p. 117.

**1.4.2. Factores que afectan la descomposición de la materia orgánica.** Para Munévar<sup>27</sup> y Alexander<sup>28</sup>, variables como la temperatura, la humedad y el pH afectan la descomposición de la materia orgánica del suelo. Por lo tanto, todos los factores que afectan la actividad enzimática y el crecimiento microbiano afectan la descomposición de la materia orgánica.

**1.4.2.1. Temperatura.** Según Munévar<sup>29</sup>, este es un parámetro influyente en la descomposición de la materia orgánica ya que cuando su valor es alto, el proceso de descomposición se presenta a una tasa más rápida. Para Plaster<sup>30</sup>, este proceso se genera a temperaturas que están bajo los 25°C y se detiene bajo los 5°C. Lo anterior concuerda lo expuesto por Alexander<sup>31</sup> quien afirma que la descomposición del humus se puede llevar a cabo a temperaturas por debajo del punto de congelación y se acelera con el incremento de la temperatura.

**Tabla 3. Apreciación del porcentaje de materia orgánica según el clima.**

<b>Clima</b>	<b>Apreciación del porcentaje de materia orgánica</b>		
	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>
Frío	< 5	< 3	< 2
Medio	5 – 10	3 - 5	2 - 4
Cálido	> 10	> 5	> 4

**Fuente:** IGAC. Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso, 1995.

Para el IGAC<sup>32</sup> la temperatura óptima para la acumulación (crecimiento vegetal) es de 25°C y para la descomposición (actividad de los microorganismos) es de 35°C.

**1.4.2.2. Humedad.** Según Alexander<sup>33</sup>, la humedad afecta la respiración del suelo, por lo que el medio ambiente debe contener agua suficiente para que se efectúe la máxima acción de los microorganismos.

---

<sup>27</sup> MUNÉVAR M., Op. cit., p. 229.

<sup>28</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 148.

<sup>29</sup> MUNÉVAR M., Op. cit., p. 230.

<sup>30</sup> PLASTER, Op. cit., p. 134.

<sup>31</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 151.

<sup>32</sup> INSITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Op. cit., p. 305.

<sup>33</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 148.

**1.4.2.3. pH.** Según Alexander<sup>34</sup>, la mineralización del carbono es más rápida en suelos que van de un pH neutro a uno ligeramente alcalino. Por lo tanto, los suelos ácidos aumentan la volatilización del carbono.

**Tabla 4. Efectos del pH en el suelo.**

pH	Efectos
Menor de 5,5	Fuerte a extremadamente ácido. Posible toxicidad del aluminio y del manganeso. Posibles deficiencias de fósforo, calcio, magnesio, nitrógeno y molibdeno. Es necesario encalar para la mayoría de los cultivos.
5,5 a 5,9	Moderadamente ácido, baja solubilidad del fósforo y regular disponibilidad de calcio y magnesio. Algunos cultivos como leguminosas requieren encalamiento.
6,0 a 6,5	Ligeramente ácido. Condición adecuada para el crecimiento de la mayoría de los cultivos.
6,6 a 7,3	Casi neutro o neutro. Buena disponibilidad de calcio y magnesio; moderada disponibilidad de fósforo y baja disponibilidad de micronutrientes a excepción del molibdeno.
7,4 a 8,0	Alcalino. Posible exceso de calcio, magnesio y carbonatos. Baja solubilidad de fósforo y micronutrientes a excepción del molibdeno. Se inhibe el crecimiento de varios cultivos. Es necesario tratar el suelo con enmiendas (yeso).
Mayor de 8,0	Muy alcalino. Posible exceso de sodio intercambiable. Se inhibe el crecimiento de la mayoría de los cultivos y es necesario tratar el suelo con enmiendas.

**Fuente:** ICA. Fertilización en diversos cultivos: quinta aproximación. 1992. p. 19.

**1.4.3. Microorganismos que afectan la descomposición de la materia orgánica.** Según el IGAC<sup>35</sup>, el suelo funciona como reciclador de la materia orgánica y como soporte físico y trófico para las plantas, lo cual depende de la liberación de nutrientes (mineralización) y su acumulación (humificación). La composición, estructura y funcionamiento es modificada por los animales y plantas que viven en el suelo. Los microorganismos transforman complejos orgánicos en moléculas asimilables, descomponiendo la materia orgánica y contribuyendo a la formación de humus.

Para el IGAC<sup>36</sup>, los microorganismos que intervienen en la descomposición y los productos resultantes dependen de la naturaleza química de los componentes orgánicos,

---

<sup>34</sup> Ibid., p. 149.

<sup>35</sup> INSITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Op. cit., p. 241 y 243.

<sup>36</sup> Ibid., p. 298.

del medio (aerobio o anaerobio), el clima y las características del substrato mineral del suelo.

Según Plaster<sup>37</sup>, los microorganismos se encuentran en su mayoría, distribuidos en el horizonte A porque es allí donde encuentran mayor disponibilidad de oxígeno, materia orgánica y agua, materiales indispensables para su crecimiento.

Hay cuatro categorías principales de microorganismos:

**1.4.3.1. Bacterias.** Son organismos unicelulares que abundan en el suelo, generalmente crecen en pequeñas colonias en la superficie de las partículas y en los poros más pequeños del suelo, son dominantes en suelos no ácidos y ricos en nitrógeno. Generalmente tienen forma de barra, 1/10000 cm de ancho y son ligeramente alargadas. La mayoría son descomponedoras de celulosas y azúcares como fuentes de energía y mineralizan en CO<sub>2</sub>. Están en contacto directo con la materia orgánica interviniendo en su descomposición y movilizand o elementos como C, P, H<sub>2</sub>O, S y N.

**1.4.3.2. Hongos.** Son menos numerosos pero más grandes que las bacterias, constituyen la masa microbiana más grande del suelo y tienden a dominar suelos ácidos, con deficiencia de agua y no proliferan en medios mal aireados. Muchos parecen una masa de hilos enredados (hifas) llamada micelio. Son los principales descomponedores del suelo junto con las bacterias, y pueden atacar materia resistente a la descomposición porque las hifas pueden crecer dentro de la materia orgánica.

**1.4.3.3. Actinomicetos.** Aunque parecen hongos están clasificados como bacterias, trabajan en materia orgánica resistente y son tolerantes al suelo seco, creciendo también en suelos más alcalinos y a altas temperaturas. Muchas de estas especies producen sustancias químicas que detienen el crecimiento de microorganismos patógenos.

**1.4.3.4. Algas.** La mayoría de las algas del suelo son unicelulares y viven en las capas de agua. Como productores aumentan ligeramente la materia orgánica del suelo.

**1.4.4. Acción de la materia orgánica sobre las propiedades químicas y físicas del suelo.** Para Rivero de Trinca<sup>38</sup>, la materia orgánica actúa sobre las siguientes propiedades del suelo:

---

<sup>37</sup> PLASTER, Op. cit., p. 116.

<sup>38</sup> RIVERO DE TRINCA, Op. cit., p. 53-67.



#### 1.4.4.1. Propiedades químicas del suelo.

- **Capacidad de intercambio catiónico (CIC):** la CIC del suelo depende de la presencia de materiales de elevada superficie específica. La materia orgánica está constituida por varios grupos funcionales que actúan como intercambiadores iónicos, convirtiéndola en un importante intercambiador catiónico.
- **Capacidad amortiguadora:** definida por la resistencia que ofrece el suelo a la modificación de su pH y depende de la materia orgánica y las arcillas, las cuales son las fracciones más reactiva del suelo.
- **Potencial redox:** las modificaciones de este potencial son posibles por la presencia de grupos oxidantes y reductores en la estructura de la materia orgánica.
- **Suministro de nutrientes:** la materia orgánica constituye una fuente directa de macro y micronutrientes por el proceso de mineralización y la disponibilidad de los nutrientes dependen de la participación de la fracción orgánica.
- **Interacción con compuestos xenobióticos:** la interacción de la materia orgánica con agentes contaminantes o xenobióticos puede crear problemas de bioactividad y de contaminación.

#### 1.4.4.2. Propiedades físicas del suelo.

- **Estructura:** las sustancias húmicas juegan un papel importante en formación y estabilidad de los agregados, los cuales constituyen los elementos estructurales sólidos. Las sustancias orgánicas actúan como agentes cementantes en la formación de macro y microagregados.
- **Retención de agua:** las sustancias orgánicas incrementan la capacidad de retener agua debido a su carácter hidrofílico.
- **Densidad aparente:** el contenido de materia orgánica modifica la porosidad del suelo y en consecuencia, su densidad aparente.
- **Color:** la materia orgánica confiere al suelo colores oscuros típicos que favorecen la absorción de la radiación.
- **Resistencia a la erosión:** la materia orgánica ejerce un efecto inhibitor en los procesos erosivos del suelo.

## 1.5. EL HUMUS

Suárez<sup>39</sup> afirma que la materia orgánica que se descompone por acción de microorganismos saprófitos forma el humus, el cual está compuesto de ácidos húmicos y fúlvicos de difícil utilización por los microorganismos, y forma parte de la estructura y consistencia del suelo y de la productividad.

Según el IGAC<sup>40</sup>, el humus tiene características coloidales y su acción incluye aspectos de fertilidad, estabilidad estructural, composición del aire del suelo, regulación de la temperatura, retención de humedad, capacidad de intercambio, acciones biológicas variadas y dinámica de elementos.

Para Plaster<sup>41</sup>, las partículas de humus son llamadas coloides por su tamaño pequeño, lo que permite que el agua y los nutrientes se adhieran a su superficie. Estas partículas además de almacenar nutrientes, hacen que éstos estén más disponibles para el uso de las plantas. Igualmente define humus como "...una mezcla compleja de sustancias químicas orgánicas que dan al suelo un característico color negro..." cuya composición es:

**Tabla 5. Composición del humus.**

Elemento	%
Carbón	50
Nitrógeno	5
Fósforo	0.5

**Fuente:** Plaster. La ciencia del suelo y su manejo. 2000. p. 136.

Lo anterior corrobora lo expuesto por Eldor<sup>42</sup>, quien afirma que el humus posee mayor cantidad de carbono que los residuos de plantas y animales.

---

<sup>39</sup> SUÁREZ, Senén. La materia orgánica en la productividad y sostenibilidad de la zona cafetera. En: Memorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, 1994. p. 17.

<sup>40</sup> INSITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación, distribución y uso. Op. cit., p. 242.

<sup>41</sup> PLASTER, Op. cit., p. 112, 133 y 136.

<sup>42</sup> ELDOR, Op. cit., p. 145.

Para Rivero de Trinca<sup>43</sup>, las sustancias húmicas son coloides hidrófilos, caracterizados por:

- Su elevada superficie específica, lo que les confiere gran reactividad física y química.
- Su alta afinidad por el agua, pudiendo llegar a retener entre 4 y 6 veces más su peso en agua.

## 1.6. METABOLISMO DEL SUELO

Según Trinca<sup>44</sup> el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es sinónimo de respiración del suelo y de la actividad de los microorganismos que allí viven, por lo tanto, al incorporar residuos orgánicos al suelo se produce un incremento en la producción de CO<sub>2</sub> como consecuencia del aumento de la actividad metabólica, al tener sustrato fresco para su disposición. Lo anterior concuerda con lo expuesto por Alexander<sup>45</sup>, quien afirma que la degradación de la materia orgánica, por ser una propiedad de todos los heterótrofos, se usa comúnmente para indicar el nivel de actividad metabólica.

Para Alexander<sup>46</sup>, la liberación de CO<sub>2</sub> aumenta por la adición de una fuente de carbono. La función más importante de la flora microbiana es la degradación de materiales orgánicos, proceso mediante el cual se repone el CO<sub>2</sub> disponible para las plantas. La tasa a la cual el CO<sub>2</sub> es liberado durante la mineralización del humus varía ampliamente con el tipo de suelo. Bajo condiciones de laboratorio controladas y a temperaturas mantenidas en el intervalo mesofílico, 20 a 30°C, la tasa de producción de CO<sub>2</sub> generalmente es de 5 a 50 mg de CO<sub>2</sub> por kg de suelo por día.

Según Alexander<sup>47</sup>, la tasa de liberación de CO<sub>2</sub> aumenta cuando el suelo está expuesto a un ciclo de sequía y humedad, estos ciclos estimulan la actividad de los microorganismos comparada con la de los suelos que son humedecidos constantemente. Así mismo, la temperatura es una de las condiciones ambientales más importantes que determina la rapidez con la que los materiales naturales son metabolizados. El metabolismo microbiano y la mineralización del carbono son menores a temperaturas bajas y el calor está asociado con una mayor liberación de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>43</sup> RIVERO DE TRINCA, Op. cit., p. 19 y 20.

<sup>44</sup> Ibid., p. 43

<sup>45</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 145.

<sup>46</sup> Ibid., p. 144.

<sup>47</sup> Ibid., p. 148.

## 1.7. EL NITRÓGENO

Según Munévar<sup>48</sup>, la cantidad de nitrógeno es directamente proporcional a la descomposición de los residuos orgánicos. Sin embargo, es importante tener en cuenta el contenido de este elemento con la relación C/N, puesto que un residuo orgánico con una baja relación C/N es más fácil de descomponer que uno con una alta relación. Para Plaster<sup>49</sup>, la mayoría del nitrógeno del suelo está almacenado en la materia orgánica, considerándose la reserva principal de nutrientes del suelo.

Alexander<sup>50</sup> afirma que el nitrógeno es una sustancia nutritiva clave para el crecimiento microbiano y por lo tanto, para la degradación de la materia orgánica. Si el contenido de nitrógeno es alto y el elemento es fácilmente utilizado, la microflora satisface sus necesidades a partir de esta fuente. Un bajo contenido de nitrógeno o una amplia relación C/N se asocia con una lenta degradación.

**Tabla 6. Estimativo conceptual del nitrógeno en los suelos.**

Clima	Apreciación del porcentaje de nitrógeno total		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	< 0,25	0,25 – 0,50	> 0,50
Templado	< 0,15	0,15 – 0,30	> 0,30
Calido	< 0,10	0,10 – 0,20	> 0,20

**Fuente:** IGAC. Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso, 1995.

**Tabla 7.preciación del porcentaje de nitrógeno total según el clima.**

Clima	Apreciación del porcentaje de nitrógeno total		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	< 0.25	< 0.15	< 0.1
Medio	0.26 – 0.5	0.2 - 0.3	0.1 - 0.2
Cálido	> 10	> 5	> 4

**Fuente:** IGAC. Suelos de Colombia: origen, evolución, clasificación, distribución y uso, 1995.

---

<sup>48</sup> MUNÉVAR M., Op. cit., p. 230.

<sup>49</sup> PLASTER, Op. cit., p. 136.

<sup>50</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 152.

**Tabla 8. Clasificación del contenido de nitrógeno total sin tener en cuenta el clima.**

Porcentaje de nitrógeno	Clasificación agronómica
0,00 – 0,050	Extremadamente pobre
0,050 – 0,099	Pobre
0,10 – 0,149	Medianamente pobre
0,150 – 0,190	Mediano
0,200 – 0,250	Medianamente rico
> 0,250	Rico

**Fuente:** Rodríguez y Rodríguez. 2002.

**1.7.1. Ciclo del nitrógeno.** Para Alexander<sup>51</sup>, el nitrógeno es el elemento más susceptible a las transformaciones microbianas. Este elemento es la unidad estructural clave de la molécula de proteína sobre la cual se basa la vida, siendo componente indispensable del protoplasma de plantas, animales y microorganismos. El nitrógeno sufre transformaciones simultáneas que involucran a compuestos orgánicos, inorgánicos y volátiles. Cuando los animales y plantas son sujetos a la descomposición, el nitrógeno orgánico es liberado como amonio que a su vez es utilizado por la vegetación o es oxidado a nitrato. Este último ión puede perderse por lixiviación, servir como nutriente vegetal o ser reducido a amonio o a N<sub>2</sub> gaseoso, que es liberado a la atmósfera, completando así el ciclo.

**1.7.1.1. Nitrificación.** Según Rivero de Trinca<sup>52</sup>, este proceso se presenta cuando el NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, en condiciones aeróbicas es oxidado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, el cual tiene como paso intermedio la producción de NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, que posteriormente será llevado a NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Sin embargo, Alexander afirma que la nitrificación es "...la formación biológica de nitrato a nitrito a partir de compuestos que contienen nitrógeno reducido..."<sup>53</sup>

**1.7.1.2. Desnitrificación.** Para Alexander<sup>54</sup>, la desnitrificación es la secuencia de etapas que dan como resultado la pérdida gaseosa de nitrógeno, es decir, la liberación microbiana de nitrato a nitrito con la liberación de nitrógeno molecular y óxido nitroso. Según Suárez<sup>55</sup>, la tasa de liberación de nitrógeno está determinada por factores que afectan la población de los microorganismos del suelo, como la temperatura, la humedad y la aireación del suelo, el tipo de suelo, el balance mineral, el pH, la relación C/N, entre otros.

---

<sup>51</sup> Ibid., p. 241.

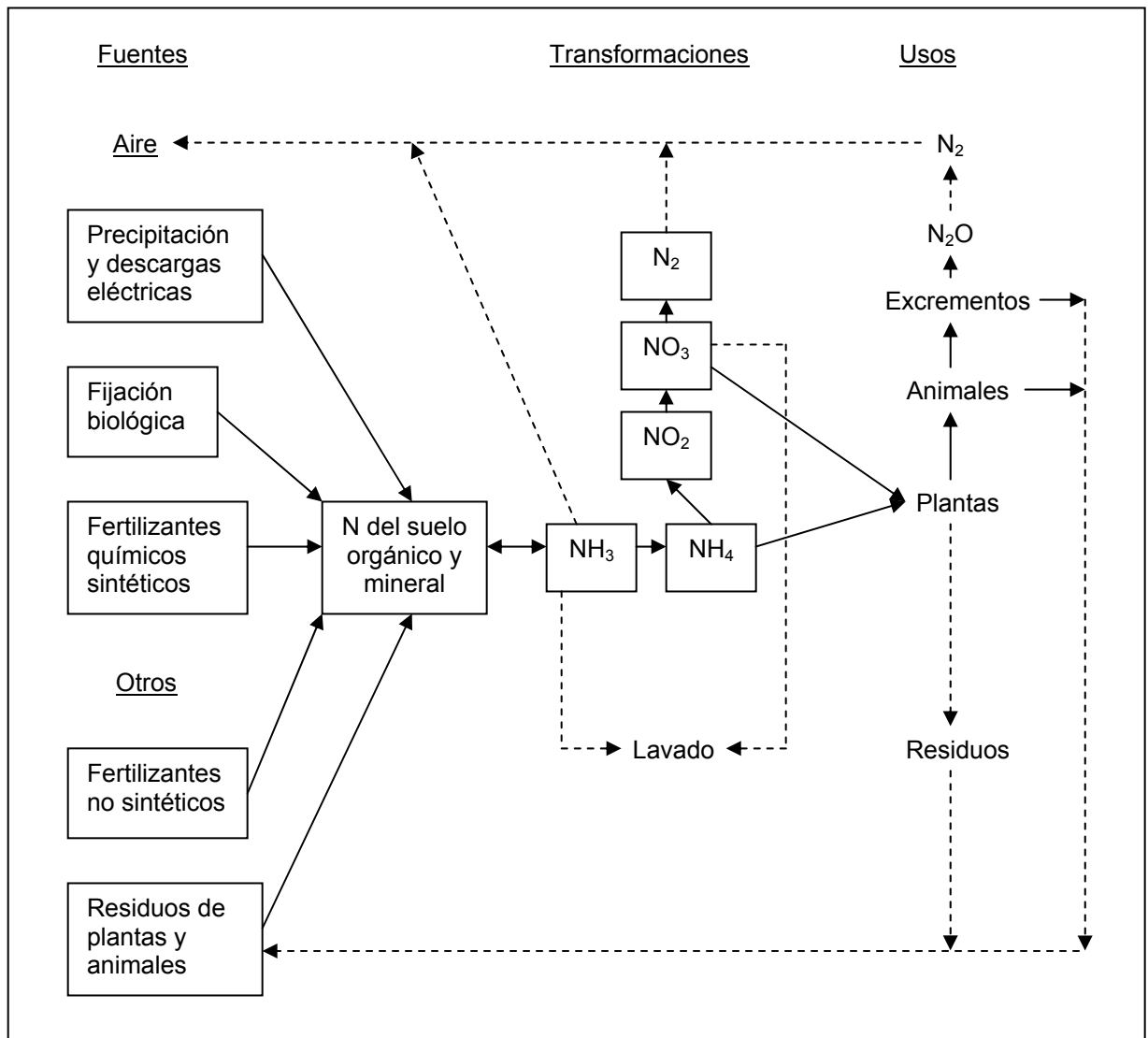
<sup>52</sup> RIVERO DE TRINCA, Op. cit., p.101.

<sup>53</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 270.

<sup>54</sup> Ibid., p.243.

<sup>55</sup> SUÁREZ, Op. cit., p. 17.

**Figura 6. Ciclo del nitrógeno.**



**Fuente:** Solórzano. Fertilidad de suelos. 1997. p. 59.

**1.7.2. Mineralización del nitrógeno.** Cerca del 95 al 99% del nitrógeno del suelo está en componentes orgánicos y la mayoría se encuentra presente como grupo amino ( $R-NH_2$ ) en proteínas o como parte de componentes húmicos. Cuando los microorganismos del suelo atacan las sustancias húmicas se forman los componentes amino, los cuales son hidrolizados y el nitrógeno de dicho grupo es liberado como ión amonio  $NH_4^+$ , que a su vez pueden ser oxidados a nitratos. A este proceso se le conoce como mineralización.

Para Alexander<sup>56</sup>, factores como la velocidad a la cual un sustrato se oxida, la temperatura, el suministro de O<sub>2</sub>, humedad, pH, nutrientes inorgánicos y la proporción C/N de los restos vegetales son los principales factores que afectan la mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, el pH tiene poca influencia en el contenido total de nitrógeno del suelo.

**1.7.3. Inmovilización del nitrógeno.** La inmovilización es la conversión de iones de nitrógeno inorgánico (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a formas orgánicas. Cuando los microorganismos mueren luego de haber incorporado estos iones a sus componentes celulares, el nitrógeno orgánico de sus células puede ser convertido a complejos húmicos.

## 1.8. EL CARBONO

Para Plaster<sup>57</sup>, el sustento de todos los seres vivos depende de la fotosíntesis. Durante este proceso ocurren dos eventos que permiten que la vida sea posible, el primero en el que el CO<sub>2</sub> del aire se cambia a carbono orgánico; y el segundo donde la fotosíntesis toma la energía solar convirtiéndola en energía química almacenada en azúcar simple y en otros hidratos de carbono; luego plantas y animales queman el azúcar durante la respiración para generar energía.

**1.8.1. Ciclo del carbono.** Según Nebel<sup>58</sup>, el ciclo del carbono comienza con las reservas de moléculas de CO<sub>2</sub> presentes en el aire y las disueltas en el agua. Por medio del proceso de fotosíntesis y otros procesos metabólicos los átomos de carbono presentes en el CO<sub>2</sub> se vuelven parte de todas las moléculas orgánicas que conforman la planta. Por medio de las cadenas alimenticias, los átomos pasan a los tejidos de otros organismos del ecosistema, cuando esto ocurre, los átomos de carbono son devueltos al ambiente en forma de CO<sub>2</sub>, completando así un ciclo para luego dar comienzo a otro. De la misma forma la descomposición también devuelve al aire los átomos de carbono contenidos en el CO<sub>2</sub>.

Para Alexander<sup>59</sup> el ciclo del carbono gira entorno al CO<sub>2</sub>, su fijación y regeneración. Las plantas verdes utilizan este gas como única fuente de carbono y así la materia carbonada sintetizada sirve para abastecer al mundo animal con carbono orgánico. El metabolismo microbiano es el principal proceso después de la muerte de plantas y animales. Los

---

<sup>56</sup> ALEXANDER, Op. cit., p.150.

<sup>57</sup> PLASTER, Op. cit., p. 112-113.

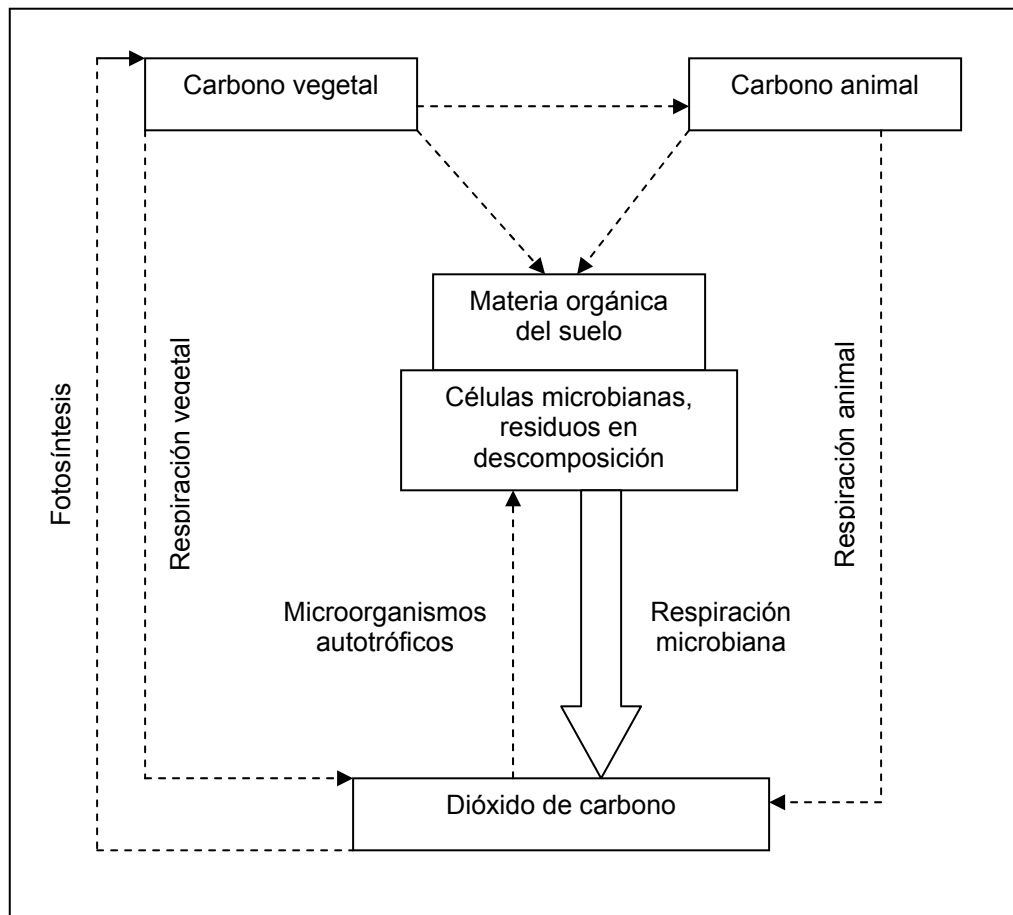
<sup>58</sup> NEBEL, J. Bernard. Ciencias ambientales ecología y desarrollo sostenible. México : Pearson, 1999. p. 66-67.

<sup>59</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 127-128.

tejidos muertos son descompuestos y transformados en células microbianas y en compuestos orgánicos conocidos como humus o fracción orgánica del suelo.

El ciclo se completa y el carbono se hace disponible nuevamente con la descomposición final y la producción de  $\text{CO}_2$  a partir del humus y tejidos en descomposición.

**Figura 7. Ciclo del carbono.**



**Fuente:** Alexander. Microbiología del suelo, p. 128.

**1.8.2. Inmovilización del carbono.** Alexander<sup>60</sup>, afirma que la inmovilización microbiológica se determina por la utilización de los nutrientes para la síntesis celular, de esta manera la magnitud de la inmovilización es proporcional a la cantidad neta de células

---

<sup>60</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 144.



microbianas y filamentos formados y está relacionada con la asimilación del carbono por un factor regido por la proporción C:N, C:P, C:K o C:S.

**1.8.3. Mineralización del carbono.** La magnitud de la mineralización del carbono está relacionada con el contenido de carbono orgánico en el suelo, es decir, la liberación de CO<sub>2</sub> es proporcional al nivel de materia orgánica. Igualmente se ha determinado una relación similarmente alta entre el porcentaje de humus y el consumo de O<sub>2</sub>. Según Alexander "...los principales productos de la mineralización aeróbica del carbono son CO<sub>2</sub>, agua, células y componentes del humus..."<sup>61</sup>

## 1.9. RELACIÓN CARBONO NITRÓGENO (C/N)

Para Munévar<sup>62</sup>, el contenido de nitrógeno es un factor importante en la descomposición de los residuos orgánicos del suelo, por lo tanto, se considera que la tasa de descomposición de un material orgánico es proporcional a su contenido de nitrógeno y especialmente a su relación C/N. Igualmente afirma que "...la relación C/N de un residuo orgánico que se aplica al suelo puede ser un criterio que indique qué tipo de cambio ocurrirá con respecto al nitrógeno del suelo al descomponerse dicho residuo..."<sup>63</sup>

Por lo tanto, cuando se presenta una relación C/N alta se puede presentar inmovilización, y cuando esta relación es baja se presenta mineralización. Un residuo orgánico con una relación C/N estrecha (cercana a 10), es más fácil de descomponer por los microorganismos que un residuo con relación C/N amplia (superior a 30).

Para Alexander<sup>64</sup>, un bajo contenido de nitrógeno o una amplia relación C/N se asocia con una lenta degradación, convirtiendo el contenido de nitrógeno o la relación C/N en una herramienta para predecir la tasa de descomposición del material orgánico.

Según Guerrero<sup>65</sup>, cuando se incorporan al suelo residuos orgánicos frescos con una alta relación C/N ocurren fenómenos de inmovilización de nitrógeno en donde los microorganismos utilizan las formas aprovechables de nitrógeno (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> y NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) como fuente de energía para descomponer los residuos incorporados.

---

<sup>61</sup> Ibid., p. 158.

<sup>62</sup> MUNÉVAR M., Op. cit., p. 230.

<sup>63</sup> Ibid., p. 236.

<sup>64</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 152 y 154.

<sup>65</sup> GUERRERO RIASCOS, Ricardo. La recomendación de fertilizantes. Fundamentos y aplicaciones. Op. cit., p. 270.

**Tabla 9. Relación Carbono/Nitrógeno.**

<b>Relación C/N</b>	<b>Interpretación</b>
< 10	Excesiva liberación de nitrógeno
10 – 12	Normal liberación de nitrógeno
12 – 15	Escasa liberación de nitrógeno
> 15	Muy escasa liberación de nitrógeno

**Fuente:** INTERPRETACIÓN DE análisis de suelo, foliar y agua para riego. 1992.

Según Alexander<sup>66</sup>, la proporción C/N del suelo es uno de sus valores de equilibrio característicos, siendo el valor aproximado para el humus de 10:1. Un cambio en la población microbiana causado por anaerobiosis o por acumulación de fracciones resistentes a una mayor descomposición pueden modificar los valores de equilibrio C/N del humus.

Para Rivero de Trinca<sup>67</sup>, la inmovilización es el proceso mediante el cual los microorganismos incorporan el nitrógeno a su protoplasma, que luego es suministrado al suelo. Este proceso incrementa la relación C/N debido al contenido de carbono como fuente energética en los residuos que se incorporan al suelo.

## **1.10. ABONOS**

**1.10.1. Mulch.** Según Amézquita, el mulch es "...todo residuo superficial de origen orgánico, mineral o manufacturado por el hombre que colocado sobre la superficie del suelo lo proteja contra la erosión, regule la entrada y salida de agua y ejerza una función positiva en el control de la temperatura y fauna del suelo..."<sup>68</sup>

Los residuos orgánicos superficiales pueden disminuir los procesos de degradación al anular el impacto que genera el agua al golpear el suelo, al ayudar a la conservación de su humedad en el reciclaje de nutrientes y al disminuir la cantidad de calor por su efecto aislante.

---

<sup>66</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 154-155.

<sup>67</sup> RIVERO DE TRINCA, Op. cit. p.103.

<sup>68</sup> AMÉZQUITA, Edgar. Residuos orgánicos superficiales (mulch), su importancia en el manejo de suelos. En: Memorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, 1994. p. 9.

Para Amézquita<sup>69</sup>, los residuos orgánicos superficiales al mejorar la cantidad de agua almacenada, la temperatura, la aireación y la suplencia de nutrientes del suelo, desarrollan un microambiente apto para que los microorganismos del suelo cumplan con sus funciones de mantenimiento del potencial de fertilidad del suelo.

Según Restrepo<sup>70</sup>, los abonos verdes como cobertura conservan la humedad de los suelos y reducen la evaporación, amortiguan cambios de temperatura, son fuente constante de materia orgánica, favorecen la bioestructura y estabilidad de los suelos, aumentan la capacidad de intercambio catiónico, proporcionan al suelo alta tasa de humus microbiológico y combate la desertificación controlando la erosión.

**1.10.2. Gallinaza.** El estiércol de aves, en especial la gallinaza es cinco veces más rico en ácido fosfórico y cal que el del vacuno debido a las altas concentraciones de elementos en las raciones que consumen y a la poca agua del estiércol. "...El contenido de nutrientes es variable y depende del régimen de alimentación. La gallinaza está constituida por: celulosa, úrea, ácido úrico y está unida a una gran población microbiana..."<sup>71</sup>.

Según Restrepo<sup>72</sup>, la gallinaza es la principal fuente de nitrógeno y mejora las características de la fertilidad del suelo en algunos nutrientes, principalmente, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Cu y B, sin embargo, también puede aportar otros materiales orgánicos en mayor o menor cantidad, los cuales mejoran las características físicas del suelo.

**Tabla 10. Composición en porcentaje de la gallinaza.**

Porcentaje de macronutrientes					Porcentaje de micronutrientes				
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	H <sub>2</sub> O
2.43	2.67	4.80	5.70	.050	11	4.25	-	2.64	19

**Fuente:** Restrepo R., Elaboración de abonos orgánicos fermentados, 2001.

**1.10.3. Fertilización química.** Los fertilizantes químicos son productos inorgánicos obtenidos mediante procesos químicos. Según Sagan<sup>73</sup>, los fertilizantes son sustancias

<sup>69</sup> Idid., p.13

<sup>70</sup> RESTREPO, RIVERA, Jairo. Aportes de los abonos verdes usados en la agricultura orgánica como cobertura. En : Agricultura orgánica. Una teoría y una práctica. Cali, 2000. p. 189.

<sup>71</sup> GUÍA PARA compostaje y manejo de suelos. 2003. s.l : s.n, s.f. p. 33.

<sup>72</sup> RESTREPO, RIVERA, Op. cit., p. 150.

que se agregan al suelo para suministrar aquellos elementos que se requieren para la nutrición de las plantas.

Un material fertilizante o transportador es una sustancia que contiene uno o más de los elementos esenciales para las plantas. Los fertilizantes completos contienen los tres elementos mayores para las plantas, como lo son el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Las reacciones químicas en los fertilizantes mezclados dependen del contenido de humedad, temperatura y tamaño de las partículas.

#### **1.10.4. Microorganismos eficientes (EM)**

Este producto fue creado por Teruo Higa en la década de los ochenta en Okinagua Japón. Teruo comenzó investigando la acción de los microorganismos por separado y luego mezclados, llegando a la conclusión de que eran más eficaces cuando actuaban en conjunto.

El bioestimulante E.M es una mezcla natural de microorganismos (bacterias ácido lácticas, bacterias fototróficas y levaduras) que están presentes en muchos ecosistemas de forma natural y son compatibles entre si. Según la APNAN (Red de Agricultura Natural)<sup>74</sup>, estos microorganismos producen efectos benéficos tanto en el suelo como en las plantas, evitando el uso excesivo de fertilizantes químicos.

**1.10.4.1. Bacterias fototróficas.** Bacterias que toman su alimento a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos; su fuente de energía es la luz solar y el calor del suelo.

**1.10.4.2. Bacterias ácido lácticas.** Producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por las bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico que producen estos microorganismos incrementa la tasa de descomposición de la materia orgánica.

**1.10.4.3. Levaduras.** Sintetizan sustancias antimicrobiales útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas. Estos microorganismos actúan tomando del suelo las sustancias que les aportan a su crecimiento y de esta manera aumentan la población.

---

<sup>73</sup> Disponible en Internet < [www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/29hoja.html](http://www.sagan-gea.org/hojaredsuelo/paginas/29hoja.html)>

<sup>74</sup> Disponible en Internet < [www.agriton.nl/apnanman.html](http://www.agriton.nl/apnanman.html)>

El bioestimulante EM aplicado a la agricultura ayuda a la recuperación del equilibrio microbiológico del suelo, mejora las condiciones fisicoquímicas del mismo e incrementa su producción, aumenta la velocidad de germinación, ayuda al crecimiento y fuerza del tallo y las raíces. En las plantas puede generar resistencia a las enfermedades e incrementa la capacidad fotosintética por medio de un mayor desarrollo foliar.

En suelos el bioestimulante EM mejora sus características:

- Físicas: reduce la compactación y aumenta los espacios porosos permitiendo mayor infiltración del agua.
- Químicas: mejora la disponibilidad de nutrientes para las plantas.
- Microbiológicas: reduce la cantidad de poblaciones patógenas que afectan el suelo porque permite que éste cuente con las condiciones necesarias para que los microorganismos benéficos predominen.

#### 1.11. MACRONUTRIENTES Y MICRONUTRIENTES

Según Solórzano<sup>75</sup>, el grupo de macronutrientes esenciales para las plantas está conformado por Ca, Mg, S, N, P y K. El N, P y K hacen parte de los elementos primarios y Ca, Mg y S hacen parte de los elementos secundarios, porque las plantas los requieren en menor cantidad que los elementos primarios. Igualmente afirma que el grupo de los micronutrientes agrupa 7 elementos esenciales para las plantas debido a que son requeridos en pequeñas cantidades: Zn, Cu, Fe, Mn, B, Mo y Cl. Su aprovechamiento está afectado por el pH, contenido de materia orgánica, humedad edáfica, espacio poroso del suelo, actividad biológica, etc.

Salisbury<sup>76</sup> afirma que los micronutrientes son aquellos que se necesitan en concentraciones iguales o menores de 100 mg/kg de materia seca, mientras que los macronutrientes son los que se necesitan en concentraciones de 1000 mg/kg de materia seca.

**1.11.1. Calcio.** Está presente en la solución del suelo y es absorbido por las plantas como catión  $\text{Ca}^{2+}$ . Para Solórzano<sup>77</sup>, el calcio se localiza en las hojas y está fijado a la pared celular. Este elemento estimula el crecimiento de raíces y hojas e interviene

---

<sup>75</sup> SOLÓRZANO, Pedro Raúl. Fertilidad de suelos, su manejo en la producción agrícola. En: Alcance 51. Facultad de agronomía. Universidad Central de Venezuela. Marzo, 1997. p. 143 y 157.

<sup>76</sup> SALISBURY, Frank B. and ROSS, Cleon W. Fisiología vegetal. California : Iberoamericana, 1994. p. 132.

<sup>77</sup> SOLÓRZANO, Op. cit., p. 159.

indirectamente en la nutrición de la planta, particularmente, las bacterias nitrificantes transforman el amonio a nitrato, cuyos requerimientos de calcio son elevados. La poca movilidad del calcio se manifiesta en un pobre sistema radical, limitado desarrollo y muerte en los puntos de crecimiento.

El origen del calcio se presenta como la liberación a la solución del suelo de este elemento por la meteorización de minerales que lo contienen en su estructura para luego ser absorbido por plantas y microorganismos. El calcio en solución y el intercambiable o adsorbido es el que las plantas aprovechan rápidamente.

**1.11.2. Cobre.** Este elemento se encuentra fijado como catión intercambiable al complejo coloidal arcilloso de la materia orgánica, mientras que en la disolución del suelo se encuentra fundamentalmente como  $\text{Cu}^{2+}$  formando complejos estables con las sustancias húmicas del suelo. El 99% del cobre en disolución puede estar en forma orgánica y es absorbido por las plantas  $\text{Cu}^{2+}$ , presentando antagonismo con el  $\text{Zn}^{2+}$  a nivel de absorción.

Según Solórzano<sup>78</sup>, su deficiencia ocurre primero en suelos arenosos y orgánicos. Este elemento es constituyente de algunas enzimas importantes y es parte de la fotosíntesis y formación de la clorofila.

**1.11.3. Hierro.** Para Fertiberia<sup>79</sup> este elemento se encuentra en cantidad suficiente en el suelo formando distintos compuestos, destacando los óxidos e hidróxidos, sin embargo, la cantidad total de hierro no se correlaciona con la cantidad disponible para las plantas.

Su principal función es la activación de enzimas, catalizando la biosíntesis de la clorofila porque forma parte constituyente de las enzimas responsables. El hierro es un elemento con baja movilidad en los tejidos vegetales. La solubilidad de los compuestos de hierro es alta a pH ácido y disminuye a medida que éste aumenta.

**1.11.4. Magnesio.** Es absorbido por las plantas como catión  $\text{Mg}^{++}$  y su transporte es fácil dentro del vegetal. Este nutriente es importante por su presencia en la molécula de clorofila y como activador de enzimas que intervienen en el metabolismo de carbohidratos, grasa y proteínas.

El origen del magnesio es la meteorización de minerales que lo contienen en su estructura. Según Solórzano<sup>80</sup>, su cantidad varía hasta más del 4% en suelos de regiones semiáridas.

---

<sup>78</sup> Ibid., p. 160.

<sup>79</sup> Disponible en Internet <[www.chemedia.com/cgi-bin/smartframe/v2/smartframe.cgi?](http://www.chemedia.com/cgi-bin/smartframe/v2/smartframe.cgi?)

**1.11.5. Manganeseo.** Sólo una pequeña fracción del manganeso total del suelo se encuentra en forma reducida divalente que es aprovechable por las plantas. Según Solórzano<sup>81</sup>, este elemento actúa como un catalizador de algunos sistemas enzimáticos y algunas reacciones fisiológicas, está involucrado en procesos respiratorios como la oxidación de carbohidratos a CO<sub>2</sub> y activa enzimas relacionadas con el metabolismo del nitrógeno y síntesis de la clorofila.

Para Solórzano "...la deficiencia de manganeso puede ocurrir en suelos alcalinos y con altos contenidos de materia orgánica ya que ciertos radicales orgánicos pueden formar complejos insolubles con el manganeso divalente haciéndolo no aprovechable para las plantas..."<sup>82</sup>

Según Fertiberia<sup>83</sup>, el manganeso es absorbido por la planta como Mn<sup>2+</sup>, tanto por la raíz como por las hojas interviniendo en numerosos procesos metabólicos. La presencia de manganeso disponible, Mn<sup>++</sup>, depende tanto del pH como del potencial redox. Este elemento es más móvil que el hierro. Las sustancias húmicas lo reducen fácilmente.

**1.11.6. Potasio.** Salisbury<sup>84</sup> afirma que el potasio es activador de enzimas esenciales para la fotosíntesis y la respiración, así como de enzimas necesarias para formar almidón y proteínas. Este elemento es abundante porque contribuye de manera importante al potencial osmótico de las células y por consiguiente a su presión de turgencia.

**1.11.7. Sodio.** Para Kononova<sup>85</sup>, el sodio cambiable en los procesos de transformación de las sustancias orgánicas eleva la intensidad de descomposición debido al paso parcial de las sustancias húmicas al estado soluble, más accesible a los microorganismos. Sin embargo, con grandes cantidades de sodio cambiable debido al deterioro de las propiedades físicas del suelo y de la aireación, la actividad microbiológica disminuye.

---

<sup>80</sup> Ibid., p. 147.

<sup>81</sup> Ibid., p. 161.

<sup>82</sup> Ibid., p. 162.

<sup>83</sup> Disponible en Internet <[www.chemedia.com/cgi-bin/smartframe/v2/smartframe.cgi?>](http://www.chemedia.com/cgi-bin/smartframe/v2/smartframe.cgi?>)

<sup>84</sup> SALISBURY, Op. cit., p. 143-144.

<sup>85</sup> KONONOVA M. M. Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Barcelona : Oikos, 1982. p. 175.

## 2. DISEÑO METODOLÓGICO

Para llevar a cabo la determinación y seguimiento a nivel de invernadero del metabolismo y materia orgánica de un suelo erosionado utilizando como bioestimulante microorganismos eficientes (EM), se realizó una investigación cuantitativa con bloques completos al azar, utilizando 8 tratamientos con 3 repeticiones, por un periodo de 4 meses.

### 2.1. LOCALIZACIÓN

El invernadero se localizó en el área de Los Pinos de la Universidad de la Salle – Sede Centro. Se construyó utilizando dos secciones de andamio como estructura y plástico para invernadero calibre 6. El área utilizada fue de aproximadamente 15 m<sup>2</sup>.

**Figura 8. Invernadero.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

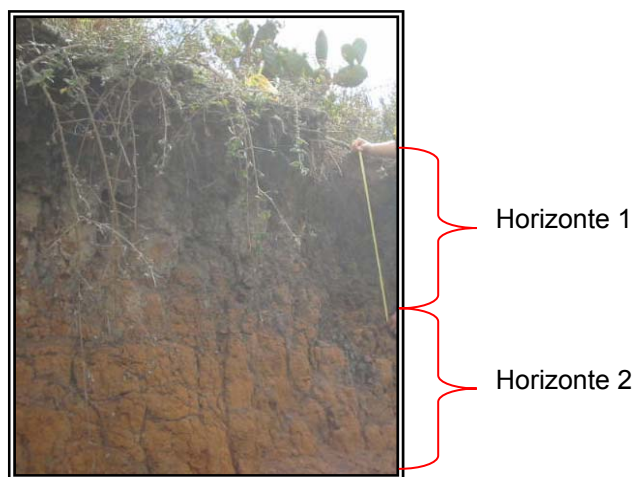
Los análisis de laboratorio para determinar el metabolismo y materia orgánica se realizaron en las instalaciones del laboratorio de Ingeniería Ambiental y Sanitaria de la Universidad de la Salle, mientras que el análisis inicial del suelo (Anexo A) se realizó en el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional.



## 2.2. TOMA DE MUESTRAS

En la zona de toma de muestras se identificaron los horizontes que conformaban el suelo.

**Figura 9. Horizontes del suelo.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

Luego se realizó un muestreo sistemático compuesto, tomando al azar diferentes muestras de los horizontes 1 y 2 en un área de aproximadamente 200 m<sup>2</sup>.

**Figura 10. Toma de muestras.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

Se recolectaron cerca de 200 kg. de suelo de cada estrato, se transportaron al área del invernadero en sacos de lona y se mantuvieron protegidos de la intemperie mientras se realizaba el montaje de las unidades experimentales.

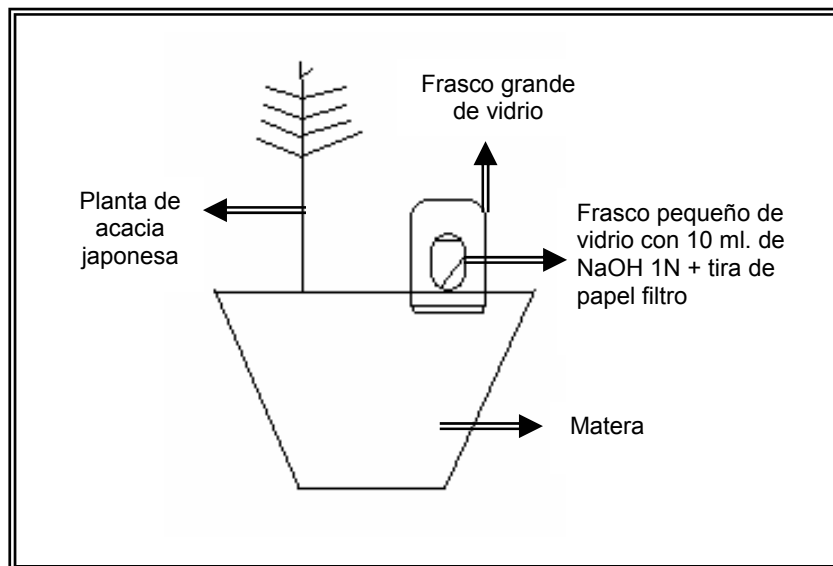
### 2.3. MONTAJE DE UNIDADES EXPERIMENTALES

Previamente se homogenizó y tamizó la muestra de suelo de cada horizonte. Cada unidad experimental se elaboró sobre una matera plástica de 4 kg. de capacidad. En cada matera se colocó 1.5 kg. de horizonte 2 y sobre éste 1.5 kg. de horizonte 1, donde se sembró una planta de acacia japonesa.

El objetivo de este procedimiento fue trasladar las características del lugar donde se tomó la muestra de suelo (Desierto de Zabinsky) a cada una de las unidades experimentales que se iban a mantener bajo condiciones de invernadero.

Luego de ensamblar cada unidad experimental se dispuso el montaje para determinar el metabolismo del suelo de la siguiente manera:

**Figura 11. Montaje de unidad experimental.**



**Fuente:** las autoras, 2006.

## 2.4. TRATAMIENTOS

Para evaluar y comparar la efectividad del bioestimulante EM en la recuperación del suelo se aplicaron los siguientes tratamientos:

- T<sub>1</sub>: Testigo
- T<sub>2</sub>: Suelo + EM
- T<sub>3</sub>: Suelo + Compost + EM
- T<sub>4</sub>: Suelo + Mulch + EM
- T<sub>5</sub>: Suelo + Gallinaza + EM
- T<sub>6</sub>: Suelo + Fertilizante químico + EM
- T<sub>7</sub>: Suelo + Compost + Mulch + Gallinaza + EM
- T<sub>8</sub>: Suelo + Compost + Mulch + Gallinaza + Fertilizante químico + EM

Cada tratamiento con sus respectivas repeticiones, fue dispuesto en una unidad experimental. Se aplicó 1 libra de abono orgánico según el tratamiento y luego se mezcló con el horizonte 1, excepto en el tratamiento T<sub>4</sub>, donde el mulch se aplicó en la superficie con el fin de simular las condiciones naturales en el terreno.

Para el tratamiento T<sub>3</sub>, se aplicó compost proveniente de restos vegetales, mientras que para el tratamiento T<sub>4</sub>, el mulch se compuso de pasto verde fresco.

**Tabla 11. Dosis en kg/árbol 3 a 4 meses.**

	<b>Baja</b>	<b>Media</b>	<b>Alta</b>
Cacao, plátano, café.	0.5 – 1.0	1.0 – 3.0	3.0 – 5.0
Tomate de árbol, manzana, badea, granadilla, maracuyá y mora.	1.0 – 2.0	2.0 – 4.0	4.0 – 6.0
Ornamentales arbustivos.	0.5 – 1.0	1.0 – 3.0	3.0 – 5.0
Ornamentales, otros.	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 3.0

**Fuente:** MUÑOZ ARAQUE Rodrigo, los abonos orgánicos y su uso en la agricultura, 1994, p. 303

Con base en los resultados del análisis inicial del suelo (Anexo A) y teniendo en cuenta los valores adecuados recomendados por el ICA<sup>86</sup>, se determinaron las necesidades nutricionales del suelo para calcular la cantidad de fertilizante químico a aplicar en los tratamientos T<sub>6</sub> y T<sub>8</sub>.

---

<sup>86</sup> INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. 1992, p. 21.

**Tabla 12. Necesidades nutricionales del suelo.**

Elemento	Cantidad (g)
Nitrógeno	30
Fósforo	32.019
Cobre	0.0002
Manganeso	0.0002
Boro	5
Zinc	0.0001

**Fuente:** las autoras. 2006.

Para satisfacer las necesidades nutricionales de nitrógeno, fósforo, cobre, manganeso y zinc (tabla 12), se aplicaron al suelo 167 g. en forma sólida del fertilizante UR-FOS 44 (úrea fosfato) como fuente de nitrógeno y de fósforo a cada una de las repeticiones de los tratamientos T6 y T8. Este fertilizante además de reducir las pérdidas de nitrógeno por volatilización “...mejora la absorción de nutrientes por las plantas, especialmente el fósforo y los microelementos como el hierro, el zinc y el manganeso”<sup>87</sup>.

**Tabla 13. Composición del fertilizante UR-FOS.**

Composición	Cantidad (%)
Nitrógeno orgánico (N)	18
Fósforo asimilable ( $P_2O_5$ )	44
Potasio ( $K_2O$ )	0.01
Magnesio (Mg)	0.18
Azufre (S)	0.1
Boro (B)	0.003
Hierro (Fe)	0.04
Cobre (Cu)	0.001
Manganeso (Mn)	0.004
Zinc (Zn)	0.001
Molibdeno (Mo)	0.001
Cobalto (Co)	0.001
Flúor (F)	máximo 0.04

**Fuente:** DICCIONARIO DE especialidades agroquímicas, 1998, p. 609.

Adicionalmente se aplicaron 24.4 g. del fertilizante KLIP BORO cuya composición de boro era de 20.5% para satisfacer la necesidad nutricional de este elemento en el suelo (tabla 12).

---

<sup>87</sup> DICCIONARIO DE ESPECIALIDADES AGROQUÍMICAS. 8 ed. Bogotá : P.L.M. 1998. p. 609.

Luego realizar el montaje de cada una de las unidades experimentales con su respectivo tratamiento, éstas se mantuvieron bajo condiciones de invernadero, aplicándoles la misma cantidad de agua de riego. Así mismo, la determinación y seguimiento del metabolismo y materia orgánica se realizó para cada una de ellas, en periodos iguales de tiempo y bajo las mismas condiciones.

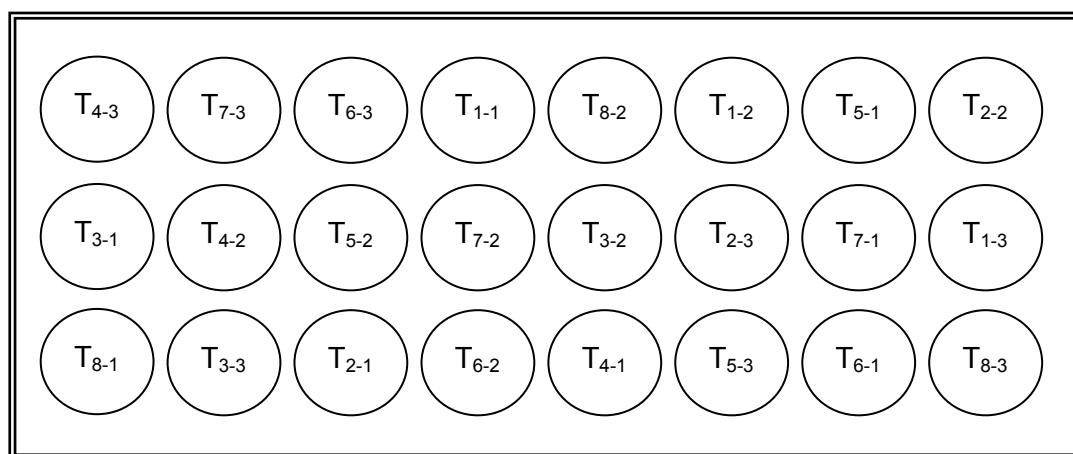
Las unidades experimentales se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar y cada una de ellas se identificó según el tratamiento y la repetición que les correspondía de la siguiente manera:

**Tabla 14. Identificación de las unidades experimentales.**

Tratamiento	Muestra	Identificación
1	1	T <sub>1-1</sub>
	2	T <sub>1-2</sub>
	3	T <sub>1-3</sub>
2	4	T <sub>2-1</sub>
	5	T <sub>2-2</sub>
	6	T <sub>2-3</sub>
3	7	T <sub>3-1</sub>
	8	T <sub>3-2</sub>
	9	T <sub>3-3</sub>
4	10	T <sub>4-1</sub>
	11	T <sub>4-2</sub>
	12	T <sub>4-3</sub>
5	13	T <sub>5-1</sub>
	14	T <sub>5-2</sub>
	15	T <sub>5-3</sub>
6	16	T <sub>6-1</sub>
	17	T <sub>6-2</sub>
	18	T <sub>6-3</sub>
7	19	T <sub>7-1</sub>
	20	T <sub>7-2</sub>
	21	T <sub>7-3</sub>
8	22	T <sub>8-1</sub>
	23	T <sub>8-2</sub>
	24	T <sub>8-3</sub>

**Fuente:** las autoras. 2006.

**Figura 12. Diseño de bloques completos al azar.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

## **2.5. SIEMBRA DE PLANTAS**

Se recolectaron 24 plantas de acacia japonesa del desierto de Zabrinsky para sembrarlas en cada una de las unidades experimentales al inicio de la aplicación de los tratamientos. Sin embargo, debido a que éstas presentaban un mal estado radical, fue necesario recolectar más especies del mismo lugar para sembrarlas junto a las primeras plantas. Estas últimas se sembraron 38 días después de la aplicación de los tratamientos. En cada unidad experimental se identificaron dos tipos de plantas de acuerdo con su tiempo de siembra:

- Plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.
- Plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

Cada una de las plantas tenía una altura de 30 cm. aproximadamente.

## **2.6. CÁLCULO DE AGUA PARA RIEGO**

El riego se realizó con agua desionizada para evitar el aporte de iones que alterarían los resultados en los análisis de laboratorio. Para determinar el volumen de agua a aplicar, fue necesario realizar la prueba de capacidad de campo del suelo; la cual hace referencia a la cantidad de agua retenida en el suelo, una vez drenado el exceso, y en el que la velocidad del movimiento descendente del agua ha desaparecido prácticamente.

La capacidad de campo se determinó a partir de una prueba de riego de la siguiente manera:

En una materia de plástico se colocó 1 kg. de horizonte 2 y sobre éste 1 kg. de horizonte 1 previamente tamizado y homogenizado. Para el cálculo inicial de riego, se asumió una relación 1:1, es decir, se aplicaron 2000 cm<sup>3</sup> de agua por cada 2000 g. de suelo en cada materia. La materia se colocó en una bandeja plástica para recolectar el agua que salió después del riego. Luego de un día se midió la cantidad de agua que había en la bandeja, la cual representaba el agua de exceso. La diferencia entre la cantidad inicial de agua aplicada y la cantidad de agua de exceso, representó la cantidad de agua de riego inicial a aplicar.

Este procedimiento se realizó para 4 materias cuyos resultados se promediaron y arrojaron como cálculo 300 ml. de agua a aplicar por día.

Se decidió hacer riego 3 veces a la semana, aplicándose 600 ml. de agua desionizada a cada unidad experimental. Cuando el suelo se empezó a saturar de agua se disminuyó el volumen de agua a aplicar para evitar que éste llegara a su coeficiente de saturación.

Debido a que el suelo se agregó y la materia orgánica incrementó, fue necesario disminuir el riego a 50 ml de agua cada dos días por unidad experimental.

**Figura 13. Aplicación del riego.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

## **2.7. DOSIS DE MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM) A APLICAR**

Esta dosis se aplicó según las indicaciones del proveedor. Como el suelo de estudio es bastante erosionado, fue necesario aplicar dosis altas (5% del agua de riego). Por lo tanto, la aplicación de la dosis recomendada fue la siguiente:

- Mes 1: 5% del agua de riego cada 8 días
- Mes 2: 5% del agua de riego cada 15 días
- Mes 3: 5% del agua de riego una sola vez

Para aplicar el 5% de EM en el agua de riego, se tuvo en cuenta el volumen de agua a aplicar, así por ejemplo, para un riego de 200 ml. por unidad experimental, se agregaron 10 ml. de EM en una probeta graduada y se completó volumen a 200 ml. con agua desionizada.

## **2.8. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Las unidades experimentales se dispusieron en un diseño de bloques completos al azar para obtener mayor precisión en los resultados obtenidos y disminuir el error experimental. Se diseñaron 8 tratamientos, cada uno con 3 repeticiones, según recomendación de la Sociedad Americana de Agronomía para ensayos con suelos<sup>88</sup>, para un total de 24 unidades experimentales.

Los resultados obtenidos se procesaron a través del programa estadístico SPSS 12 (Statistical Package for the Social Sciences), en donde se sometieron al análisis de varianza ANOVA para determinar si se aceptaban o rechazaban las hipótesis planteadas:

- Hipótesis nula ( $H_0$ ): no existen diferencias entre las medias poblacionales de los tratamientos, hay igualdad entre ellos, es decir,  $H_0 = T1 = T2 = T3 = T4 = T5 = T6 = T7 = T8$
- Hipótesis alterna ( $H_a$ ): hay diferencias entre las medias poblacionales de los tratamientos, no hay igualdad entre ellos, es decir,  $H_a = T1 \neq T2 \neq T3 \neq T4 \neq T5 \neq T6 \neq T7 \neq T8$ .

---

<sup>88</sup> GÓMEZ LÓPEZ, Hernán. Estadística experimental con aplicaciones a las ciencias agrícolas. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia, s.f. p. 608.



Se utilizó la prueba de Fischer (F) al 5% de significancia para la comparación global simultánea de todos los tratamientos, y las pruebas de comparaciones múltiples de Dunnett, Tukey y Duncan al mismo nivel de significancia para la separación de las medias de los tratamientos que permitieron detectar diferencias reales entre estos. La prueba de comparación de Dunnett compara cada tratamiento con el testigo y la prueba de comparación de Duncan compara todos los pares de medias de forma estricta.

**Figura 14. Distribución de las unidades experimentales en el invernadero.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

## **2.9. DETERMINACIÓN DEL METABOLISMO DEL SUELO**

Para determinar el metabolismo del suelo en cada una de las unidades experimentales se utilizó el método utilizado en el laboratorio de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia (Anexo B).

Según este método, los sustratos (compuestos hidrocarbonados y fertilizantes) son metabolizables en el suelo por microorganismos produciendo dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), permitiendo determinar indirectamente la actividad metabólica. Como el proceso mediante el cual la materia orgánica aumenta la producción de  $\text{CO}_2$  está sujeto a variables ambientales como la temperatura, el pH, la aireación del suelo, entre otras, es necesario utilizar un testigo en el que las condiciones ambientales se mantengan constantes.

El objetivo de este método es medir el metabolismo aeróbico del suelo mediante una técnica volumétrica a través de la cual es posible determinar cuantitativamente la cantidad de CO<sub>2</sub> producido.

**Figura 15. Determinación del metabolismo del suelo.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

## **2.10. DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO**

Para determinar la materia orgánica del suelo en cada una de las unidades experimentales se utilizó el método por titulación de Walkley – Black (Anexo B), el cual es un procedimiento de digestión por vía húmeda y se caracteriza por oxidar la materia orgánica en un 70%.

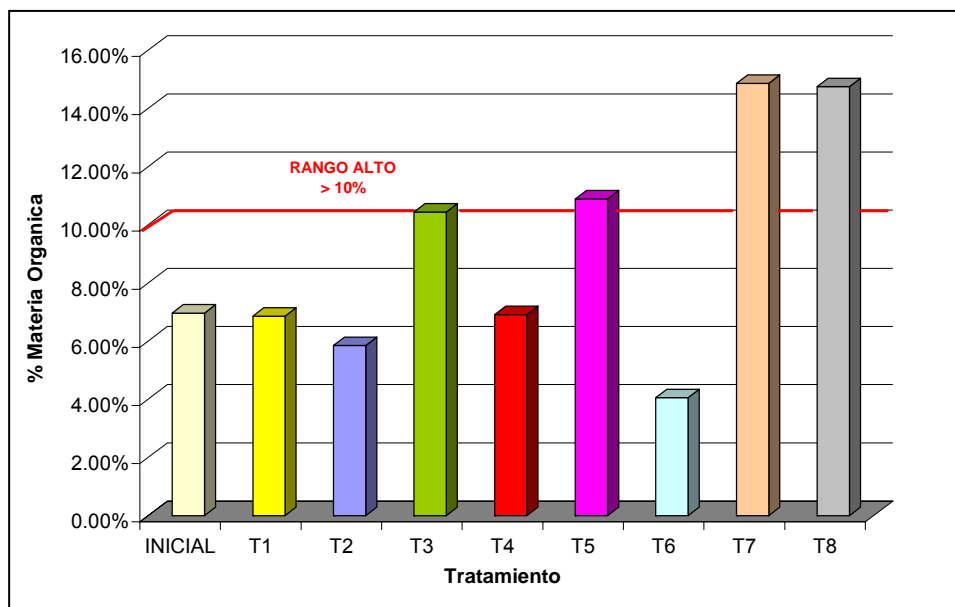
La materia orgánica se determinó para el primer estrato de suelo (Epipedón) de cada una de las unidades experimentales debido a que en este estrato fue donde se aplicaron los tratamientos y porque es allí donde se concentra la mayor cantidad de materia orgánica y donde ocurren los procesos metabólicos.

Se llevaron a cabo 3 mediciones; al inicio del montaje para determinar las condiciones iniciales del suelo, a los 68 días para determinar la evolución de la materia orgánica y a los 105 días para determinar la mineralización de la misma.

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1. MATERIA ORGÁNICA

Figura 16. Resultados de materia orgánica en el suelo por tratamiento a los 68 días.



Fuente: las autoras. 2006.

Tabla 15. Resultados de materia orgánica en el suelo por tratamiento a los 68 días.

Muestra	Tratamiento	Materia orgánica (%)
	INICIAL	6.97%
1,2,3	T1	6.86%
4,5,6	T2	5.85%
7,8,9	T3	10.44%
10,11,12	T4	6.91%
13,14,15	T5	10.89%
16,17,18	T6	4.06%
19,20,21	T7	14.86%
22,23,24	T8	14.75%

Fuente: las autoras. 2006.

En la figura 16 se observa que los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) sobrepasan el rango alto para clima frío (Anexo C), mientras que los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM), T4 (suelo + mulch + EM) y T6 (suelo + fertilización química + EM) presentan un porcentaje de materia orgánica menor al inicial.

El análisis estadístico ANOVA para materia orgánica a los 68 días arrojó una significancia de 0.000, rechazándose la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptándose la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Para comprobar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T4 y T6
- Grupo 2: T3 y T5
- Grupo 3: T7 y T8

Los siguientes resultados se corroboran a través de las pruebas de comparación de Tukey HSD y Dunnett (Anexo D), las cuales demuestran que los tratamientos T7 y T8 presentan diferencias significativas con respecto a los demás.

**Tabla 16. Análisis de varianza para materia orgánica a los 68 días.**

ANOVA					
MO_MITAD					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	346.490	7	49.499	17.304	.000
Within Groups	45.768	16	2.861		
Total	392.259	23			

**Tabla 17. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para materia orgánica a los 68 días.**

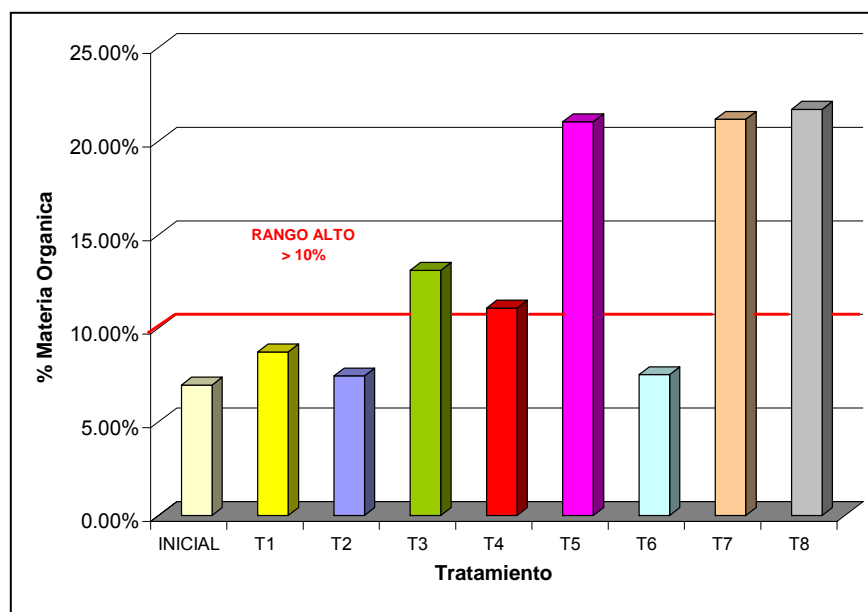
MO_MITAD				
Duncan <sup>a</sup>				
TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
6	3	4.05867		
2	3	5.85000		
1	3	6.85733		
4	3	6.91333		
3	3		10.44000	
5	3		10.88767	
8	3			14.75033
7	3			14.86233
Sig.		.074	.750	.936

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

**Figura 17. Resultados de materia orgánica en el suelo por tratamiento a los 105 días.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 18. Resultados de materia orgánica en el suelo por tratamiento a los 105 días.**

Muestra	Tratamiento	Materia orgánica (%)
	INICIAL	6.97%
1,2,3	T1	8.73%
4,5,6	T2	7.46%
7,8,9	T3	13.10%
10,11,12	T4	11.08%
13,14,15	T5	21.03%
16,17,18	T6	7.52%
19,20,21	T7	21.16%
22,23,24	T8	21.70%

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 17 se observa que los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + Gallinaza + fertilización química + EM) sobrepasan el rango alto para clima frío, mientras que los porcentajes de materia orgánica para los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM) y T6 (suelo + fertilización química + EM),

aunque son superiores al porcentaje de materia orgánica de la muestra inicial, se encuentran por debajo del rango alto para clima frío.

El análisis estadístico ANOVA para materia orgánica a los 105 días arrojó una significancia de 0.000, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Lo anterior se comprueba a través de la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4 y T6
- Grupo 2: T5, T7 y T8

A través de las pruebas de comparación de Tukey HSD y Dunnett (Anexo D), se corroboran los siguientes resultados, en donde se demuestra que los tratamientos T5, T7 y T8 presentan diferencias significativas con respecto a los demás.

**Tabla 19. Análisis de varianza para materia orgánica a los 105 días.**

ANOVA

MO\_FINAL

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	845.103	7	120.729	7.953	.000
Within Groups	242.897	16	15.181		
Total	1087.999	23			

**Tabla 20. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para materia orgánica a los 105 días.**

MO\_FINAL

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	7.45600	
6	3	7.52367	
1	3	8.73233	
4	3	11.08367	
3	3	13.09867	
5	3		21.02567
7	3		21.16000
8	3		21.69733
Sig.		.128	.844

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Comparando los resultados obtenidos, se observa que los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM) y T6 (suelo + fertilización química) no aumentaron significativamente su porcentaje de materia orgánica y sus resultados a los 69 y 105 días se mantuvieron por debajo del rango alto para clima frío.

El tratamiento T3 (suelo + compost + EM) presentó un aumento en el porcentaje de materia orgánica debido posiblemente a que el compost ya había estado expuesto a procesos de inmovilización – mineralización antes de aplicarlo a las unidades experimentales. Sin embargo, sus resultados a los 69 y 105 días sobrepasaron el rango alto para clima frío.

El tratamiento T4 (suelo + mulch + EM) aumentó significativamente su porcentaje de materia orgánica sobrepasando finalmente el rango alto para clima frío, debido a que el mulch aplicado era material joven y fue sometido a procesos de descomposición por parte de los microorganismos, aportando materia orgánica al suelo a través del tiempo.

El tratamiento T5 (suelo + gallinaza + EM) fue uno de los que presentó mayores porcentajes de materia orgánica debido a que la gallinaza se aplicó mineralizada y sus resultados a los 68 y 105 días sobrepasaron el rango alto para clima frío. Por lo tanto, se observa la influencia que este tratamiento ejerce en el aumento del porcentaje de materia orgánica de los tratamientos T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM). Lo anterior se comprueba mediante la prueba de comparación de Duncan (tabla 20) la cual agrupa los tratamientos T5, T7 y T8 por tener un comportamiento similar.

El alto porcentaje de materia orgánica en los tratamientos T7 y T8 debido a la acción de la gallinaza en acción mixta con el bioestimulante EM y a la cantidad de abonos orgánicos aplicados, concuerda con lo expuesto por Munévar: "...el contenido de material orgánico del suelo en un momento dado depende de la tasa de descomposición, debida a la actividad de los microorganismos, y de la cantidad de residuos orgánicos que se incorporan al suelo..."<sup>89</sup>

Comparando los resultados de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico (figura 54) de los tratamientos se observa que existe una correlación directa entre estas variables. Galiano<sup>90</sup>, afirma que en suelos que contienen bajos niveles de materia orgánica, la adición de ésta aumentará de gran manera la capacidad de intercambio catiónico, lo cual se comprueba al observar el comportamiento de los tratamientos T5, T7 y T8, los cuales presentaron altos porcentajes de materia orgánica y de capacidad de

---

<sup>89</sup> MUNÉVAR M., Op. cit., p. 233.

<sup>90</sup> GALIANO, Francisco. Capacidad de intercambio catiónico y aniónico. Bases de cambio y saturaciones. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. 1991. p. 173.

intercambio catiónico. Sin embargo, se observa que el tratamiento T6, a pesar de mantener bajos niveles de materia orgánica, presenta alta capacidad de intercambio catiónico debido a la aplicación de iones que llegaron directamente a la fase solución y de cambio.

Según Rivero de Trinca<sup>91</sup>, la alta reactividad de la materia orgánica por la presencia de grupos funcionales, hace que ésta tenga propiedades dependientes del pH del suelo, por lo cual, la materia orgánica se constituye como una fuente de cargas variables de gran influencia sobre la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

Para Burés<sup>92</sup>, la degradación de la materia orgánica se manifiesta en el sustrato orgánico mediante la liberación de elementos y reducciones en el volumen del mismo. Lo anterior se comprobó al observar la disminución en el volumen del sustrato de las unidades experimentales que contenían gran cantidad de abonos orgánicos y al comparar los resultados de materia orgánica y análisis foliar, en donde las plantas que se encontraban en los tratamientos con mayor porcentaje de materia orgánica, eran las que generalmente tenían mayor concentración de elementos.

En general, todos los tratamientos aumentaron sus porcentajes de materia orgánica debido a la descomposición de los abonos por parte de los microorganismos a través del tiempo. De esta manera los tratamientos que contenían abonos orgánicos fueron los que aumentaron en gran medida su porcentaje de materia orgánica.

---

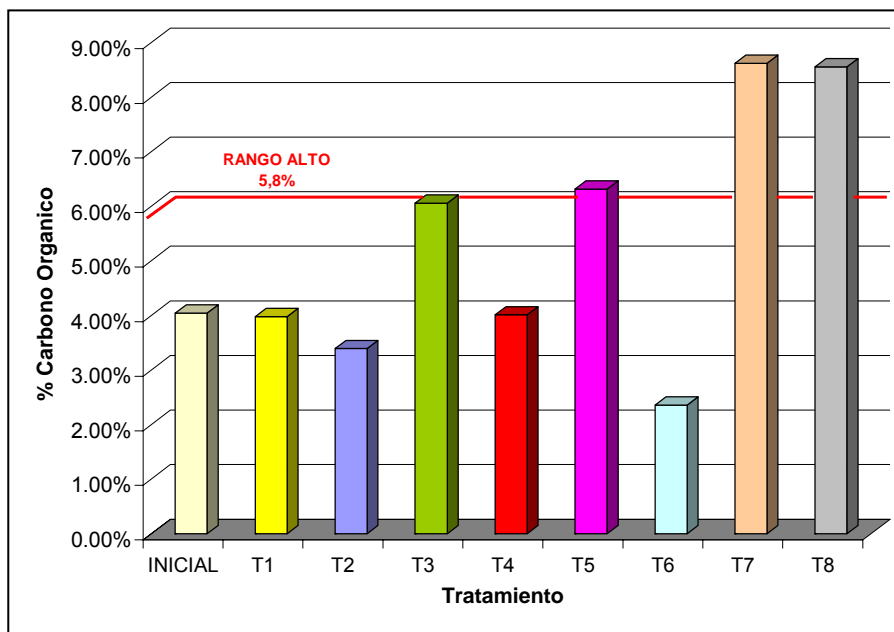
<sup>91</sup> RIVERO DE TRINCA, Op. cit., p. 18.

<sup>92</sup> BURÉS, Silvia. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. 1997. p. 149. s.l.



### 3.2. CARBONO ORGÁNICO

**Figura 18. Resultados de carbono orgánico en el suelo por tratamiento a los 68 días.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 21. Resultados de carbono orgánico en el suelo por tratamiento a los 68 días.**

Muestra	Tratamiento	Carbono orgánico (%)
	INICIAL	4.04%
1,2,3	T1	3.98%
4,5,6	T2	3.39%
7,8,9	T3	6.06%
10,11,12	T4	4.01%
13,14,15	T5	6.31%
16,17,18	T6	2.35%
19,20,21	T7	8.62%
22,23,24	T8	8.56%

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 18 se observa que los porcentajes de carbono orgánico de los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM), T4 (suelo + mulch + EM), y T6 (suelo + fertilización química + EM) son inferiores al porcentaje de carbono orgánico de la muestra inicial y por lo tanto, no sobrepasan el rango alto para clima frío (Anexo C).

Los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza fertilización química + EM) presentan altos contenidos de carbono orgánico, sobrepasando el rango alto para clima frío, especialmente los tratamientos T7 y T8.

El análisis estadístico ANOVA para carbono orgánico a los 68 días arrojó una significancia de 0.000, rechazándose la hipótesis nula (Ho) y aceptándose la hipótesis alterna (Ha). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T4 y T6
- Grupo 2: T3 y T5
- Grupo 3: T7 y T8

Los siguientes resultados se corroboran a través de las pruebas de comparación de Tukey HSD y Dunnett (Anexo D), las cuales demuestran que los tratamientos T7 y T8 presentan diferencias significativas con respecto a los demás.

**Tabla 22. Análisis de varianza para carbono orgánico a los 68 días.**

**ANOVA**

C\_MITAD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	116.577	7	16.654	17.308	.000
Within Groups	15.395	16	.962		
Total	131.973	23			

**Tabla 23. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para carbono orgánico a los 68 días.**

**C\_MITAD**

Duncan<sup>a</sup>

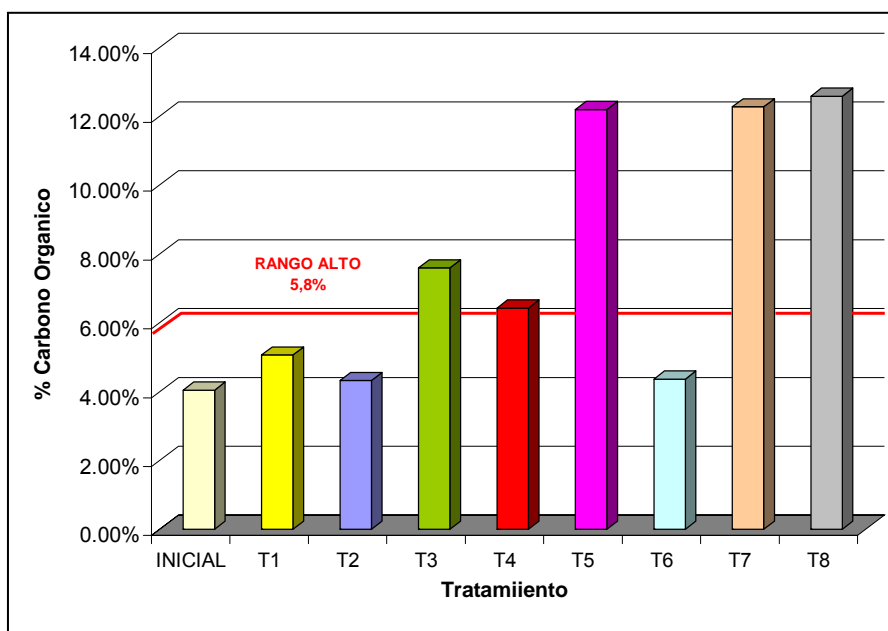
TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
6	3	2.3536667		
2	3	3.3926667		
1	3	3.9773333		
4	3	4.0096667		
3	3		6.0553333	
5	3		6.3150000	
8	3			8.5553333
7	3			8.6203333
Sig.		.074	.750	.936

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

**Figura 19. Resultados de carbono orgánico en el suelo por tratamiento a los 105 días.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 24. Resultados de carbono orgánico en el suelo por tratamiento a los 105 días.**

Muestra	Tratamiento	Carbono orgánico (%)
	INICIAL	4.04%
1,2,3	T1	5.06%
4,5,6	T2	4.32%
7,8,9	T3	7.60%
10,11,12	T4	6.43%
13,14,15	T5	12.19%
16,17,18	T6	4.36%
19,20,21	T7	12.27%
22,23,24	T8	12.58%

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 19 se observa que los porcentajes de carbono orgánico de los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM) y T6 (suelo + fertilización química + EM) no sobrepasan el rango alto para clima frío, mientras que los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) sobrepasan este rango, especialmente los tratamientos T5, T7 y T8.

El análisis estadístico ANOVA para carbono orgánico a los 105 días arrojó una significancia de 0.000, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Lo anterior se comprueba a través de la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4 y T6
- Grupo 2: T5, T7 y T8

A través de las pruebas de comparación de Tukey HSD y Dunnett (Anexo D), se corroboran los siguientes resultados en donde se demuestra que los tratamientos T5, T7 y T8 presentan diferencias significativas con respecto a los demás.

**Tabla 25. Análisis de varianza para carbono orgánico a los 105 días.**

ANOVA

C\_FINAL

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	284.286	7	40.612	7.953	.000
Within Groups	81.704	16	5.107		
Total	365.991	23			

**Tabla 26. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para carbono orgánico a los 105 días.**

C\_FINAL

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	4.3246667	
6	3	4.3636667	
1	3	5.0646667	
4	3	6.4286667	
3	3	7.5973333	
5	3		12.19467
7	3		12.27267
8	3		12.58467
Sig.		.128	.844

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Comparando los resultados obtenidos se observa que los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM) y T6 (suelo + fertilización química) se mantuvieron por debajo del rango alto para clima frío.

Los tratamientos T3 (suelo + compost + EM) y T4 (suelo + mulch + EM) incrementaron su porcentaje de carbono orgánico sobrepasando el rango alto para clima frío, a pesar que sus porcentajes iniciales se encontraban por debajo de este rango.

Los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) mantuvieron sus porcentajes de carbono orgánico por encima del rango alto para clima frío, excepto el tratamiento T5 que inicialmente presentaba un porcentaje inferior al rango establecido.

Según Rivero de Trinca<sup>93</sup> la materia orgánica del suelo está constituida por toda sustancia del suelo que posea carbono orgánico en su constitución y la contribución de este elemento depende de la velocidad con la que los materiales orgánicos son mineralizados. Igualmente afirma que la materia orgánica: "...debido a su el elevado contenido de carbono, es la fuente energética por excelencia para la producción de diversos procesos biológicos que mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo..."<sup>94</sup> Por lo tanto, los tratamientos T3, T5, T7 y T8 obtuvieron altos porcentajes de carbono orgánico debido a sus altos porcentajes de materia orgánica.

Se comprueba que el porcentaje de materia orgánica y el porcentaje de carbono orgánico están directamente relacionados debido a que el incremento de materia orgánica aumenta la actividad metabólica, generando un aumento en la producción de CO<sub>2</sub> como consecuencia de su respiración.

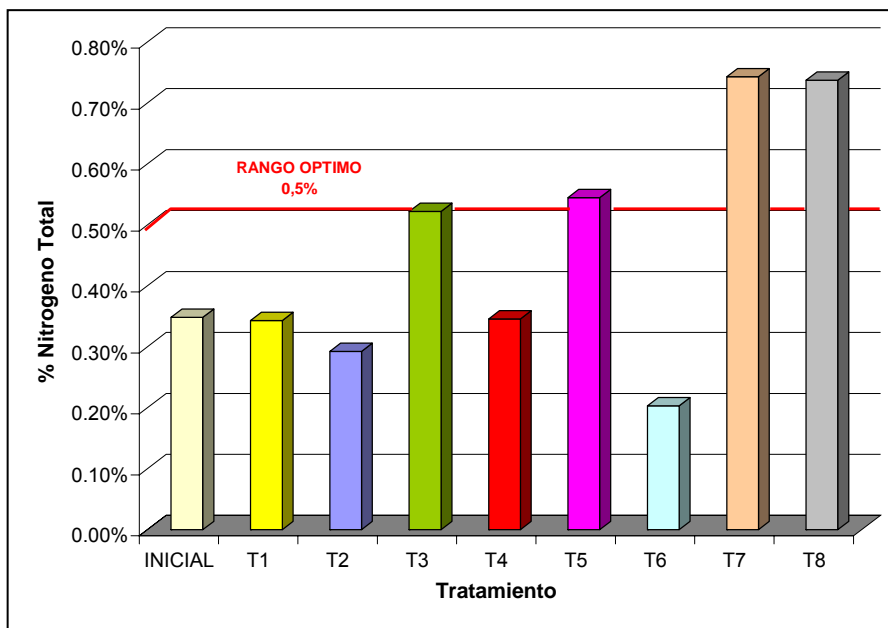
---

<sup>93</sup> RIVERO DE TRINCA, Op. cit., p. 3 y 43.

<sup>94</sup> Ibid., p. 59.

### 3.3. NITRÓGENO TOTAL

**Figura 20. Resultados de nitrógeno total en el suelo por tratamiento a los 68 días.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 27. Resultados de nitrógeno total en el suelo por tratamiento a los 68 días.**

Muestra	Tratamiento	Nitrogeno total (%)
	INICIAL	0.35%
1,2,3	T1	0.34%
4,5,6	T2	0.29%
7,8,9	T3	0.52%
10,11,12	T4	0.35%
13,14,15	T5	0.54%
16,17,18	T6	0.20%
19,20,21	T7	0.74%
22,23,24	T8	0.74%

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 20 se observa que el porcentaje de nitrógeno total de los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) sobrepasan el rango óptimo para clima frío (Anexo C).

El análisis estadístico ANOVA para nitrógeno total a los 68 días arrojó una significancia de 0.000, rechazándose la hipótesis nula ( $H_0$ ) y aceptándose hipótesis alterna ( $H_a$ ). Para comprobar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T4 y T6
- Grupo 2: T3 y T4
- Grupo 3: T5, T7 y T8

Los siguientes resultados se corroboran a través de las pruebas de comparación de Tukey HSD y Dunnett (Anexo D), las cuales demuestran que los tratamientos T7 y T8 presentan diferencias significativas con respecto a los demás.

**Tabla 28. Análisis de varianza para nitrógeno total a los 68 días.**

ANOVA

N\_MITAD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.866	7	.124	17.338	.000
Within Groups	.114	16	7.133E-03		
Total	.980	23			

**Tabla 29. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para nitrógeno total a los 68 días.**

N\_MITAD

Duncan<sup>a</sup>

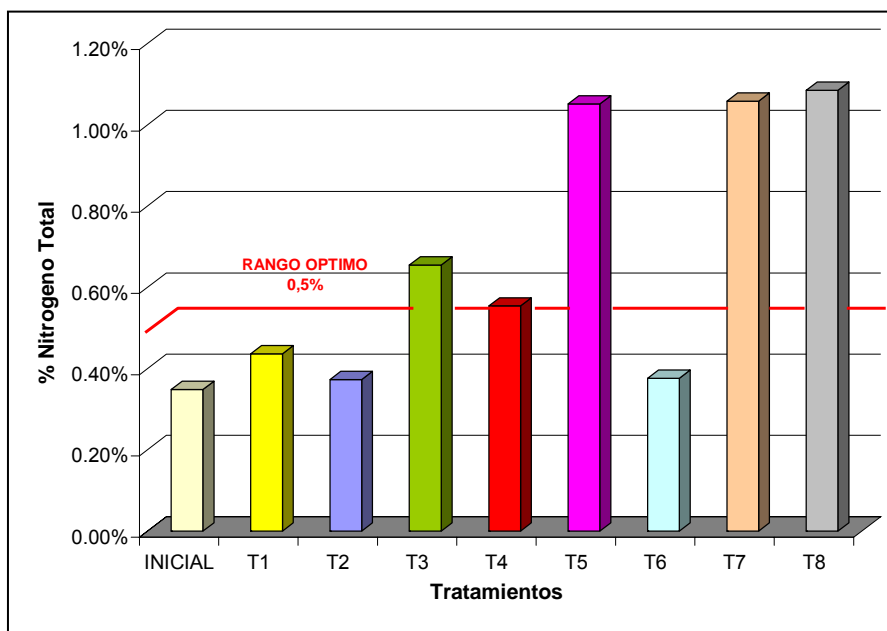
TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
6	3	.20333		
2	3	.29200		
1	3	.34267		
4	3	.34567		
3	3		.52200	
5	3		.54433	
8	3			.73733
7	3			.74300
Sig.		.074	.750	.936

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

**Figura 21. Resultados de nitrógeno total en el suelo por tratamiento a los 105 días.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 30. Resultados de nitrógeno total en el suelo por tratamiento a los 105 días.**

Muestra	Tratamiento	Nitrogeno total (%)
	INICIAL	0.35%
1,2,3	T1	0.44%
4,5,6	T2	0.37%
7,8,9	T3	0.65%
10,11,12	T4	0.55%
13,14,15	T5	1.05%
16,17,18	T6	0.38%
19,20,21	T7	1.06%
22,23,24	T8	1.08%

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 21 se observa que el porcentaje de nitrógeno total de los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) sobrepasan el rango óptimo para clima frío.

El análisis estadístico ANOVA para nitrógeno total a los 105 días arrojó una significancia de 0.000, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna



(Ha). Lo anterior se comprueba a través de la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4 y T6
- Grupo 2: T5, T7 y T8

A través de las pruebas de comparación de Tukey HSD y Dunnett (Anexo D), se corroboran los siguientes resultados en donde se demuestra que los tratamientos T5, T7 y T8 presentan diferencias significativas con respecto a los demás.

**Tabla 31. Análisis de varianza para nitrógeno total a los 105 días.**

ANOVA

N\_FINAL

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.112	7	.302	7.960	.000
Within Groups	.607	16	3.791E-02		
Total	2.719	23			

**Tabla 32. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para nitrógeno total a los 105 días.**

N\_FINAL

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	.37300	
6	3	.37600	
1	3	.43667	
4	3	.55400	
3	3	.65500	
5	3		1.05133
7	3		1.05800
8	3		1.08467
Sig.		.128	.845

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Comparando los resultados obtenidos, se observa que en general todos los tratamientos presentaron a los 105 días un incremento en su porcentaje de nitrógeno total, a pesar que los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM) y T6 (suelo + fertilización química + EM) no sobrepasaron finalmente el rango óptimo para clima frío. Lo anterior ocurrió como resultado de la mineralización producida por los microorganismos al descomponer los restos vegetales de la materia orgánica.

El tratamiento T4 (suelo + mulch + EM) incrementó a los 105 días su porcentaje de nitrógeno total sobrepasando el rango alto para clima frío, a pesar que su porcentaje inicial se encontraba por debajo de este rango.

Los porcentajes de nitrógeno total de los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) sobrepasaron el rango óptimo para clima frío. Sin embargo, los niveles más altos de nitrógeno total se presentan en los tratamientos T7, T8 y especialmente en el tratamiento T5, por lo que la gallinaza en acción mixta con el bioestimulante EM es el abono que aporta mayores cantidades de nitrógeno al suelo, influenciando el comportamiento de los tratamientos T7 y T8.

Lo anterior corrobora lo expuesto por Alexander, quien afirma que: "...la tasa de producción de nitrógeno inorgánico está en estrecha relación con el contenido total de nitrógeno en el suelo..."<sup>95</sup> por lo que los lugares ricos en nitrógeno liberan más iones inorgánicos.

Igualmente se observa que los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T6 presentan una baja inmovilización de nitrógeno, por lo que se asume que la entrega de nitrógeno inorgánico, disponible para las plantas, será más baja. Por lo tanto se comprueba lo expuesto por Alexander, quien afirma que: "...los compuestos nitrogenados presentes en la fracción orgánica del suelo permanecen por largos periodos en la naturaleza..."<sup>96</sup> debido a la resistencia a la degradación biológica, ocasionando una lenta mineralización.

Según Munévar<sup>97</sup> el pH afecta la mineralización del nitrógeno, ya que este proceso se lleva a cabo de forma acelerada en rangos de pH cercanos a la neutralidad o ligeramente alcalinos, por lo tanto, si el pH es mayor a 6 la desnitrificación es baja. Los tratamientos T1, T2 y T4 presentaron una acidez suave, razón por la cual obtuvieron bajos porcentajes de nitrógeno total.

La tabla 43 ratifica lo expuesto por Plaster<sup>98</sup>, quien afirma que en suelos ácidos se retardan actividades importantes llevadas a cabo por los microorganismos del suelo, como lo son la fijación del nitrógeno, la nitrificación y la descomposición de la materia orgánica. En las figuras 17 (materia orgánica a los 105 días), 21 (nitrógeno total a los 105 días) y 25 (pH), observa la relación entre estas variables, teniendo en cuenta que los tratamientos T1, T2 y T4 también presentaron bajos niveles de materia orgánica. Lo

---

<sup>95</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 249.

<sup>96</sup> Ibid., p. 244.

<sup>97</sup> MUNÉVAR M., Op. cit., p. 237 y 239.

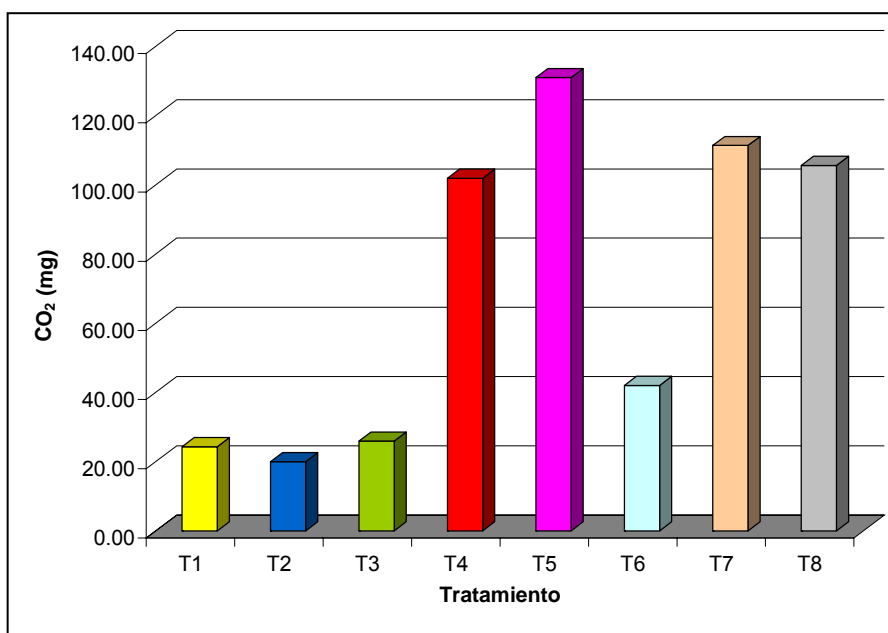
<sup>98</sup> PLASTER, Op. cit., p. 173.

anterior evidencia que la cantidad de nitrógeno presente en el suelo depende de la cantidad, origen y grado de descomposición de la materia orgánica.

Igualmente se observa que los tratamientos T3, T5, T7 y T8, los cuales sobrepasaron el rango óptimo de nitrógeno total para clima frío, también sobrepasaron el rango óptimo de materia orgánica. Lo anterior confirma lo expuesto por Primavesi<sup>99</sup>, quien afirma que la materia orgánica tiene importancia en el suministro de nitrógeno a las plantas, no por ser fuente primaria en si, sino por el nitrógeno contenido en los vegetales muertos que hacen parte de ella. De esta manera comprueba la estrecha relación que existe entre los resultados obtenidos de nitrógeno total y materia orgánica.

### 3.4. METABOLISMO

**Figura 22. Resultados de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo por tratamiento a los 44 días.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

<sup>99</sup> PRIMAVESI, Ana. Manejo ecológico del suelo. 1983. p. 94. s.n. s.l.

**Tabla 33. Resultados de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo por tratamiento a los 44 días.**

Muestra	Tratamiento	CO <sub>2</sub> (mg)
1,2,3	T1	24.42
4,5,6	T2	20.06
7,8,9	T3	26.00
10,11,12	T4	101.94
13,14,15	T5	131.06
16,17,18	T6	42.13
19,20,21	T7	111.42
22,23,24	T8	105.62

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 22 se observa que los tratamientos T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) presentaron una alta producción de CO<sub>2</sub> con respecto a los demás tratamientos.

El análisis estadístico ANOVA para CO<sub>2</sub> a los 44 días arrojó una significancia de 0.000, por lo tanto rechazándose la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y aceptándose la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>). Para comprobar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3 y T6
- Grupo 2: T4, T8 y T7
- Grupo 3: T5, T7 y T8

Los siguientes resultados se corroboran a través de las pruebas de comparación de Tukey HSD y Dunnett (Anexo D), las cuales demuestran que los tratamientos T4, T5, T7 y T8 presentan diferencias significativas con respecto a los demás.

**Tabla 34. Análisis de varianza para dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a los 44 días.**

ANOVA					
CO2_MITA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	45047.748	7	6435.393	27.947	.000
Within Groups	3684.328	16	230.271		
Total	48732.076	23			

**Tabla 35. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a los 44 días.**

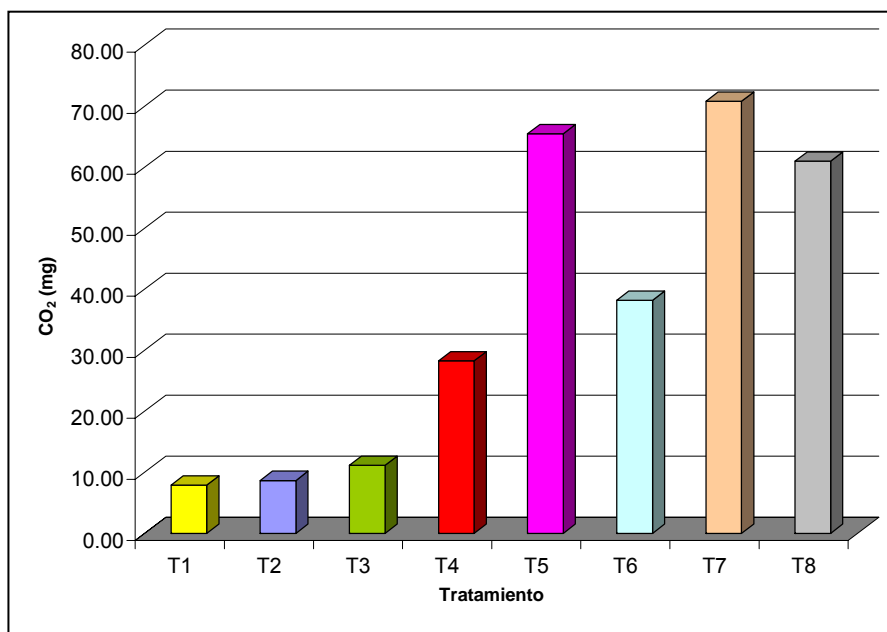
CO2_MITA				
Duncan <sup>a</sup>				
TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
2	3	20.05767		
1	3	24.42067		
3	3	26.00500		
6	3	42.13067		
4	3		101.94333	
8	3		105.61933	105.61933
7	3		111.42167	111.42167
5	3			131.05700
Sig.		.120	.480	.068

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

**Figura 23. Resultados de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo por tratamiento a los 103 días.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 36. Resultados de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo por tratamiento a los 103 días.**

Muestra	Tratamiento	CO <sub>2</sub> (mg)
1,2,3	T1	7.92
4,5,6	T2	8.67
7,8,9	T3	11.13
10,11,12	T4	28.27
13,14,15	T5	65.53
16,17,18	T6	38.21
19,20,21	T7	70.84
22,23,24	T8	61.04

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 23 se observa que los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) presentaron una alta producción de CO<sub>2</sub> con respecto a los demás tratamientos.

El análisis estadístico ANOVA para CO<sub>2</sub> a los 103 días arrojó una significancia de 0.000, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis alterna (H<sub>a</sub>). Lo anterior se comprueba a través de la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4 y T6
- Grupo 2: T5, T6, T7 y T8

A través de las pruebas de comparación de Tukey HSD y Dunnett (Anexo D), se corroboran los siguientes resultados en donde se demuestra que los tratamientos T5 y T7 presentan diferencias significativas con respecto a los demás.

**Tabla 37. Análisis de varianza para dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a los 103 días.**

ANOVA					
CO2_FINA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14789.228	7	2112.747	6.708	.001
Within Groups	5039.089	16	314.943		
Total	19828.317	23			

**Tabla 38. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a los 103 días.**

CO2_FINA			
Duncan <sup>a</sup>			
TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	3	7.91533	
2	3	8.67233	
3	3	11.13267	
4	3	28.27467	
6	3	38.21133	38.21133
8	3		61.03633
5	3		65.52800
7	3		70.84467
Sig.		.076	.053

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Comparando los resultados obtenidos se observa que los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM) y T6 (suelo + fertilización química + EM) presentan baja producción de CO<sub>2</sub>.

El tratamiento T3 (suelo + compost + EM) presentó baja producción de CO<sub>2</sub> debido a que el compost aplicado ya se encontraba descompuesto y por lo tanto, ya había presentado procesos de inmovilización - mineralización, ocasionando una baja actividad metabólica por la poca disponibilidad de compuestos orgánicos a consumir. Lo anterior corrobora lo expuesto por Cegarra<sup>100</sup>, quien afirma que el compost obtenido de material fresco se encuentra sometido a procesos de humificación.

La cantidad de CO<sub>2</sub> producido en el tratamiento T4 (suelo + mulch + EM) decrece a lo largo del tiempo. Inicialmente este tratamiento presenta una alta producción de CO<sub>2</sub> debido a que el mulch aplicado era material joven y al ser descompuesto por los microorganismos del suelo, éstos incrementaron su actividad metabólica, indicando que se encontraban en etapa de inmovilización. Esto se evidencia al observar los resultados obtenidos de materia orgánica, en donde el tratamiento T4 incrementa a través del tiempo su porcentaje de materia orgánica. Por lo tanto, la cantidad de CO<sub>2</sub> producido se relaciona con el porcentaje de materia orgánica, ya que la actividad metabólica se incrementó mientras el mulch se encontraba fresco y decreció cuando éste se encontraba descompuesto.

Los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) presentaron

<sup>100</sup> CEGARRA, J. Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. En: Memorias del VII Congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga. 1994. p. 26.

alta producción de CO<sub>2</sub>, aunque en el tratamiento T8 hay un efecto de la fertilización química que retrasa la actividad metabólica del suelo, debido a que la inmovilización y la mineralización son más lentas.

La gallinaza en acción mixta con el bioestimulante EM fue uno de los tratamientos que aportó mayor materia orgánica, incrementando el metabolismo de los microorganismos presentes en el suelo. Lo anterior concuerda con lo expuesto por Medina<sup>101</sup> quien afirma que la gallinaza es uno de los tratamientos con mayor biomasa orgánica y por lo tanto, la de mayor producción de CO<sub>2</sub>, ya que gracias a su textura fina brinda una mayor superficie disponible para que los microorganismos puedan aprovechar sus contenidos energéticos y nutricionales. Esto quiere decir que los microorganismos encuentran en las partículas más finas de la gallinaza, sustrato más accesible a metabolizar.

Comparando la figura 23 con las figuras 19 y 21, se observa que los tratamientos T5, T7 y T8 son los que producen mayor cantidad de CO<sub>2</sub> y sobrepasan el rango óptimo de carbono orgánico y de nitrógeno total para clima frío, razón por la cual se correlacionan directamente estas variables. Confirmando lo expuesto por Hanke<sup>102</sup>, quien afirma que la fotosíntesis depende del nitrógeno por ser parte indispensable de la clorofila y por lo tanto, no ocurre ningún metabolismo sin la interferencia de este elemento.

Según Alexander<sup>103</sup>, la alta producción de CO<sub>2</sub> se debe a la descomposición de la materia orgánica, por lo que esta se utiliza para indicar el nivel de actividad metabólica en el suelo. En las figuras del Anexo E (materia orgánica total) y del Anexo F (metabolismo total) se observa que los tratamientos T5, T7 y T8 sobrepasan el rango alto de materia orgánica y por consiguiente, presentaron altos niveles de CO<sub>2</sub>.

En general se observa que a lo largo del tiempo, todos los tratamientos disminuyeron su producción de CO<sub>2</sub> debido a que la actividad de los microorganismos es mayor en la etapa de inmovilización y menor en la de mineralización. Por lo tanto, a los 103 días, la actividad metabólica fue menor a la inicial porque los sustratos ya habían sido descompuestos.

---

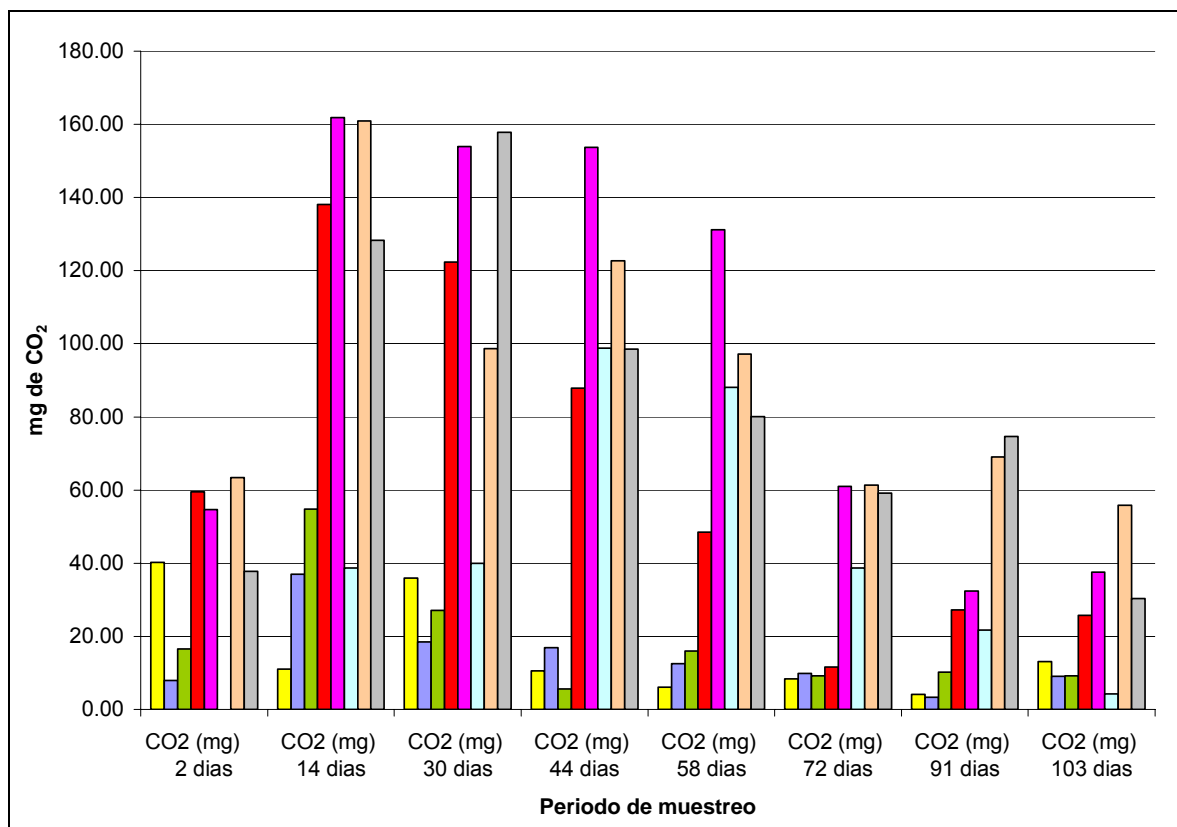
<sup>101</sup> MEDINA, GUTIÉRREZ Maria Cecilia. Evolución de la respiración del suelo con sustratos orgánicos (Paja de maíz dulce y gallinaza) y observaciones generales de su fauna edáfica. Bogotá, 1997. 102 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional. Facultad de Ingeniería Agronómica.

<sup>102</sup> HANKE, Franz. Los elementos mayores. N, P y K en el suelo. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. p.187.

<sup>103</sup> ALEXANDER, Op. cit., p. 132 y 145.



**Figura 24. Resultados de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo a través del tiempo.**



**Tabla 39. Resultados de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el suelo a través del tiempo.**

Tratamiento	CO <sub>2</sub> (mg) 2 días	CO <sub>2</sub> (mg) 14 días	CO <sub>2</sub> (mg) 30 días	CO <sub>2</sub> (mg) 44 días	CO <sub>2</sub> (mg) 58 días	CO <sub>2</sub> (mg) 72 días	CO <sub>2</sub> (mg) 91 días	CO <sub>2</sub> (mg) 103 días
T1	40.16	11.00	35.98	10.54	6.12	8.36	4.11	13.07
T2	7.93	36.96	18.49	16.85	12.47	9.83	3.32	9.08
T3	16.50	54.82	27.07	5.63	15.91	9.20	10.27	9.15
T4	59.45	138.12	122.29	87.91	48.47	11.62	27.24	25.76
T5	54.68	161.88	153.97	153.69	131.16	60.94	32.45	37.57
T6	-	38.72	40.01	98.84	88.15	38.68	21.74	4.27
T7	63.41	160.97	98.64	122.67	97.13	61.38	69.04	55.83
T8	37.78	128.26	157.86	98.58	80.08	59.14	74.65	30.27

El tratamiento T1 (testigo) presentó a lo largo del tiempo bajos niveles de CO<sub>2</sub> debido a que en sus unidades experimentales no se aplicó ningún sustrato orgánico. Por lo tanto, los microorganismos presentaron baja actividad metabólica al no tener materia orgánica que degradar.

El tratamiento T2 (suelo + EM) presentó el menor nivel de inmovilización, ya que a pesar de incrementar la población microbiana en el suelo, éstos no encontraron sustrato orgánico que metabolizar, produciendo bajas cantidades de CO<sub>2</sub>. Se pudo presentar competencia por la poca materia orgánica entre los microorganismos presentes inicialmente en el suelo y los que se encontraban en el bioestimulante EM.

El tratamiento T3 (suelo + compost + EM) también presentó bajos niveles de CO<sub>2</sub> debido a que el compost ya había sido sometido a procesos de descomposición, razón por la cual los microorganismos no encontraron en el sustrato sustancias orgánicas que metabolizar. Lo anterior indica que el compost presentó bajos niveles de inmovilización.

La producción de CO<sub>2</sub> del tratamiento T4 (suelo + mulch + EM) aumentó durante la primera semana como consecuencia de la acción metabólica de los microorganismos al descomponer el sustrato fresco, y disminuyó a medida que éste se descomponía, ratificando lo expuesto por Amézquita<sup>104</sup>, quien afirma que el mulch al mejorar la cantidad de agua almacenada, la temperatura, la aireación y la suplencia de nutrientes del suelo, desarrolla un microambiente apto para que los microorganismos cumplan con sus funciones de mantenimiento del potencial de fertilidad del suelo. Por lo tanto, el aumento en la producción de CO<sub>2</sub> se relaciona con el proceso de inmovilización, mientras que su disminución se relaciona con el proceso de mineralización, en el cual se entregan iones disponibles a las plantas.

El tratamiento T5 (suelo + gallinaza + EM) fue el que presentó los niveles más altos de inmovilización porque a través del tiempo fue el que alcanzó el punto más alto en la figura 24 (161.88 mg de CO<sub>2</sub>). Sin embargo, a pesar de haber sido el tratamiento que más iones aportó al suelo por su alta inmovilización, fue el que más se demoró en entregarlos por su lento decrecimiento en la figura.

El tratamiento T6 (suelo + fertilización química + EM) presentó picos en la producción de CO<sub>2</sub> a lo largo del tiempo debido a la poca acción de los microorganismos sobre el fertilizante.

Los tratamientos T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) tienden a comportarse como el tratamiento T5 debido a la acción de los microorganismos sobre la gallinaza en acción mixta con el bioestimulante EM. Sin embargo, se observa que los procesos de inmovilización y mineralización en el tratamiento T8 son retardados por la acción del fertilizante químico, lo cual se comprueba al observar los bajos niveles de producción de CO<sub>2</sub> del tratamiento T6.

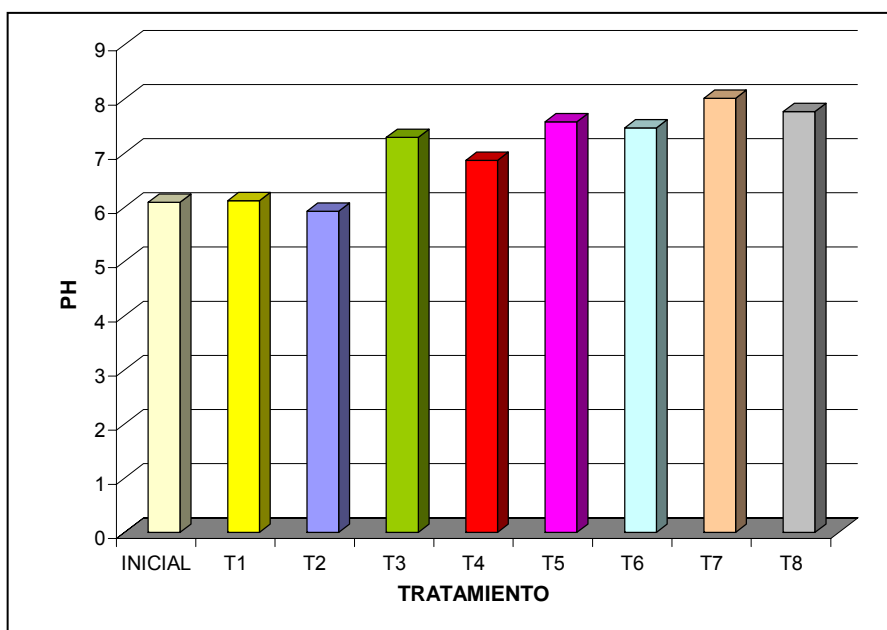
---

<sup>104</sup> AMÉZQUITA, Op. cit., p. 13.

Al comparar los tratamientos con abonos orgánicos (compost, mulch y gallinaza) se observa que la gallinaza en acción mixta con el bioestimulante EM es la que más incrementa el metabolismo del suelo debido a que presenta una inmovilización más alta con respecto a los demás tratamientos.

### 3.5. pH

**Figura 25. Resultados de pH en el suelo.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 40. Resultados de pH en el suelo.**

Tratamiento	pH
INICIAL	6.09
T1	6.120
T2	5.927
T3	7.290
T4	6.867
T5	7.577
T6	7.467
T7	8.013
T8	7.767

**Fuente:** las autoras, 2006.

El análisis estadístico ANOVA para pH arrojó una significancia de 0.000, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en cuatro grupos:

- Grupo 1: T1 y T2
- Grupo 2: T3, T4 y T6
- Grupo 3: T3, T5, T6 y T8
- Grupo 4: T5, T6, T7 y T8

**Tabla 41. Análisis de varianza para pH.**

ANOVA

PH

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12.185	7	1.741	14.768	.000
Within Groups	1.886	16	.118		
Total	14.070	23			

**Tabla 42. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para pH.**

PH

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
2	3	5.92667			
1	3	6.12000			
4	3		6.86667		
3	3		7.29000	7.29000	
6	3		7.46667	7.46667	7.46667
5	3			7.57667	7.57667
8	3			7.76667	7.76667
7	3				8.01333
Sig.		.500	.058	.136	.090

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

En la figura 25 se observa que el pH de cada uno de los tratamientos aumentó con respecto al pH del suelo inicial (pH = 5.7 – suelo moderadamente ácido). Según el Anexo G, el suelo de los siguientes tratamientos se puede clasificar como:

**Tabla 43. Clasificación del suelo de acuerdo al pH.**

Tratamiento	Clasificación
T1	Acidez suave
T2	Acidez suave
T3	Alcalinidad suave
T4	Acidez muy suave
T5	Alcalinidad suave
T6	Alcalinidad suave
T7	Alcalinidad moderada
T8	Alcalinidad suave

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 25 se observa que la mayoría de los valores de pH de los tratamientos se encuentran cercanos a la neutralidad, confirmando el comportamiento del porcentaje de materia orgánica mostrado en las figuras 16 y 17, donde según Munévar<sup>105</sup>, el proceso de descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo favorablemente en rangos de pH cercanos a la neutralidad.

Lo anterior corrobora lo expuesto por López<sup>106</sup>, quien afirma que el ámbito de pH más corriente para los suelos es de 4 a 9, lo cual tiene una importancia indirecta porque influye en la disponibilidad de la mayor parte de los nutrientes, en las propiedades físicas de los suelos y en la vida microbiana.

Guerrero<sup>107</sup>, afirma que las condiciones ligeramente ácidas del suelo (pHs entre 5.6 y 6.5 y más) son requeridas para llevar a cabo las transformaciones, procesos microbianos y fijación simbiótica del nitrógeno en el suelo.

Según Marín<sup>108</sup>, el pH, la materia orgánica y la textura son características que pueden dar indicios de deficiencia de elementos menores. Por lo tanto, a medida que el pH aumenta, la aprovechabilidad varía de acuerdo al elemento y las propiedades del suelo. El cobre, el hierro, el zinc, el manganeso y el boro son más aprovechables a pHs bajos.

---

<sup>105</sup> MUNÉVAR M., Op. cit. p. 230.

<sup>106</sup> LÓPEZ, RITAS J. El diagnóstico de suelos y plantas. Madrid : Mundiprensa, 1985. p. 44.

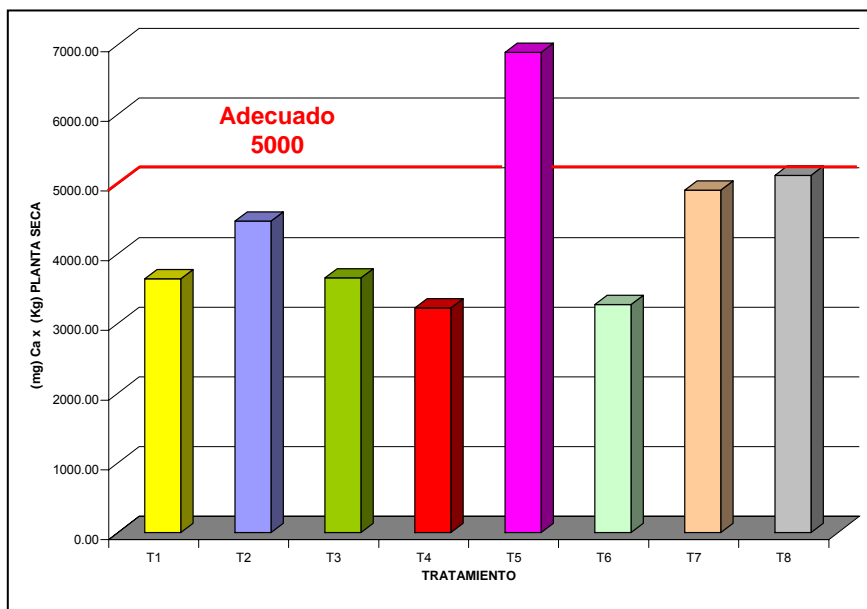
<sup>107</sup> GUERRERO, Ramiro. La acidez del suelo – Su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1991. p. 145.

<sup>108</sup> MARÍN MORALES, Gildardo. La fertilidad de los suelos de Colombia y las recomendaciones de fertilizantes. En : Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Bogotá : Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1988. p. 301.

### 3.6. ANÁLISIS FOLIAR DE LAS PLANTAS

#### 3.6.1. Calcio.

Figura 26. Resultados de calcio (Ca) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.



Fuente: las autoras. 2006.

Tabla 44. Resultados de calcio (Ca) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

Muestra	Tratamiento	(mg) Ca x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	3639.72
4,5,6	T2	4467.72
7,8,9	T3	3654.32
10,11,12	T4	3221.90
13,14,15	T5	6887.88
16,17,18	T6	3270.93
19,20,21	T7	4914.17
22,23,24	T8	5126.40

Fuente: las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 5000 mg/kg de calcio es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 26 se observa que las plantas que sobrepasaron esta concentración fueron las que se encontraban en los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para calcio arrojó una significancia de 0.024, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos, demostrando que las plantas que se encontraban en el tratamiento T5 presentaron un comportamiento diferente a las demás.

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T6, T7 y T8
- Grupo 2: T5, T7 y T8

**Tabla 45. Análisis de varianza para calcio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

CA\_VIEJA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	32348626	7	4621232.284	3.258	.024
Within Groups	22695041	16	1418440.090		
Total	55043667	23			

**Tabla 46. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para calcio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

CA\_VIEJA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
4	3	3221.903	
6	3	3270.930	
1	3	3639.720	
3	3	3654.323	
2	3	4467.723	
7	3	4914.167	4914.167
8	3	5126.400	5126.400
5	3		6887.877
Sig.		.102	.071

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

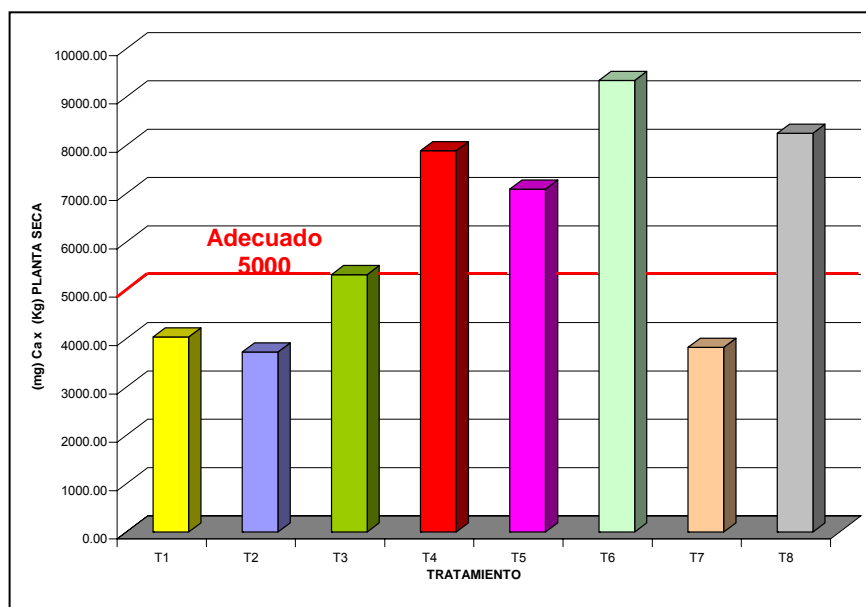
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Las plantas que se encontraban en los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) sobrepasaron la concentración adecuada debido a la cantidad de este elemento en la gallinaza, lo cual se comprueba al observar la figura 41 y a la cantidad contenida en el suelo inicialmente, según el Anexo A. Sin embargo, a pesar que las plantas del tratamiento T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) no sobrepasaron el nivel adecuado, éste si se encuentra muy cercano debido a la acción de la gallinaza en acción mixta con el bioestimulante EM.

Las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos fueron las que obtuvieron los niveles más bajos de calcio, lo cual corrobora lo expuesto por Primavesi: "...el calcio puede ser deficiente por ser el primer catión que se lixivia..."<sup>109</sup>. Igualmente asegura que: "...cuando se presentan carencias de calcio indispensables para la raíz, aparecen los más extraños síntomas de deficiencia e intoxicación..."<sup>110</sup>, razón por la cual las plantas con el tiempo perdieron sus características morfológicas iniciales.

**Figura 27. Resultados de calcio (Ca) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

<sup>109</sup> PRIMAVESI, Op. cit., p.242.

<sup>110</sup> Ibid, p.5.



**Tabla 47. Resultados de calcio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Ca x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	4037.03
4,5,6	T2	3726.85
7,8,9	T3	5155.30
10,11,12	T4	7885.94
13,14,15	T5	7095.94
16,17,18	T6	9340.42
19,20,21	T7	3819.28
22,23,24	T8	8252.31

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 5000 mg/kg de calcio es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 27 se observa que las plantas que sobrepasaron esta concentración fueron las que se encontraban en los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T6 (suelo + fertilización química + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para calcio arrojó una significancia de 0.100, rechazándose la hipótesis alterna (Ha) y aceptándose la hipótesis nula (Ho). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5, T7 y T8
- Grupo 2: T1, T3, T4, T5, T6 y T8

**Tabla 48. Análisis de varianza para calcio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

CA\_NUEVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.13E+08	7	16095253.07	2.128	.100
Within Groups	1.21E+08	16	7565284.891		
Total	2.34E+08	23			

**Tabla 49. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para calcio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

CA\_NUEVA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	3726.853	
7	3	3819.283	
1	3	4037.027	4037.027
3	3	5320.957	5320.957
5	3	7095.943	7095.943
4	3	7885.943	7885.943
8	3	8814.787	8814.787
6	3		9340.423
Sig.		.062	.050

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Las plantas que se encontraban en los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T6 (suelo + fertilización química + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) sobrepasaron la concentración adecuada debido a que el calcio es un catión divalente que es absorbido fácilmente por las plantas.

La acacia japonesa es una planta dicotiledónea y según lo expuesto por Estrada<sup>111</sup>, estas plantas presentan una alta capacidad de intercambio catiónico en las raíces y por lo tanto tienen un alto poder para absorber cationes divalentes. Lo anterior se comprueba porque las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos presentaron mayor absorción de calcio que las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos porque presentaban un mejor estado radical.

Debido a que la temperatura registrada durante el tiempo de la investigación (Anexo I) presentó variaciones y los valores obtenidos no fueron muy altos, se puede corroborar lo expuesto por Primavesi: "...la absorción de calcio depende de la temperatura, siendo mejor la absorción cuando este parámetro se encuentra elevado..."<sup>112</sup>

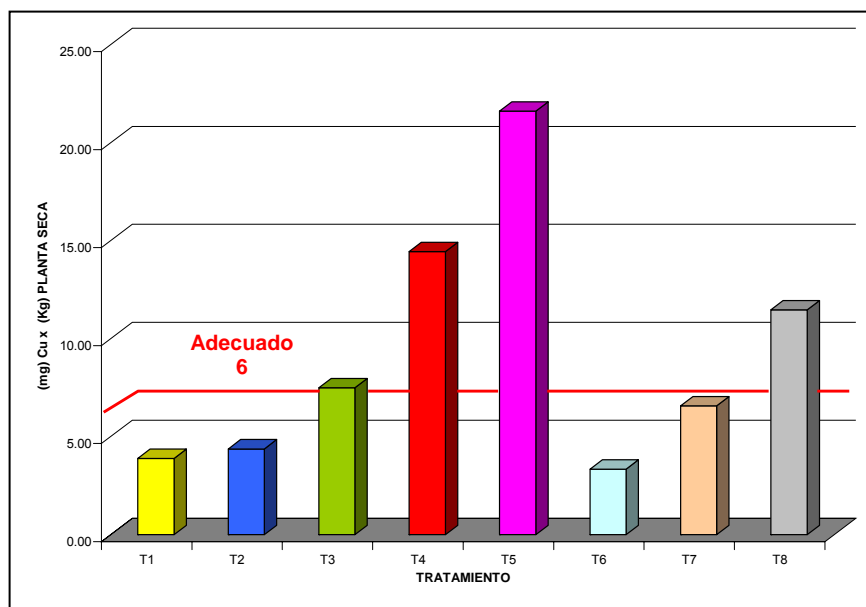
---

<sup>111</sup> ESTRADA, Gabriela. Elementos secundarios: Calcio, Magnesio, Azufre. Fundamento e interpretación del análisis químico. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. 1991. p. 198.

<sup>112</sup> PRIMAVESI, Op. cit., p. 244.

### 3.6.2. Cobre.

**Figura 28. Resultados de cobre (Cu) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 50. Resultados de cobre (Cu) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Cu x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	3.89
4,5,6	T2	4.37
7,8,9	T3	7.49
10,11,12	T4	14.44
13,14,15	T5	21.61
16,17,18	T6	3.34
19,20,21	T7	6.58
22,23,24	T8	11.46

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 6 mg/kg de cobre es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 28 se observa que las plantas que sobrepasaron esta concentración fueron las que se encontraban en los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch +

EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para calcio arrojó una significancia de 0.175, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna (Ha) y se acepta la hipótesis nula (Ho) a pesar que las plantas de los tratamientos T4 y T5 muestren una tendencia diferente a las demás. Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T6, T7 y T8
- Grupo 2: T3, T4, T5, T7 y T8

**Tabla 51. Análisis de varianza para cobre en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

CU\_VIEJA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	846.662	7	120.952	1.719	.175
Within Groups	1125.693	16	70.356		
Total	1972.355	23			

**Tabla 52. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para cobre en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

CU\_VIEJA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
6	3	3.3400000	
1	3	3.8900000	
2	3	4.3733333	
7	3	6.5766667	6.5766667
3	3	7.4900000	7.4900000
8	3	11.46667	11.46667
4	3	14.44000	14.44000
5	3		21.61000
Sig.		.170	.064

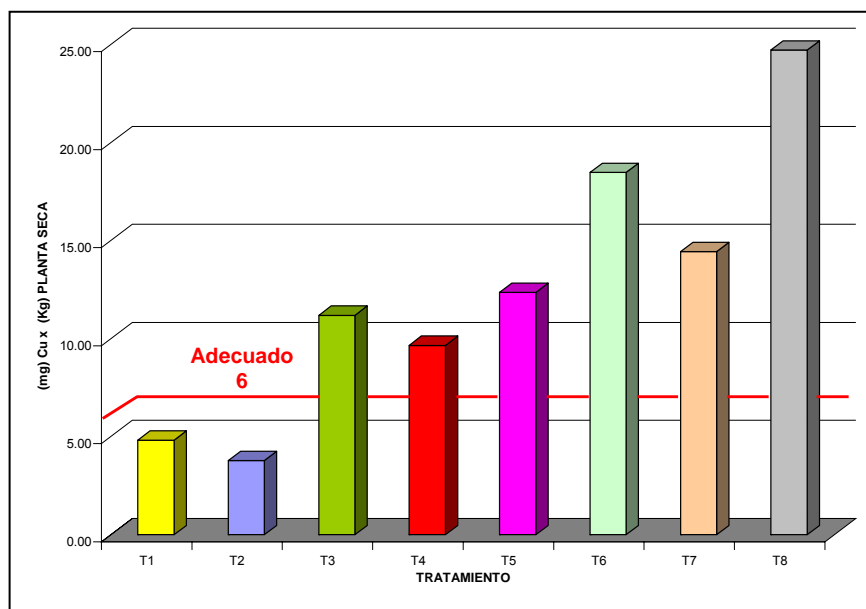
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Según Sáenz<sup>113</sup> los desórdenes nutricionales de las plantas se pueden expresar interna o externamente, haciendo que su fisiología funcione mal. Lo anterior se corrobora al observar el comportamiento de las plantas que se encontraban en el tratamiento T5 debido a que éstas perdieron sus características físicas iniciales y presentaron excesos de cobre en su tejido vegetal.

**Figura 29. Resultados de cobre (Cu) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

<sup>113</sup> Sáenz Calderón Felipe. Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Pg 317 - 318

**Tabla 53. Resultados de cobre (Cu) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Cu x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	4.83
4,5,6	T2	3.79
7,8,9	T3	11.19
10,11,12	T4	9.66
13,14,15	T5	12.36
16,17,18	T6	18.48
19,20,21	T7	14.44
22,23,24	T8	24.72

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 6 mg/kg de cobre es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 29 se observa que las plantas que sobrepasaron esta concentración fueron las que se encontraban en los tratamientos T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T6 (suelo + fertilización química + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para calcio arrojó una significancia de 0.106, rechazándose la hipótesis alterna (Ha) y aceptándose la hipótesis nula (Ho) a pesar que las plantas del tratamiento T8 muestre una tendencia diferente a las demás. Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7
- Grupo 2: T3, T5, T6, T7 y T8

**Tabla 54. Análisis de varianza para cobre en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA					
CU_NUEVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1293.649	7	184.807	2.087	.106
Within Groups	1416.633	16	88.540		
Total	2710.282	23			

**Tabla 55. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para cobre en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

CU\_NUEVA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	3.7900000	
1	3	4.8266667	
4	3	9.6600000	
3	3	11.19667	11.19667
5	3	12.35667	12.35667
7	3	14.44667	14.44667
6	3	18.48000	18.48000
8	3		28.25667
Sig.		.109	.061

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Las plantas que se encontraban en los tratamientos T6 y T8 presentaron altos niveles de cobre debido a la presencia de este elemento en los componentes de la fertilización química.

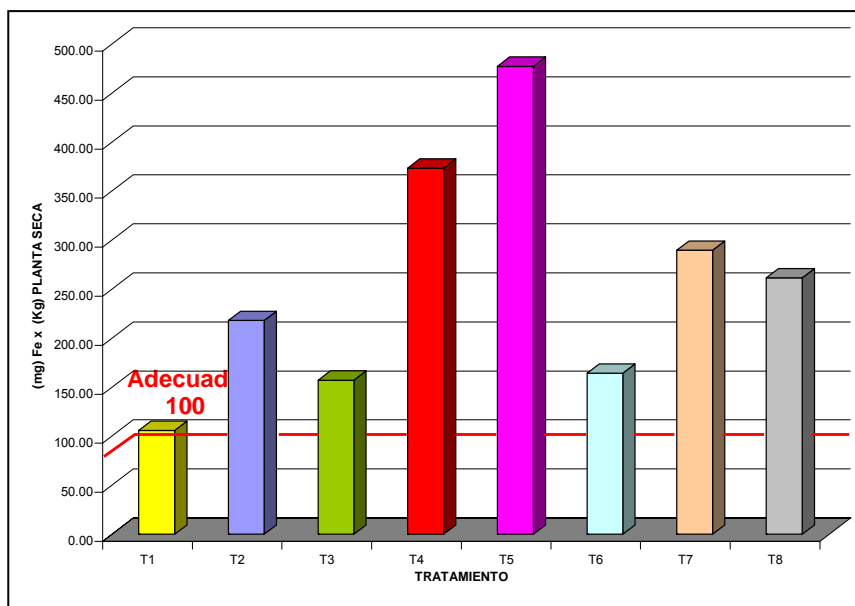
Según Tisdale<sup>114</sup>, el cobre puede existir en la materia orgánica y en los microorganismos del suelo. Lo anterior se comprueba al observar las plantas que se encontraban en los tratamientos T5, T7 y T8, las cuales presentaron altos contenidos de cobre debido a que el suelo contenía altos porcentajes de materia orgánica.

---

<sup>114</sup> TISDALE, Samuel et al. Soil fertility and fertilizers. Canadá : Macmillan, 1993. p. 328 -331.

### 3.6.3. Hierro.

**Figura 30. Resultados de hierro (Fe) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 56. Resultados de hierro (Fe) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Fe x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	105.90
4,5,6	T2	218.07
7,8,9	T3	157.23
10,11,12	T4	373.38
13,14,15	T5	477.33
16,17,18	T6	164.18
19,20,21	T7	289.82
22,23,24	T8	261.65

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 100 mg/kg de hierro es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 30 se observa que todas las plantas sobrepasaron esta concentración, especialmente las que se encontraban en los tratamientos T4 (suelo + mulch + EM) y T5 (suelo + gallinaza + EM).



El análisis estadístico ANOVA para hierro arrojó una significancia de 0.440, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna (Ha) y se acepta la hipótesis nula (Ho). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5, T7 y T8
- Grupo 2: T1, T3, T4, T5, T6 y T8

**Tabla 57. Análisis de varianza para hierro en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

FE\_VIEJA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	318296.2	7	45470.893	1.045	.440
Within Groups	696294.8	16	43518.424		
Total	1014591	23			

**Tabla 58. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para hierro en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

FE\_VIEJA

Duncan<sup>a</sup>

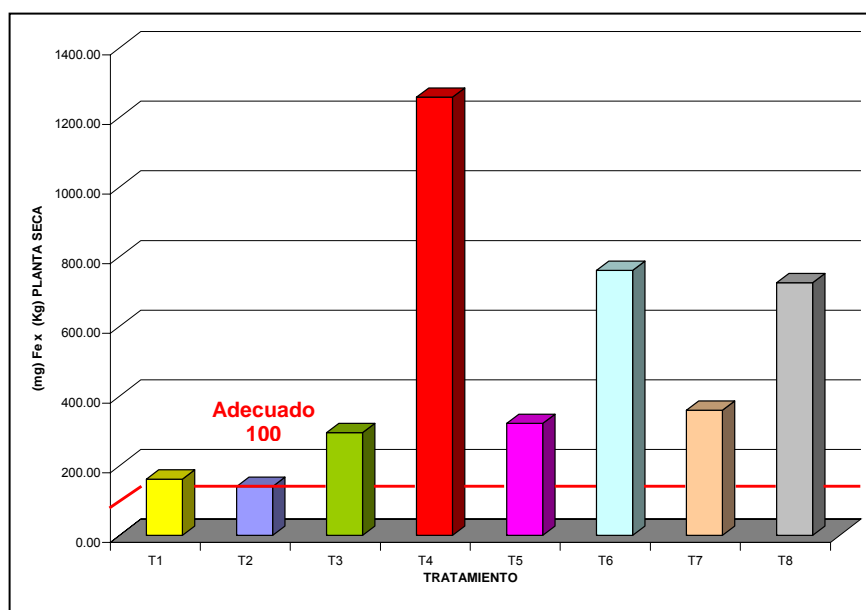
TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
1	3	105.8967
3	3	157.2300
6	3	164.1800
8	3	261.6467
7	3	289.8167
4	3	373.3767
5	3	477.3367
2	3	575.9033
Sig.		.073

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

**Figura 31. Resultados de hierro (Fe) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 59. Resultados de hierro (Fe) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Fe x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	161.69
4,5,6	T2	144.53
7,8,9	T3	294.97
10,11,12	T4	1258.23
13,14,15	T5	321.56
16,17,18	T6	761.04
19,20,21	T7	359.47
22,23,24	T8	725.68

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 100 mg/kg de hierro es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 31 se observa que todas las plantas sobrepasaron esta concentración, especialmente las que se encontraban en el tratamiento T4 (suelo + mulch + EM).

El análisis estadístico ANOVA para hierro arrojó una significancia de 0.373, rechazándose la hipótesis alterna (Ha) y aceptándose la hipótesis nula (Ho). Para verificar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos en un mismo grupo, lo que comprueba que no existen diferencias significativas entre sus medias poblacionales.

**Tabla 60. Análisis de varianza para hierro en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

FE\_NUEVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3181297	7	454471.049	1.168	.373
Within Groups	6223418	16	388963.653		
Total	9404716	23			

**Tabla 61. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para hierro en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

FE\_NUEVA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
2	3	140.7667
1	3	161.6900
3	3	294.9700
5	3	321.5633
7	3	359.4767
6	3	761.0367
8	3	784.7800
4	3	1258.233
Sig.		.071

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

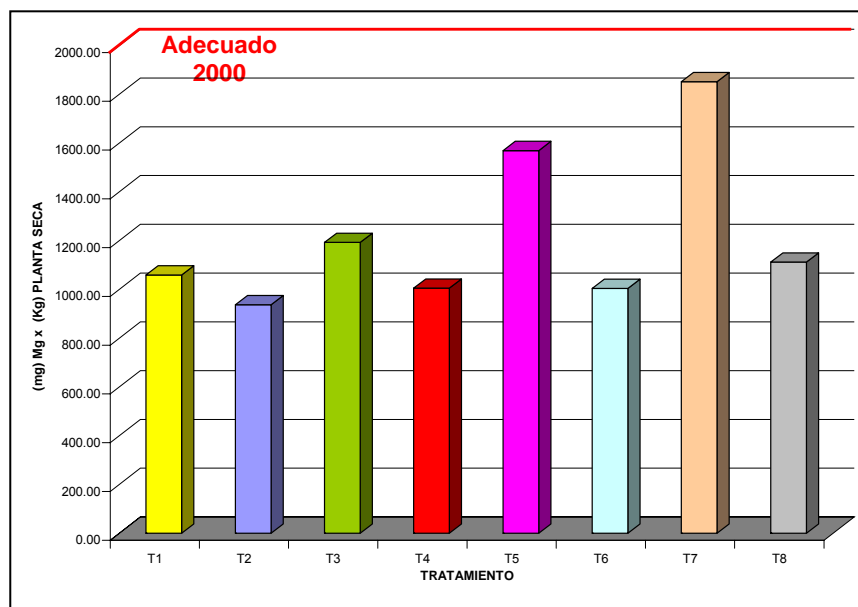
**Fuente:** SPSS 12.

Comparando los resultados de hierro se observa que ninguna de las plantas presenta deficiencias de este elemento. Sin embargo, la mayoría de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos presentan mayores concentraciones de hierro que las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

Según Generalitat Valenciana<sup>115</sup>, el humus producto de la descomposición de la materia orgánica retiene los cationes metálicos divalentes y trivalentes, razón por la cual se presentan altas concentraciones de este microelemento.

#### 3.6.4. Magnesio.

**Figura 32. Resultados de magnesio (Mg) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

<sup>115</sup>

Disponible en: [http://www.fertiberia.com/informacion\\_fertilizacion/articulos/nutrientes\\_fertilizantes/NutSecundarios\\_Micros.html](http://www.fertiberia.com/informacion_fertilizacion/articulos/nutrientes_fertilizantes/NutSecundarios_Micros.html)

**Tabla 62. Resultados de magnesio (Mg) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Mg x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	1058.97
4,5,6	T2	936.93
7,8,9	T3	1192.90
10,11,12	T4	1005.47
13,14,15	T5	1569.15
16,17,18	T6	1003.93
19,20,21	T7	1851.17
22,23,24	T8	1111.65

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 2000 mg/kg de magnesio es una concentración adecuada para las plantas, sin embargo en la figura 32 se observa que ninguna de ellas sobrepasó este nivel.

Para Salisbury<sup>116</sup>, el magnesio se absorbe como ión divalente  $Mg^{2+}$  y en su ausencia causa clorosis a las hojas más antiguas, sin ser esto un limitante en el crecimiento vegetal.

El análisis estadístico ANOVA para magnesio arrojó una significancia de 0.145, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna ( $H_a$ ) y se acepta la hipótesis nula ( $H_o$ ). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T8
- Grupo 2: T1, T3, T4, T5, T6 y T7

**Tabla 63. Análisis de varianza para magnesio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA					
MG_VIEJA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2606511	7	372358.769	1.853	.145
Within Groups	3216020	16	201001.265		
Total	5822532	23			

---

<sup>116</sup> SALISBURY, Op. cit., p.144.

**Tabla 64. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para magnesio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

**MG\_VIEJA**

Duncan<sup>a</sup>

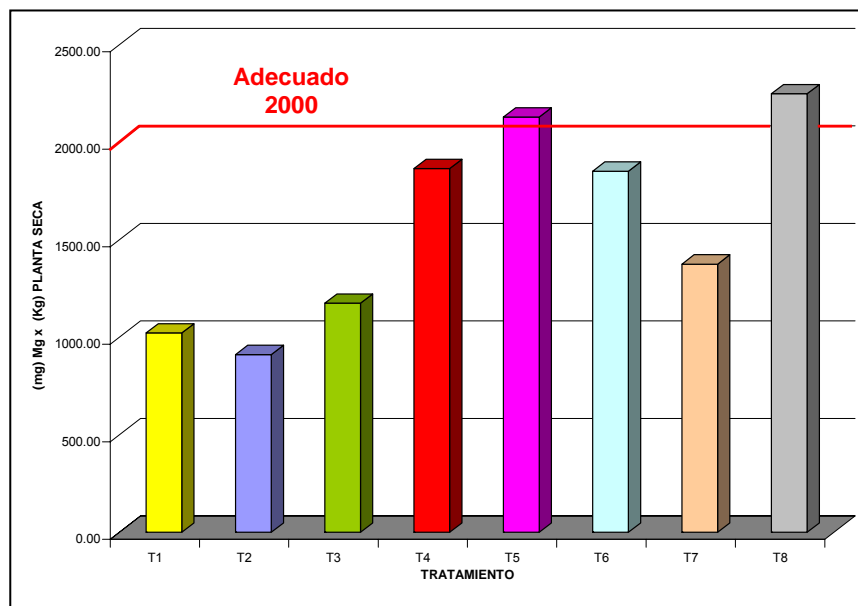
TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
8	3	811.9833	
2	3	936.9333	
4	3	1005.470	1005.470
6	3	1015.257	1015.257
1	3	1058.973	1058.973
3	3	1192.897	1192.897
5	3	1569.153	1569.153
7	3		1851.167
Sig.		.085	.055

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

**Figura 33. Resultados de magnesio (Mg) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 65. Resultados de magnesio (Mg) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Mg x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	1021.68
4,5,6	T2	911.09
7,8,9	T3	1175.00
10,11,12	T4	1864.15
13,14,15	T5	2129.17
16,17,18	T6	1851.32
19,20,21	T7	1375.01
22,23,24	T8	2248.58

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 2000 mg/kg de magnesio es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 15 se observa que las plantas que sobrepasaron esta concentración fueron las que se encontraban en el tratamiento T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para magnesio arrojó una significancia de 0.235, rechazándose la hipótesis alterna (Ha) y aceptándose la hipótesis nula (Ho). Para verificar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos en un mismo grupo, lo que comprueba que no existen diferencias significativas entre sus medias poblacionales.

**Tabla 66. Análisis de varianza para magnesio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA					
MG_NUEVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5372156	7	767450.808	1.506	.235
Within Groups	8152401	16	509525.061		
Total	13524557	23			

**Tabla 67. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para magnesio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

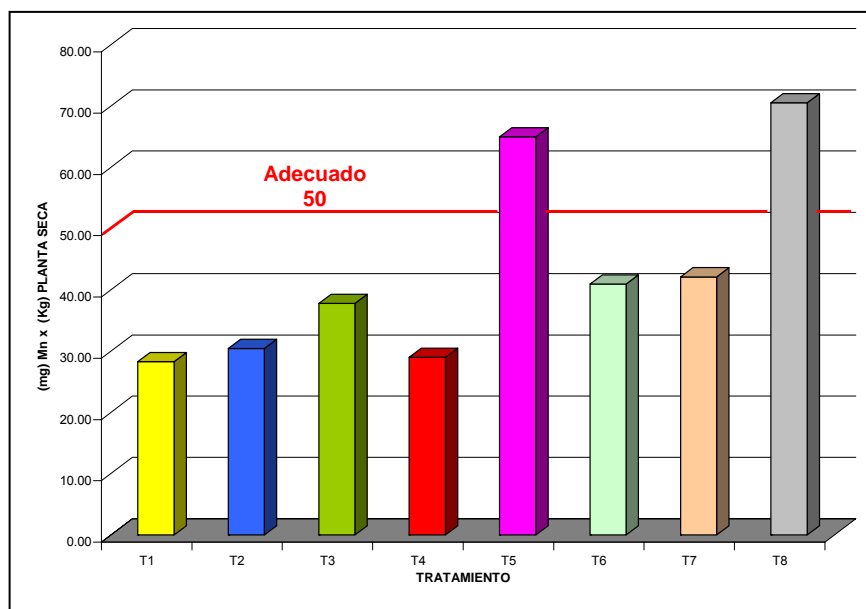
MG_NUEVA			
Duncan <sup>a</sup>			
TTO	N	Subset for alpha = .05	1
2	3	911.0933	
1	3	1021.677	
3	3	1175.003	
7	3	1375.013	
6	3	1851.323	
4	3	1864.147	
5	3	2129.167	
8	3	2189.483	
Sig.		.071	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.  
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

### 3.6.5. Manganese.

**Figura 34. Resultados de manganeso (Mn) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.



**Tabla 68. Resultados de manganeso (Mn) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Mn x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	28.28
4,5,6	T2	30.44
7,8,9	T3	37.79
10,11,12	T4	28.98
13,14,15	T5	64.99
16,17,18	T6	40.95
19,20,21	T7	42.13
22,23,24	T8	70.53

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 50 mg/kg de manganeso es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 34 se observa que las plantas que sobrepasaron esta concentración fueron las que se encontraban en los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para manganeso arrojó una significancia de 0.019, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos en tres grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T6 y T7
- Grupo 2: T3, T5, T6 y T7
- Grupo 3: T5 y T8

**Tabla 69. Análisis de varianza para manganeso en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

MN\_VIEJA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5533.929	7	790.561	3.448	.019
Within Groups	3668.602	16	229.288		
Total	9202.531	23			

**Tabla 70. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para manganeso en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

MN_VIEJA				
Duncan <sup>a</sup>				
TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	3	28.28333		
4	3	28.97667		
2	3	30.44333		
3	3	37.79000	37.79000	
6	3	40.95333	40.95333	
7	3	42.12667	42.12667	
5	3		64.99000	64.99000
8	3			70.53333
Sig.		.331	.059	.660

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

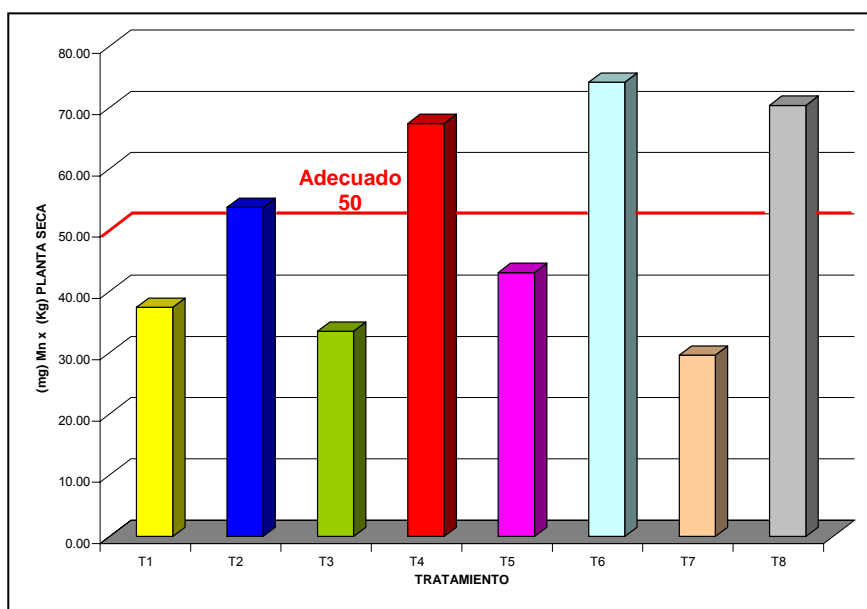
**Fuente:** SPSS 12.

Según Tisdale<sup>117</sup>, la disponibilidad del  $Mn^{2+}$  puede ser influenciado por las reacciones con la materia orgánica porque ésta contribuye con la solubilidad del Mn, mientras que sus deficiencias pueden ser causadas por los microorganismos del suelo como bacterias y hongos que oxidan el  $Mn^{2+}$  a  $Mn^{4+}$ . Razón por la cual, las plantas de los tratamientos T5 y T8 sobrepasan la concentración adecuada de este elemento debido a que el suelo presentaba altos porcentajes de materia orgánica.

---

<sup>117</sup> TISDALE, Op. cit., p. 335 -336.

**Figura 35. Resultados de manganeso (Mn) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 71. Resultados de manganeso (Mn) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Mn x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	37.41
4,5,6	T2	53.71
7,8,9	T3	33.49
10,11,12	T4	67.40
13,14,15	T5	43.08
16,17,18	T6	74.16
19,20,21	T7	29.58
22,23,24	T8	70.36

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 50 mg/kg de manganeso es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 35 se observa que las plantas que sobrepasaron esta concentración fueron las que se encontraban en los tratamientos T2 (suelo + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T6 (suelo + fertilización química + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para manganeso arrojó una significancia de 0.328, rechazándose la hipótesis alterna (Ha) y aceptándose la hipótesis nula (Ho). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos en un mismo grupo, lo que comprueba que no existen diferencias significativas entre sus medias poblacionales.

**Tabla 72. Análisis de varianza para manganeso en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

MN\_NUEVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7157.700	7	1022.529	1.263	.328
Within Groups	12958.689	16	809.918		
Total	20116.389	23			

**Tabla 73. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para manganeso en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

MN\_NUEVA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
7	3	29.58000
3	3	33.49000
1	3	37.40667
5	3	43.08333
2	3	53.71333
4	3	67.40000
6	3	74.15667
8	3	74.75667
Sig.		.106

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

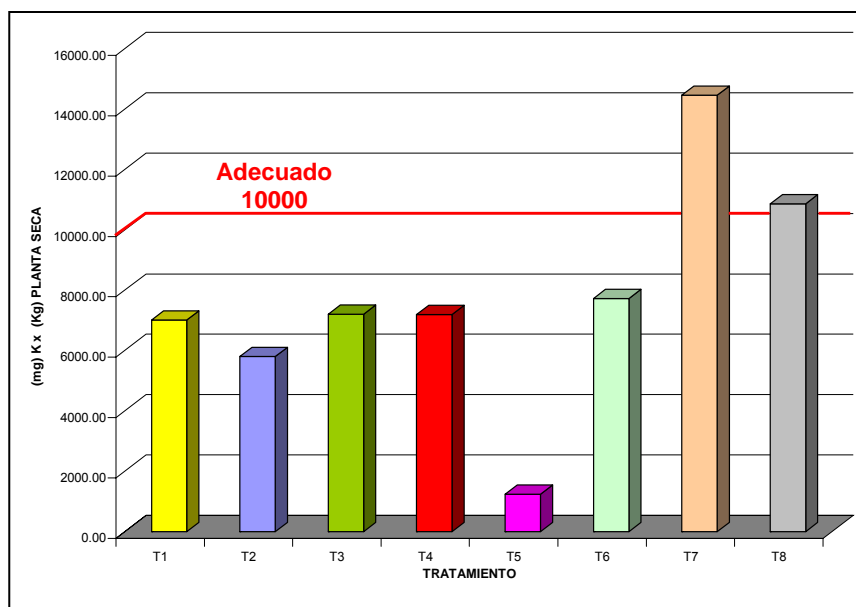
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

Las plantas que se encontraban en el tratamiento T6 presentaron las mayores concentraciones de manganeso en su tejido vegetal debido a la presencia de este elemento en los componentes de la fertilización química. Igualmente se observa la influencia del fertilizante químico en el tratamiento T8.

### 3.6.6. Potasio.

**Figura 36. Resultados de potasio (K) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 74. Resultados de potasio (K) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) K x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	7004.54
4,5,6	T2	5800.65
7,8,9	T3	7196.35
10,11,12	T4	7183.26
13,14,15	T5	1237.79
16,17,18	T6	7714.91
19,20,21	T7	14450.00
22,23,24	T8	10855.04

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 10000 mg/kg de potasio es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 36 se observa que las plantas que sobrepasaron esta concentración fueron las que se encontraban en los tratamientos T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para potasio arrojó una significancia de 0.013, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos tres grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5 y T6
- Grupo 2: T1, T2, T3, T4, T6 y T8
- Grupo 3: T7 y T8

**Tabla 75. Análisis de varianza para potasio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

K\_VIEJA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.06E+08	7	43665377.97	3.768	.013
Within Groups	1.85E+08	16	11587544.86		
Total	4.91E+08	23			

**Tabla 76. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para potasio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

K\_VIEJA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
5	3	1237.793		
2	3	5800.653	5800.653	
1	3	7004.540	7004.540	
4	3	7183.260	7183.260	
3	3	7196.350	7196.350	
6	3	7714.913	7714.913	
8	3		10855.04	10855.04
7	3			14450.00
Sig.		.053	.123	.214

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

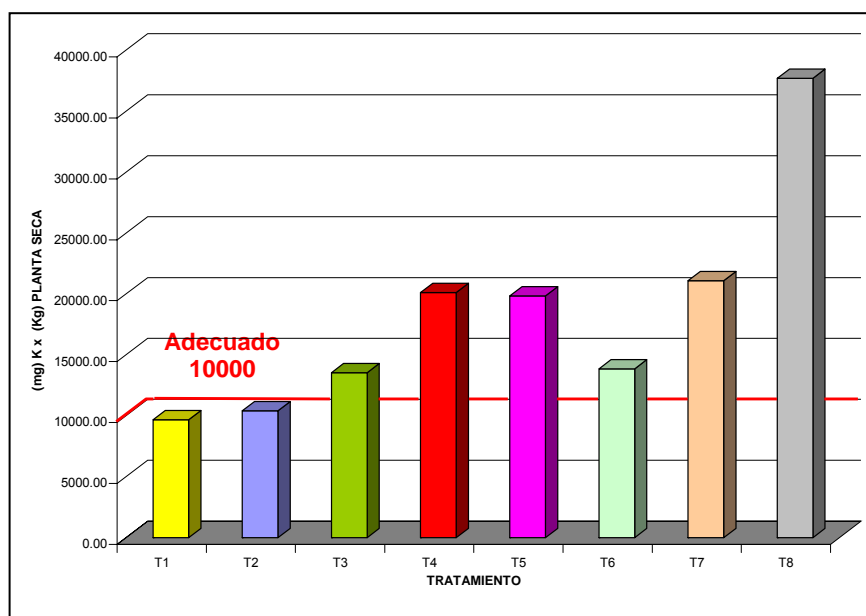
Según Salisbury<sup>118</sup>, el ión  $K^+$  se redistribuye con facilidad de los órganos maduros a los juveniles y su deficiencia es común en los suelos. Las plantas que se encontraban en los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM), T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM) y T6 (suelo + fertilización química + EM) presentaron

<sup>118</sup> SALISBURY, Op. cit., p. 143.

bajas concentraciones de este elemento a pesar que los abonos orgánicos contenían cantidades considerables de potasio en su composición.

Para Fuentes: "...en ocasiones se producen interacciones entre dos iones que dificultan o facilitan la absorción de uno de ellos. Se produce antagonismo cuando uno de los iones tiende a inhibir la absorción del otro, especialmente cuando aumenta la concentración de uno de ellos..."<sup>119</sup>. En la figura 32 (magnesio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos) vs figura 36 (potasio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos) se observa el antagonismo del potasio sobre el magnesio, ya que los niveles elevados de potasio ocasionaron deficiencias en la asimilación del magnesio.

**Figura 37. Resultados de potasio (K) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

<sup>119</sup> FUENTES YAGÜE, J. Luis. El suelo y los fertilizantes. 3 ed. Mundiprensa, 1990. p. 116. s.l.

**Tabla 77. Resultados de potasio (K) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) K x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	9663.73
4,5,6	T2	10404.81
7,8,9	T3	13529.98
10,11,12	T4	20105.16
13,14,15	T5	19827.85
16,17,18	T6	13819.56
19,20,21	T7	21060.75
22,23,24	T8	37680.10

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según el Anexo H, 10000 mg/kg de potasio es una concentración adecuada para las plantas. En la figura 37 se observa que todas las plantas sobrepasaron esta concentración, excepto las que se encontraban en el tratamiento T1 (testigo).

El análisis estadístico ANOVA para potasio arrojó una significancia de 0.291, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna (Ha) y se acepta la hipótesis nula (Ho) a pesar que las plantas del tratamiento T8 muestren una tendencia diferente a las demás. Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7
- Grupo 2: T3, T4, T5, T6, T7 y T8

**Tabla 78. Análisis de varianza para potasio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA					
K_NUEVA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.45E+09	7	207297588.9	1.351	.291
Within Groups	2.45E+09	16	153413748.4		
Total	3.91E+09	23			



**Tabla 79. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para potasio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

K\_NUEVA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	3	9663.727	
2	3	10404.82	
3	3	13529.98	13529.98
6	3	13819.56	13819.56
5	3	19827.85	19827.85
4	3	20105.16	20105.16
7	3	21060.75	21060.75
8	3		35375.89
Sig.		.331	.071

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

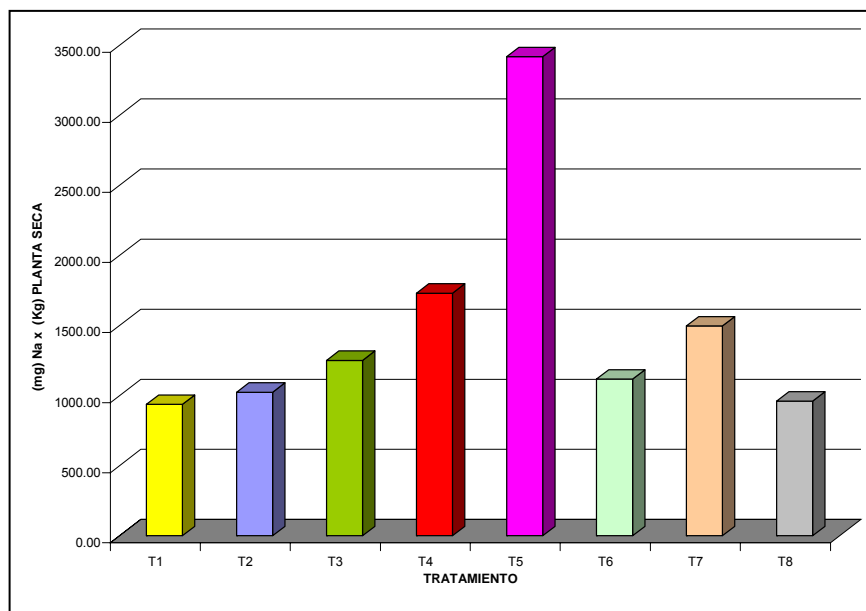
Debido a que los suelos de la zona de estudio son de tipo alfisol, es decir, con altos contenidos de arcilla, se ratifica lo expuesto por Hanke,<sup>120</sup> quien afirma que la mayor concentración de potasio se da en las arcillas, razón por la cual las plantas presentan altas concentraciones de potasio

---

<sup>120</sup> HANKE, Op. cit., p. 195.

### 3.6.7. Sodio.

**Figura 38. Resultados de sodio (Na) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 80. Resultados de sodio (Na) en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Na x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	937.39
4,5,6	T2	1024.70
7,8,9	T3	1251.58
10,11,12	T4	1731.24
13,14,15	T5	3418.32
16,17,18	T6	1119.08
19,20,21	T7	1496.92
22,23,24	T8	960.90

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según Chapman<sup>121</sup>, el nivel adecuado para sodio en análisis foliares es de 0.16% (1600 mg/Kg). En la figura 38, se observa que las plantas que sobrepasaron este nivel fueron las que se encontraban en los tratamientos T4 (suelo + mulch + EM) y T5 (suelo + gallinaza + EM)

El análisis estadístico ANOVA para sodio arrojó una significancia de 0.110, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna (Ha) y se acepta la hipótesis nula (Ho), a pesar que las plantas del tratamiento T5 muestren una tendencia diferente a la de los demás. Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T6, T7 y T8
- Grupo 2: T4 y T5

**Tabla 81. Análisis de varianza para sodio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

NA_VIEJA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14318568	7	2045509.738	2.058	.110
Within Groups	15901085	16	993817.828		
Total	30219653	23			

**Tabla 82. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para sodio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

NA\_VIEJA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
1	3	937.3900	
8	3	960.9000	
2	3	1024.700	
6	3	1119.077	
3	3	1251.583	
7	3	1496.917	
4	3	1731.243	1731.243
5	3		3418.317
Sig.		.398	.055

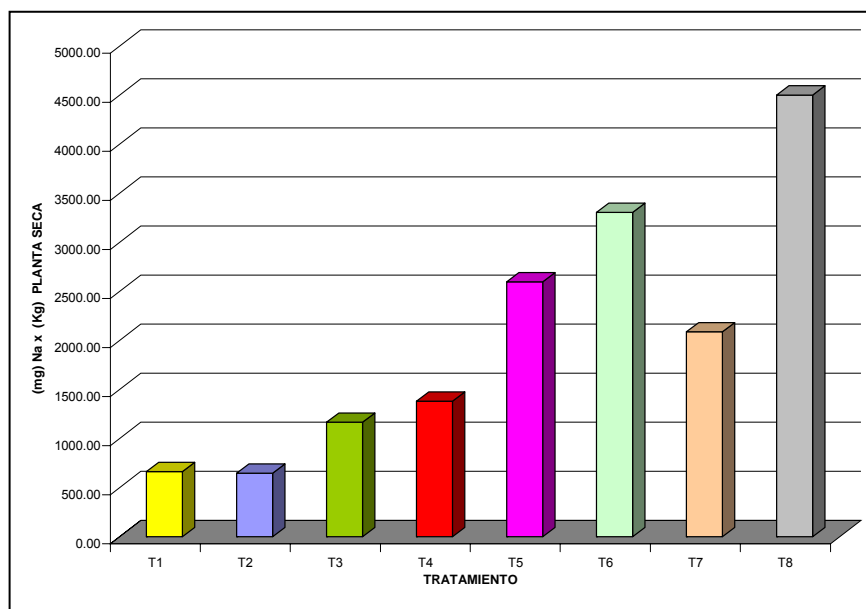
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

<sup>121</sup> CHAPMAN H. Diagnostic criteria for plant and soils. California : Universidad de California, 1980. p. 59.

**Figura 39. Resultados de sodio (Na) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 83. Resultados de sodio (Na) en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Muestra	Tratamiento	(mg) Na x (Kg) planta seca
1,2,3	T1	664.15
4,5,6	T2	647.31
7,8,9	T3	1167.65
10,11,12	T4	1381.69
13,14,15	T5	2596.45
16,17,18	T6	3304.17
19,20,21	T7	2088.88
22,23,24	T8	4500.65

**Fuente:** las autoras. 2006.

Según Chapman<sup>122</sup> el nivel adecuado para sodio en análisis foliares es de 0.16% (1600 mg/Kg). En la figura 39, se observa que las plantas que sobrepasaron este nivel fueron las que se encontraban en los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM), T6 (suelo + fertilización química + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM)

<sup>122</sup> Ibid., p. 59.

Así mismo, se observa que las plantas que se encontraban en el tratamiento T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) contenían mayor cantidad de sodio que las de los demás tratamientos.

El análisis estadístico ANOVA para sodio arrojó una significancia de 0.069, rechazándose la hipótesis alterna (Ha) y aceptándose la hipótesis nula (Ho). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7
- Grupo 2: T5, T6, T7 y T8

**Tabla 84. Análisis de varianza para sodio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

NA\_NUEVA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	43019629	7	6145661.334	2.403	.069
Within Groups	40917314	16	2557332.149		
Total	83936944	23			

**Tabla 85. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para sodio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

NA\_NUEVA

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	647.3033	
1	3	664.1533	
3	3	1167.647	
4	3	1381.690	
7	3	2088.877	2088.877
5	3	2596.450	2596.450
6	3	3304.170	3304.170
8	3		4762.780
Sig.		.090	.076

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

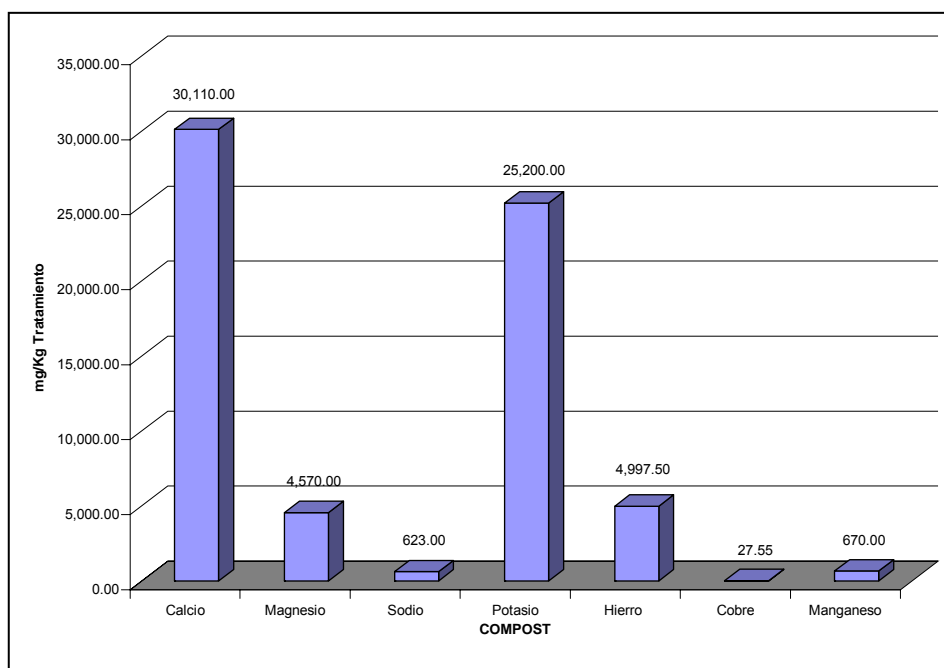
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

### 3.7. ANÁLISIS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

#### 3.7.1. Compost.

Figura 40. Composición del compost.



Fuente: las autoras. 2006.

Tabla 86. Composición del compost.

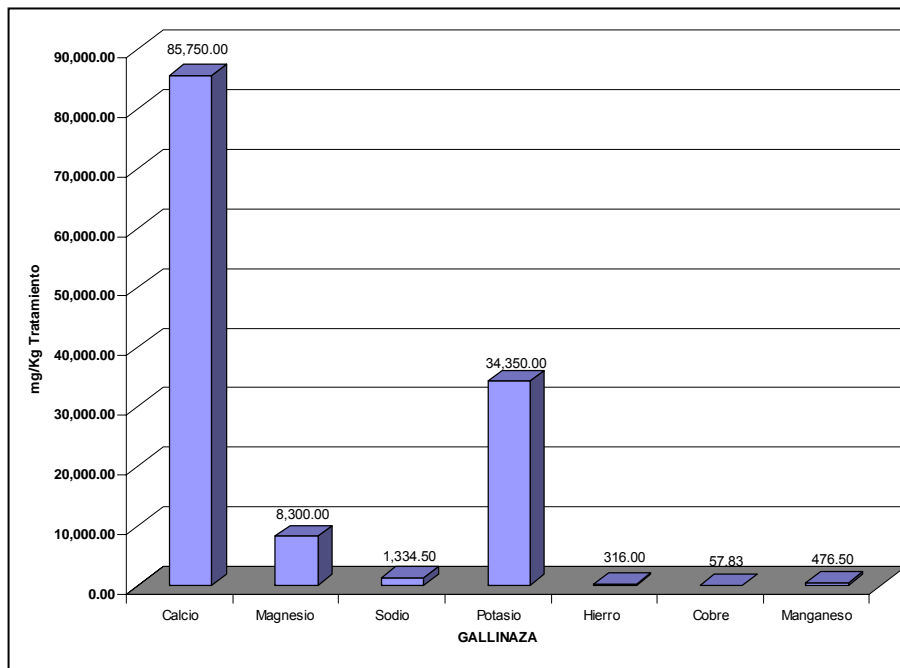
Elemento	mg/Kg
Calcio	30,110.00
Magnesio	4,570.00
Sodio	623.00
Potasio	25,200.00
Hierro	4,997.50
Cobre	27.55
Manganeso	670.00

Fuente: las autoras. 2006.

En la figura 40 se observa que el compost presentó altos niveles de calcio y potasio, seguidos de hierro y magnesio.

### 3.7.2. Gallinaza.

Figura 41. Composición de la gallinaza.



Fuente: las autoras. 2006.

Tabla 87. Composición de la gallinaza.

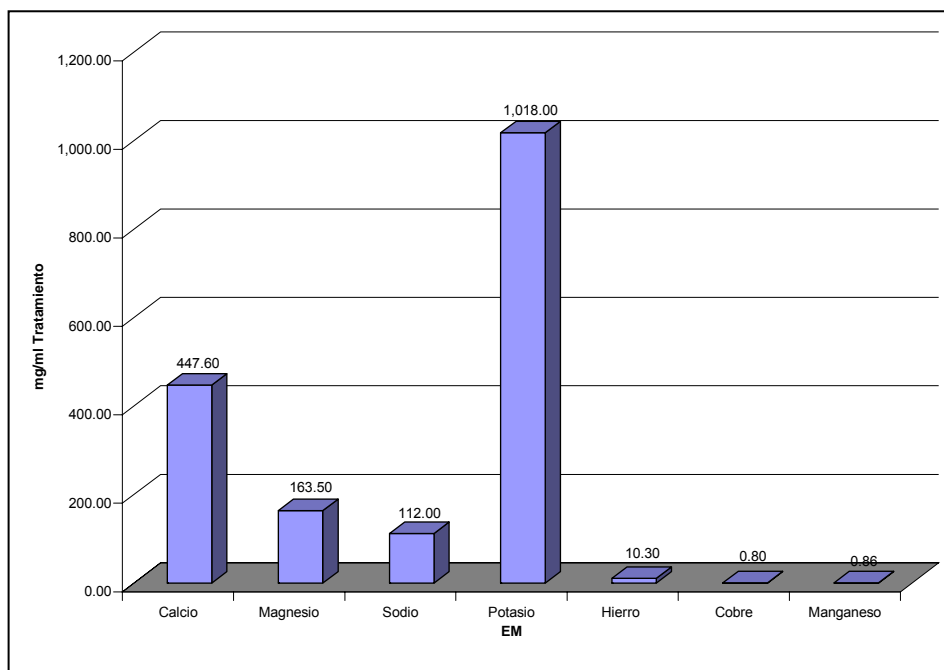
Elemento	mg/Kg
Calcio	85,750.00
Magnesio	8,300.00
Sodio	1,334.50
Potasio	34,350.00
Hierro	316.00
Cobre	57.83
Manganeso	476.50

Fuente: las autoras. 2006.

En la figura 41 se observa que la gallinaza presentó altos niveles de calcio, seguidos de potasio y magnesio.

### 3.7.3. Microorganismos eficientes (EM)

**Figura 42. Composición del bioestimulante EM (microorganismos eficientes).**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 88. Composición del bioestimulante EM (microorganismos eficientes).**

Elemento	mg/Kg
Calcio	447.60
Magnesio	163.50
Sodio	112.00
Potasio	1,018.00
Hierro	10.30
Cobre	0.80
Manganeso	0.86

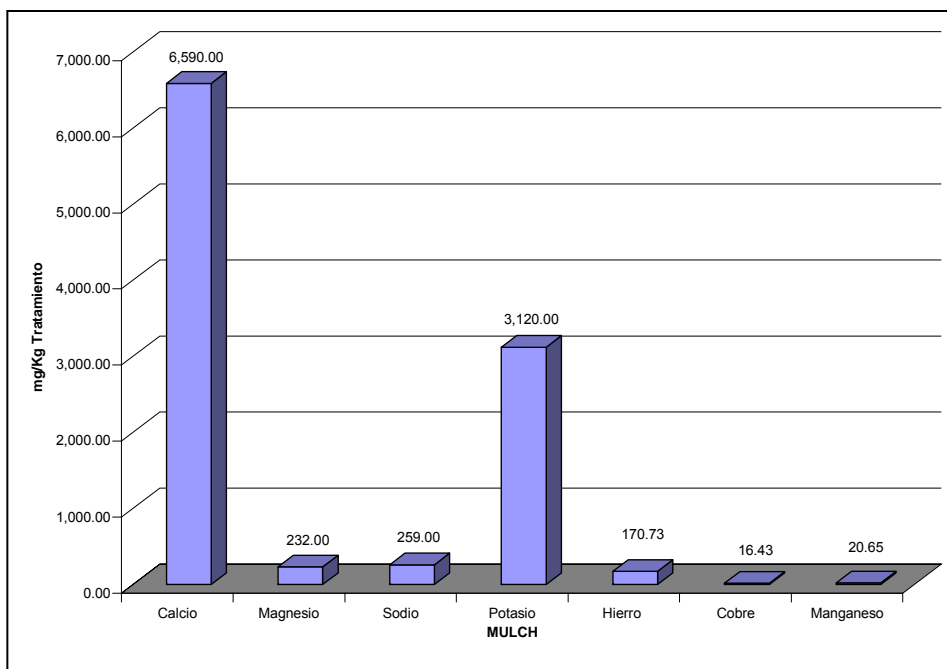
**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 42 se observa que el bioestimulante EM presentó altos niveles de potasio, seguidos de calcio, magnesio y sodio.



### 3.7.4. Mulch.

**Figura 43. Composición del mulch.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 89. Composición del mulch.**

Elemento	mg/Kg
Calcio	6,590.00
Magnesio	232.00
Sodio	259.00
Potasio	3,120.00
Hierro	170.73
Cobre	16.43
Manganeso	20.65

**Fuente:** las autoras. 2006.

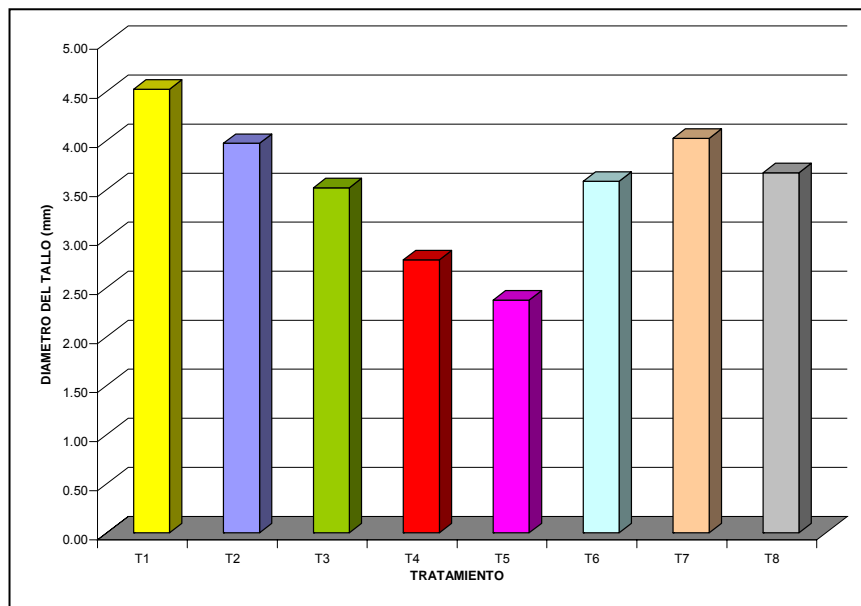
En la figura 43 se observa que el mulch presentó altos niveles de calcio y potasio, seguidos de sodio, magnesio y hierro.

Al comparar los resultados obtenidos entre los abonos orgánicos, se observa que el calcio y el potasio son los elementos más predominantes en su composición de los abonos orgánicos, seguidos de magnesio, sodio y hierro.

### 3.8. ANÁLISIS MORFOLOGICO

#### 3.8.1. Diámetro.

**Figura 44. Diámetro del tallo de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 90. Diámetro del tallo de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Tratamiento	Diámetro del tallo (mm)
T1	4.52
T2	3.97
T3	3.52
T4	2.78
T5	2.37
T6	3.58
T7	4.02
T8	3.67

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 44 se observa que los tallos de las plantas con mayor diámetro eran los que se encontraban en el tratamiento T1 (testigo), mientras que los de menor diámetro se encontraban en el tratamiento T5 (suelo + gallinaza + EM).

Según Sáenz<sup>123</sup>, cuando se presentan deficiencias de calcio, el desarrollo de los tallos puede verse afectado. Por lo tanto, las altas cantidades de este elemento presentes en los abonos se relacionan con el crecimiento del tejido vegetal, razón por la cual se evidenció crecimiento en el tallo de las plantas.

El análisis estadístico ANOVA para diámetro arrojó una significancia de 0.056, rechazándose la hipótesis nula (Ho) y aceptándose la hipótesis alterna (Ha). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T3, T4, T5, T6 y T8
- Grupo 2: T2, T3, T4, T6, T7 y T8
- Grupo 3: T1, T2, T3, T6, T7 y T8

---

<sup>123</sup> SAENZ CALDERÓN Felipe. Concepción moderna de la nutrición vegetal. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá : Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p. 322.

**Tabla 91. Análisis de varianza para diámetro del tallo de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

**ANOVA**

DIAM\_VIE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	10.030	7	1.433	2.564	.056
Within Groups	8.942	16	.559		
Total	18.971	23			

**Tabla 92. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para diámetro del tallo de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

**DIAM\_VIE**

Duncan<sup>a</sup>

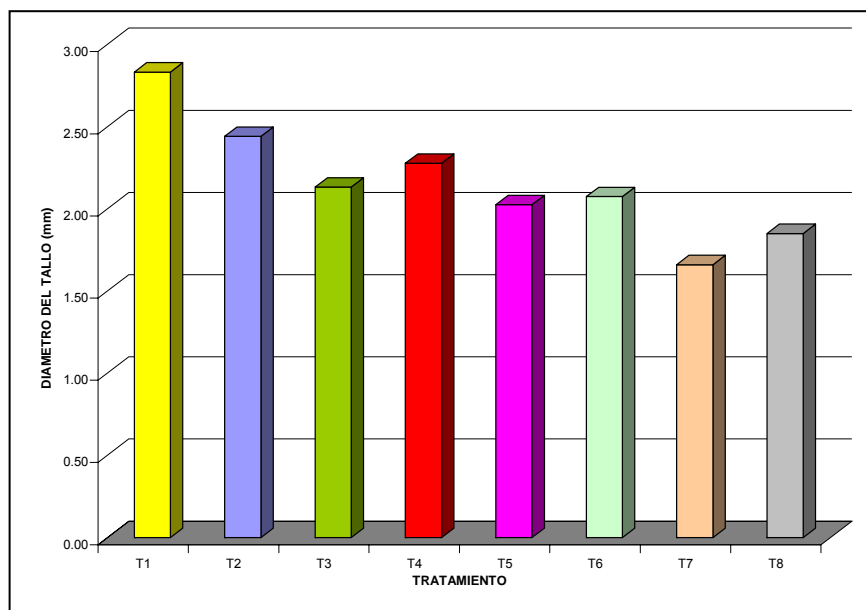
TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
5	3	2.37333		
4	3	2.78333	2.78333	
3	3	3.51667	3.51667	3.51667
6	3	3.58667	3.58667	3.58667
8	3	3.67000	3.67000	3.67000
2	3		3.97000	3.97000
7	3		4.02333	4.02333
1	3			4.52667
Sig.		.072	.088	.158

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

**Figura 45. Diámetro de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 93. Diámetro de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Tratamiento	Diametro del tallo (mm)
T1	2.83
T2	2.44
T3	2.13
T4	2.28
T5	2.03
T6	2.07
T7	1.66
T8	1.85

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 45 se observa que los tallos de las plantas con mayor diámetro eran los que se encontraban en el tratamiento T1 (testigo), mientras que los de menor diámetro se encontraban en el tratamiento T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM).

Según Fertiberia<sup>124</sup>, las carencias de hierro afectan los tallos de las plantas haciendo que éstos no engrosen, se empiecen a curvar y por consiguiente se limite su crecimiento.

El análisis estadístico ANOVA para diámetro arrojó una significancia de 0.041, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T3, T4, T5, T6, T7 y T8
- Grupo 2: T2, T3, T4, T5, T6 y T8
- Grupo 3: T1, T2, T4

**Tabla 94. Análisis de varianza para diámetro del tallo de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

DIAM_NUE					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2.774	7	.396	2.806	.041
Within Groups	2.260	16	.141		
Total	5.034	23			

**Tabla 95. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para diámetro del tallo de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

DIAM\_NUE

Duncan <sup>a</sup>				
TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
7	3	1.66000		
8	3	1.85000	1.85000	
5	3	2.02333	2.02333	
6	3	2.07333	2.07333	
3	3	2.13333	2.13333	
4	3	2.27667	2.27667	2.27667
2	3		2.44333	2.44333
1	3			2.83667
Sig.		.091	.103	.102

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

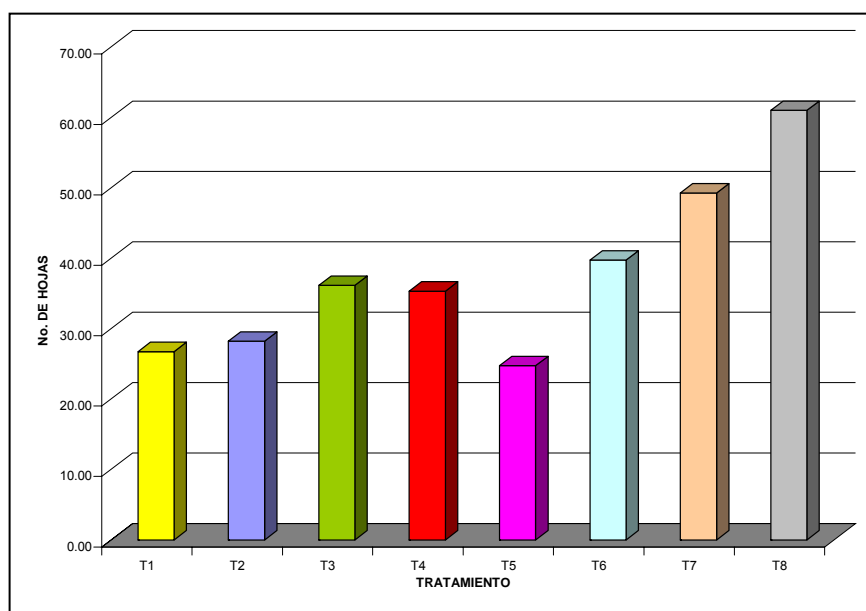
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

<sup>124</sup> Disponible en Internet: <[www.fertiberia.com/servicios\\_on\\_line/cursos/micronutrientes/indexmicro.html](http://www.fertiberia.com/servicios_on_line/cursos/micronutrientes/indexmicro.html)>

### 3.8.2. Hojas.

**Figura 46.** Hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 96.** Hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

Tratamiento	No. De hojas
T1	26.73
T2	28.20
T3	36.13
T4	35.33
T5	24.73
T6	39.73
T7	49.27
T8	61.00

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 46 se observa que las plantas con mayor número de hojas eran las que se encontraban en el tratamiento T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM), mientras que las de menor número de ramas se encontraban en el tratamiento T5 (suelo + gallinaza + EM).

El análisis estadístico ANOVA para hojas arrojó una significancia de 0.167, rechazándose la hipótesis alterna (Ha) y aceptándose la hipótesis nula (Ho). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7
- Grupo 2: T3, T4, T6, T7 y T8

**Tabla 97. Análisis de varianza para hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

HOJA_VIE					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3202.478	7	457.497	1.752	.167
Within Groups	4177.600	16	261.100		
Total	7380.078	23			

**Tabla 98. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

HOJA\_VIE

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5	3	24.73333	
1	3	26.73333	
2	3	28.20000	
4	3	35.33333	35.33333
3	3	36.13333	36.13333
6	3	39.73333	39.73333
7	3	49.26667	49.26667
8	3		61.00000
Sig.		.119	.097

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

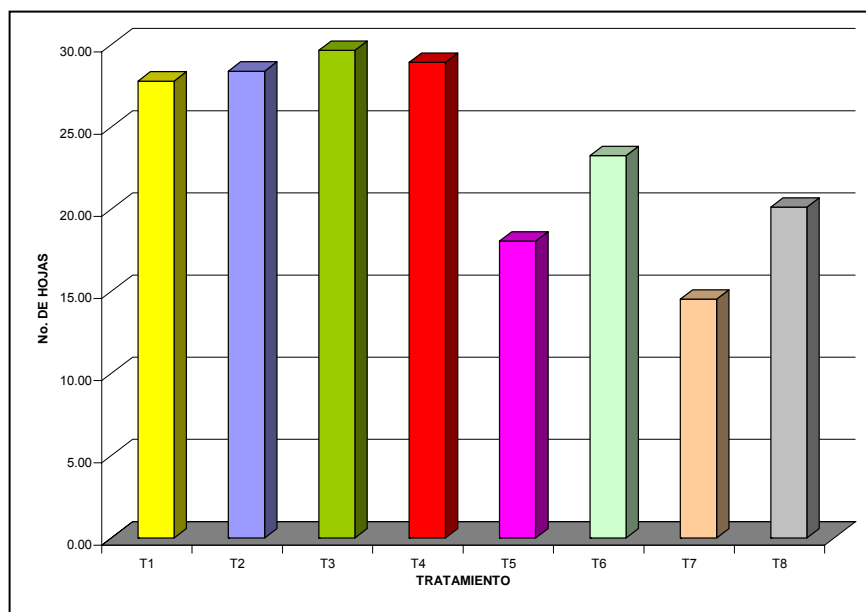
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.



Cuando hay excesos de micronutrientes en el suelo, las plantas no los pueden asimilar y éstas se comienzan a marchitar. Lo anterior pudo haber ocurrido debido a que se presentaron altas cantidades de unos elementos y bajas cantidades en otros, como ocurrió por ejemplo con el hierro y el calcio, haciendo que uno limite al otro y de esta manera se provocara deficiencias en uno de los dos elementos. Las deficiencias de hierro pueden producir una caída rápida de las hojas y en casos muy graves se puede producir la defoliación total.

**Figura 47. Hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 99. Hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Tratamiento	No. De hojas
T1	27.80
T2	28.40
T3	29.67
T4	28.93
T5	18.07
T6	23.27
T7	14.53
T8	20.13

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 47 se observa que las plantas con mayor número de hojas eran las que se encontraban en el tratamiento T3 (suelo + compost + EM), mientras que las de menor número de ramas se encontraban en el tratamiento T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM).

El análisis estadístico ANOVA para diámetro arrojó una significancia de 0.578, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna (Ha) y se acepta la hipótesis nula (Ho). Para verificar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos en un mismo grupo, lo que corrobora que no existen diferencias significativas entre sus medias poblacionales.

**Tabla 100. Análisis de varianza para hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

HOJA\_NUE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	691.140	7	98.734	1.340	.295
Within Groups	1179.200	16	73.700		
Total	1870.340	23			

**Tabla 101. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

HOJA\_NUE

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
7	3	14.53333
5	3	18.06667
8	3	20.13333
6	3	23.26667
1	3	27.80000
2	3	28.40000
4	3	28.93333
3	3	29.66667
Sig.		.075

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

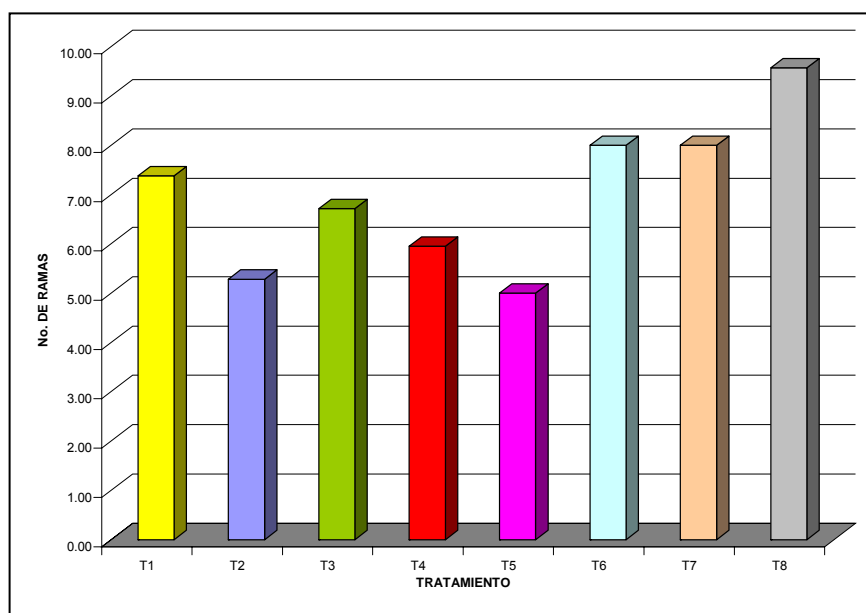
**Fuente:** SPSS 12.

En la figura 47 se observa que las plantas que presentan menor cantidad de hojas eran las que se encontraban en los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM) y T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM). esto pudo haber ocurrido debido a que estos tratamientos presentaban bajos niveles de manganeso. Según la literatura, las

deficiencias de manganeso hacen que las hojas pierdan el contenido de clorofila, ya que éstas lo absorben por la raíz y las hojas; ocasionando que las hojas se caigan y no realicen sus funciones normales.

### 3.8.3. Ramas.

**Figura 48. Ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 102. Ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Tratamiento	No. De ramas
T1	7.38
T2	5.29
T3	6.71
T4	5.95
T5	5.00
T6	8.00
T7	8.00
T8	9.57

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 48 se observa que las plantas con mayor número de ramas eran las que se encontraban en el tratamiento T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM), mientras que las de menor número de ramas se encontraban en el tratamiento T5 (suelo + gallinaza + EM).

El análisis estadístico ANOVA para diámetro arrojó una significancia de 0.578, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna (Ha) y se acepta la hipótesis nula (Ho). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos en un mismo grupo, lo que confirma que no existen diferencias significativas entre sus medias poblacionales.

**Tabla 103. Análisis de varianza para ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

RAMA\_VIE

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	50.613	7	7.230	.829	.578
Within Groups	139.490	16	8.718		
Total	190.103	23			

**Tabla 104. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

RAMA\_VIE

Duncan<sup>a</sup>

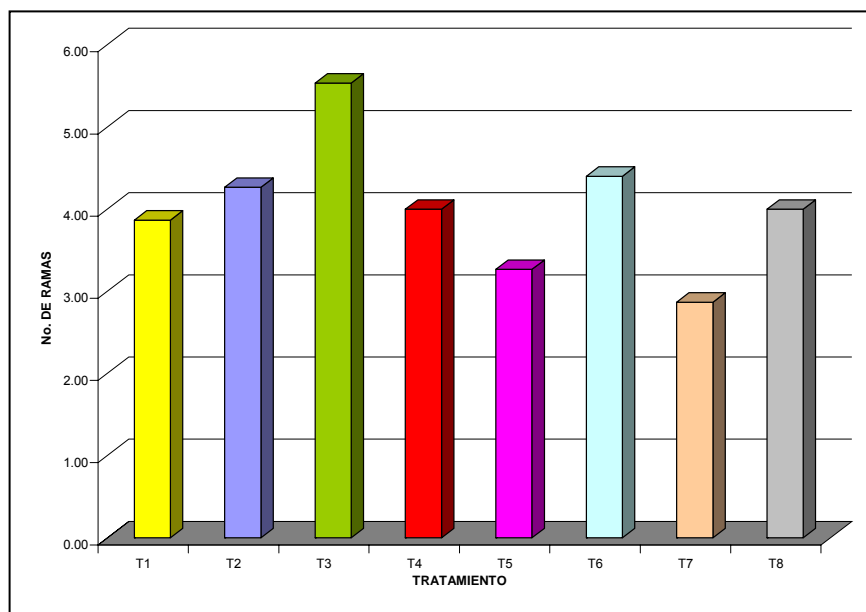
TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
5	3	5.00000
2	3	5.28333
4	3	5.95333
3	3	6.71667
1	3	7.38000
6	3	8.00000
7	3	8.00000
8	3	9.57000
Sig.		.114

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

**Figura 49. Ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 105. Ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Tratamiento	No. De ramas
T1	3.87
T2	4.27
T3	5.53
T4	4.00
T5	3.27
T6	4.40
T7	2.87
T8	4.00

**Fuente:** las autoras- 2006.

En la figura 49 se observa que las plantas con mayor número de ramas eran las que se encontraban en el tratamiento T3 (suelo + compost + EM), mientras que las de menor número de ramas se encontraban en el tratamiento T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).

El análisis estadístico ANOVA para diámetro arrojó una significancia de 0.569, rechazándose la hipótesis alterna (Ha) y aceptándose la hipótesis nula (Ho). Lo anterior se verificó mediante la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos en un mismo grupo, lo que corrobora que no existen diferencias significativas entre sus medias poblacionales.

**Tabla 106. Análisis de varianza para ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA					
RAMA_NUE					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.252	7	1.893	.842	.569
Within Groups	35.973	16	2.248		
Total	49.225	23			

**Tabla 107. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

RAMA_NUE		
Duncan <sup>a</sup>		
TTO	N	Subset for alpha = .05
7	3	2.86667
5	3	3.26667
1	3	3.86667
4	3	4.00000
8	3	4.00000
2	3	4.26667
6	3	4.40000
3	3	5.53333
Sig.		.073

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

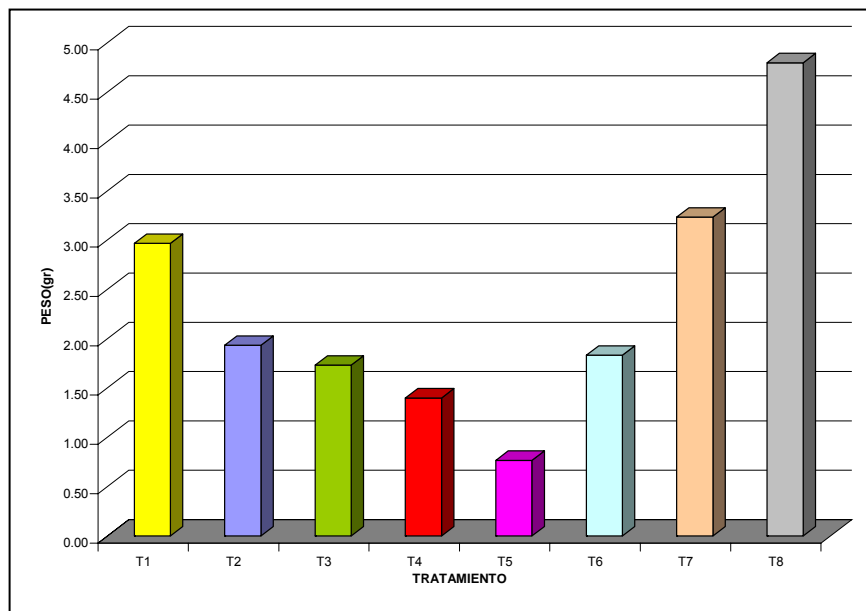
**Fuente:** SPSS 12.

En la figura 49 se observa que las plantas del tratamiento T7 son las que tienen menor cantidad de ramas. Esto pudo haber ocurrido debido a la baja cantidad de calcio presentada en este tratamiento, haciendo que la calidad nutricional de las plantas no fueran las óptimas, y de esta manera su crecimiento no fuera normal.

### 3.9. PESO HÚMEDO

#### 3.9.1. Peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

**Figura 50. Peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 108. Peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Tratamiento	Peso (gr)
T1	2.97
T2	1.93
T3	1.73
T4	1.40
T5	0.77
T6	1.83
T7	3.23
T8	4.80

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 50 se observa que las plantas que se encontraban en los tratamientos T1 (testigo), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza fertilización química + EM) fueron las que presentaron mayor peso húmedo.

El análisis estadístico ANOVA para peso húmedo arrojó una significancia de 0.015, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T4, T5 y T6
- Grupo 2: T1, T2, T3, T4, T6 y T7
- Grupo 3: T1, T7 y T8

**Tabla 109. Análisis de varianza para peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

PESOH\_V

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	34.173	7	4.882	3.684	.015
Within Groups	21.200	16	1.325		
Total	55.373	23			

**Tabla 110. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

PESOH\_V

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
5	3	.76667		
4	3	1.40000	1.40000	
3	3	1.73333	1.73333	
6	3	1.83333	1.83333	
2	3	1.93333	1.93333	
1	3	2.96667	2.96667	2.96667
7	3		3.23333	3.23333
8	3			4.80000
Sig.		.052	.100	.082

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

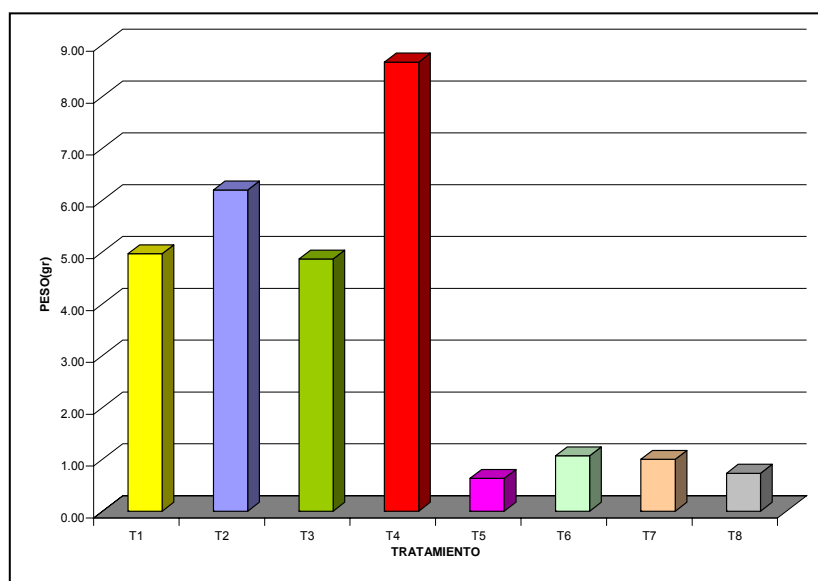
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.



### 3.9.2. Peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

**Figura 51. Peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 111. Peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

Tratamiento	Peso (gr)
T1	4.97
T2	6.20
T3	4.87
T4	8.67
T5	0.63
T6	1.07
T7	1.00
T8	0.73

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 51 se observa que las plantas que se encontraban en los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM) y T4 (suelo + mulch + EM) fueron las que presentaron mayor peso húmedo.

El análisis estadístico ANOVA para peso húmedo arrojó una significancia de 0.158, por lo tanto se rechaza la hipótesis alterna (Ha) y se acepta la hipótesis nula (Ho). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T5, T6, T7 y T8
- Grupo 2: T1, T2, T3, T4, T6 y T7

**Tabla 112. Análisis de varianza para peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

PESOH_N					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	198.133	7	28.305	1.790	.158
Within Groups	253.000	16	15.812		
Total	451.133	23			

**Tabla 113. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

PESOH\_N

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5	3	.63333	
8	3	.73333	
7	3	1.00000	1.00000
6	3	1.06667	1.06667
3	3	4.86667	4.86667
1	3	4.96667	4.96667
2	3	6.20000	6.20000
4	3		8.66667
Sig.		.148	.050

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

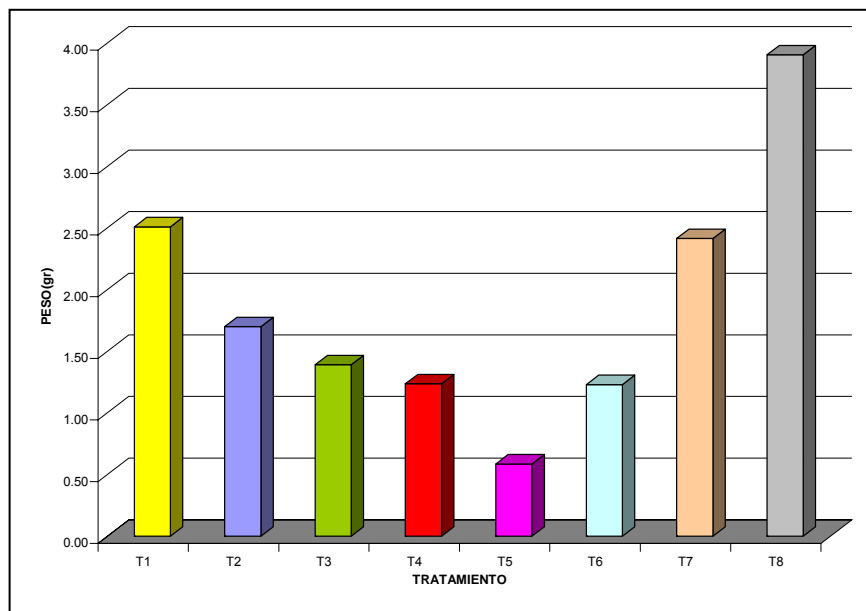
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

### 3.10. PESO SECO

#### 3.10.1. Peso seco en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

**Figura 52. Peso seco de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**



**Fuente:** las autoras. 2006.

**Tabla 114. Peso seco de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

Tratamiento	Peso (gr)
T1	2.51
T2	1.70
T3	1.39
T4	1.24
T5	0.59
T6	1.23
T7	2.42
T8	3.91

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la figura 52 se observa que las plantas que se encontraban en los tratamientos T1 (testigo), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza fertilización química + EM) fueron las que presentaron mayor peso seco.

El análisis estadístico ANOVA para peso seco arrojó una significancia de 0.008, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (Ho) y se acepta la hipótesis alterna (Ha). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en tres grupos:

- Grupo 1: T2, T3, T4, T5 y T6
- Grupo 2: T1, T2, T3, T4, T6 y T7
- Grupo 3: T1, T7 y T8

**Tabla 115. Análisis de varianza para peso seco en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

PESOS\_V

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	22.701	7	3.243	4.215	.008
Within Groups	12.311	16	.769		
Total	35.012	23			

**Tabla 116. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para peso seco en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.**

PESOS\_V

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
5	3	.5867		
6	3	1.2297	1.2297	
4	3	1.2363	1.2363	
3	3	1.3920	1.3920	
2	3	1.6990	1.6990	
7	3		2.4160	2.4160
1	3		2.5093	2.5093
8	3			3.9057
Sig.		.179	.129	.065

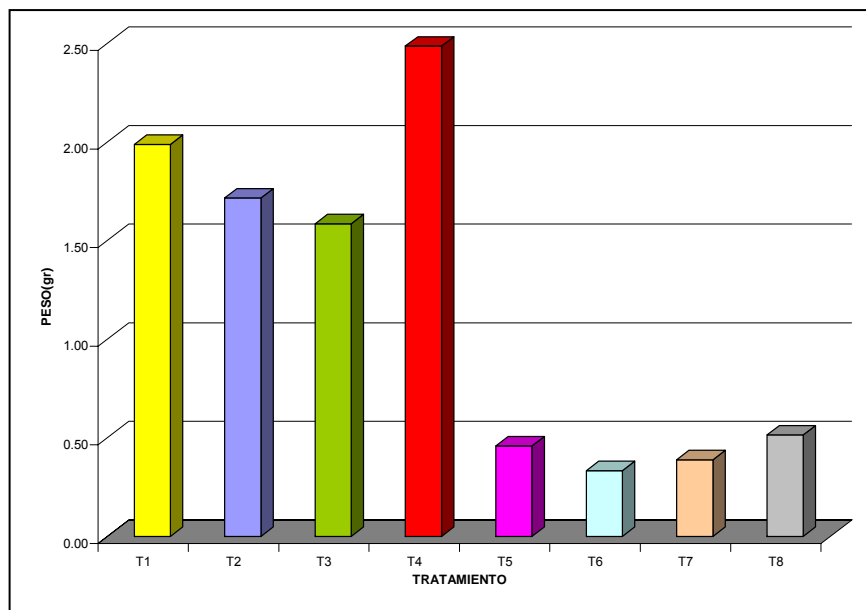
Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

### 3.10.2. Peso seco en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

Figura 53. Peso seco de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.



Fuente: las autoras. 2006.

Tabla 117. Peso seco de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

Tratamiento	Peso (gr)
T1	1.99
T2	1.72
T3	1.59
T4	2.49
T5	0.46
T6	0.33
T7	0.39
T8	0.51

Fuente: las autoras. 2006.

En la figura 53 se observa que las plantas que se encontraban en los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM) y T3 (suelo + compost + EM) y T4 (suelo + mulch + EM) fueron las que presentaron mayor peso seco, especialmente las que se encontraban en el tratamiento T4.

El análisis estadístico ANOVA para peso seco arrojó una significancia de 0.081, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Para corroborar lo anterior, se realizó la prueba de comparación de Duncan, la cual clasificó las plantas de los tratamientos de acuerdo a su comportamiento en dos grupos:

- Grupo 1: T1, T2, T3, T5, T6, T7 y T8
- Grupo 2: T1, T2, T3 y T4

**Tabla 118. Análisis de varianza para peso seco en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

ANOVA

PESOS\_N

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	15.359	7	2.194	2.284	.081
Within Groups	15.368	16	.961		
Total	30.728	23			

**Tabla 119. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para peso seco en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

PESOS\_N

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
6	3	.3337	
7	3	.3880	
5	3	.4587	
8	3	.5147	
3	3	1.5857	1.5857
2	3	1.7167	1.7167
1	3	1.9883	1.9883
4	3		2.4867
Sig.		.085	.316

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

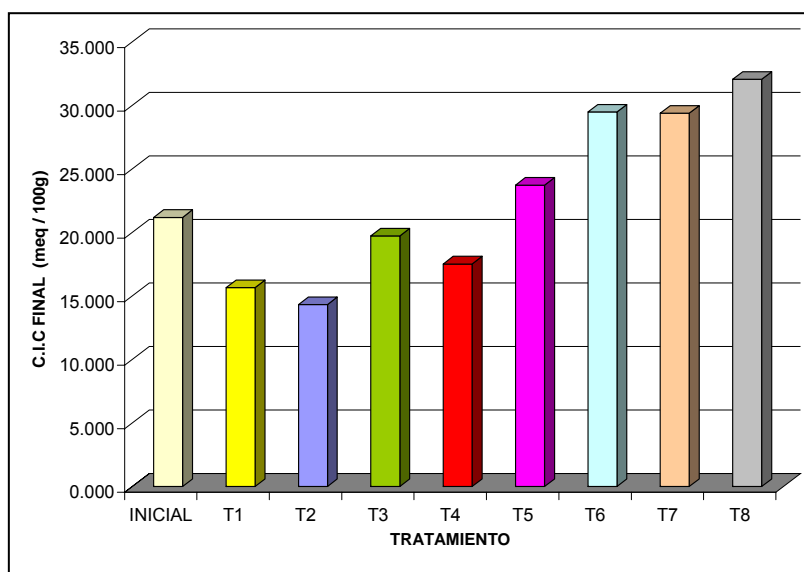
**Fuente:** SPSS 12.

Según Salisbury<sup>125</sup>, debido a los problemas ocasionados por el contenido variable de agua, los valores de peso húmedo no son confiables para determinar la producción y crecimiento de la planta, por lo tanto, se utilizan los valores de peso seco para medir estos parámetros.

Los resultados obtenidos de peso seco en los tratamientos T6 (suelo + fertilización química + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) contradicen lo expuesto por Bedoya y Quintero<sup>126</sup>, quienes afirman que el peso seco es más alto cuando hay fertilización química.

### 3.11. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO (CIC)

**Figura 54. Resultados de capacidad de intercambio catiónico en el suelo por tratamiento.**



**Fuente:** Díaz y Montero, Determinación de la acción de E.M. (Microorganismos Efectivos) bajo condiciones de invernadero, sobre la actividad de intercambio catiónico, en la recuperación de un suelo de Mondoñedo, 2006. p. 59.

<sup>125</sup> SALISBURY, Op. Cit., p. 364.

<sup>126</sup> BEDOYA, M.G. y QUINTERO, M.C. Efecto de la aplicación de ácidos húmicos y sintéticos en un suelo pobre de materia orgánica oxisol de los llanos orientales. Bogotá, 1998. 136 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía.

**Tabla 120. Resultados de capacidad de intercambio catiónico en el suelo por tratamiento.**

Tratamiento	C.I.C final (meq / 100g)
INICIAL	21.200
T1	15.667
T2	14.333
T3	19.733
T4	17.533
T5	23.733
T6	29.500
T7	29.400
T8	32.067

**Fuente:** Díaz y Montero, Determinación de la acción de E.M. (Microorganismos Efectivos) bajo condiciones de invernadero, sobre la actividad de intercambio catiónico, en la recuperación de un suelo de Mondoñedo, 2006. p. 59.

En la figura 54 se observa que los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM), T6 (suelo + fertilización química + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM).sobrepasaron el rango óptimo (> 20 meq/100g).

Así mismo, se observa una reducción de la capacidad de intercambio catiónico con respecto a la muestra inicial en los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM), T3 (suelo + compost + EM) y T4 (suelo + mulch + EM).

El análisis estadístico para la capacidad de intercambio catiónico arrojó una significancia de 0.000, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna. La prueba de comparación de Tukey HSD arrojó que los tratamientos se encuentran divididos en cuatro grupos, presentándose diferencias notables entre los tratamientos T5, T6, T7 y T8 con respecto a los demás.

**Tabla 121. Análisis de varianza para la capacidad de intercambio catiónico.**

ANOVA					
CIC					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1004.640	7	143.520	21.325	.000
Within Groups	107.680	16	6.730		
Total	1112.320	23			



**Tabla 122. Análisis de varianza y pruebas de comparación de Duncan para la capacidad de intercambio catiónico.**

CIC

Duncan<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
2	3	14.33333			
1	3	15.66667	15.66667		
4	3	17.53333	17.53333		
3	3		19.73333	19.73333	
5	3			23.73333	
7	3				29.40000
6	3				29.50000
8	3				32.06667
Sig.		.171	.086	.077	.250

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

En el Anexo E (materia orgánica total) se observa como los tratamientos T5, T7 y T8 sobrepasan el rango alto de materia orgánica para clima frío. Sin embargo, en la figura 54 se observa que los tratamientos T5, T6, T7 y T8 sobrepasan el rango óptimo para capacidad de intercambio catiónico. Por lo tanto, se encuentra una directa relación entre el porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico de los tratamientos T5, T7 y T8.

Lo anterior corrobora lo expuesto por Munévar<sup>127</sup> quien afirma que los coloides orgánicos del suelo contribuyen a la capacidad de intercambio de cationes. Por lo tanto, según Galiano<sup>128</sup>, hay una relación directamente proporcional entre el porcentaje de materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico.

---

<sup>127</sup> MUNÉVAR M., Op. cit., p. 232.

<sup>128</sup> GALIANO, Op. cit., p. 173.

### 3.12. DENSIDAD APARENTE

**Tabla 123. Densidad aparente por tratamiento.**

Tratamiento	g/cm <sup>3</sup>
T1	1.359
T2	1.549
T3	2.057
T4	1.611
T5	0.868
T6	1.695
T7	1.266
T8	0.782

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la tabla se observa que los tratamientos T5 (suelo + gallinaza + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) presentan los menores valores de densidad aparente. Lo anterior corrobora lo expuesto por Rivero de Trinca quien afirma que "...la inducción de una buena agregación en el suelo, provocada por un contenido apropiado de materia orgánica, modifica la porosidad del mismo y en consecuencia su densidad aparente.." <sup>129</sup> ya que estos tratamientos presentaron los mayores porcentajes de materia orgánica según el anexo E.

Según Malagón <sup>130</sup> la densidad aparente está afectada por el contenido orgánico siendo los valores más bajos los que se encuentran en suelos orgánicos, por o, a medida que disminuye el contenido de materia orgánica se alcanzan valores mayores de densidad aparente.

### 3.13. DENSIDAD REAL

---

<sup>129</sup> RIVERO DE TRINCA, Op. cit., p. 66.

<sup>130</sup> MALAGÓN CASTRO, Dimas y MONTENEGRO GONZÁLEZ, Hugo. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá : IGAC, 1990. p. 39.

**Tabla 124. Densidad real por tratamiento.**

Tratamiento	g/cm <sup>3</sup>
T1	2.312
T2	2.098
T3	2.009
T4	2.131
T5	2.104
T6	2.041
T7	2.022
T8	0.709

**Fuente:** las autoras. 2006.

En la tabla se observa que los tratamientos T1 (testigo) y T4 (suelo + mulch + EM) presentan los valores más altos de densidad real.

Según Malagón<sup>131</sup> cuando no se presentan cantidades considerables de materia orgánica la densidad real fluctúa entre 2.5 y 2.6 g/cm<sup>3</sup> y alcanza su mayor valor (2.65 g/cm<sup>3</sup>) en suelos arcillosos o arenosos con contenidos bajos de materia orgánica. En suelos con abundante contenido de hierro se pueden alcanzar valores superiores a 2.7 g/cm<sup>3</sup>, lo cual se corrobora al observar las figuras 30 (hierro en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos) y 31 (plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos) en donde las plantas absorbieron del suelo mayor cantidad de hierro, especialmente las que se encontraban en el tratamiento T4.

---

<sup>131</sup> Ibid., p. 39.

## CONCLUSIONES

1. El bioestimulante EM (aplicado en dosis del 5% del agua de riego) en acción mixta con abonos orgánicos recuperó la materia orgánica e incrementó el metabolismo del suelo erosionado de las unidades experimentales.
2. A los 105 días los porcentajes de materia orgánica de los tratamientos T1 (testigo), T2 (suelo + EM), T3 (suelo + compost + EM), T4 (suelo + mulch + EM), T5 (suelo + gallinaza + EM), T6 (suelo + fertilización química + EM), T7 (suelo + compost + mulch + gallinaza + EM) y T8 (suelo + compost + mulch + gallinaza + fertilización química + EM) aumentaron con respecto a los porcentajes de materia orgánica inicial.
3. Los tratamientos T5, T7 y T8 (aplicando 1 libra de cada abono orgánico según el tratamiento y 5% de EM del agua de riego) fueron los que presentaron los mayores porcentajes de materia orgánica.
4. El fertilizante químico aplicado (167 g. de UR-FOS 44 y 24.4 g. de KLIP BORO) en el tratamiento T8, inhibió el porcentaje de materia orgánica a los 68 días.
5. El bioestimulante EM aplicado sin ningún tipo de abono orgánico ni fertilización química, disminuye la actividad metabólica del suelo.
6. El bioestimulante EM actuó mejor con el abono orgánico de origen animal (gallinaza) que con los abonos orgánicos de origen vegetal (compost y mulch).
7. El bioestimulante EM incrementó la actividad metabólica del suelo en el tratamiento T6 a los 44 días.
8. Entre los 14 y 44 días los microorganismos del suelo presentaron la mayor actividad metabólica en los tratamientos T5, T7 y T8.
9. Existe una relación directamente proporcional entre el porcentaje de materia orgánica y la producción de CO<sub>2</sub> como resultado de la acción de los microorganismos del suelo.

10. Las plantas transplantadas de acacia japonesa (*acacia melanoxylon*) no fueron un indicador de la recuperación del suelo, ya que a pesar de incrementar la materia orgánica en cada una de las unidades experimentales, éstas perdieron sus características fisiológicas iniciales a lo largo de la investigación.
11. Las plantas transplantadas al inicio y después de 38 días de la aplicación de los tratamientos, presentaron comportamientos fisiológicos distintos a pesar de pertenecer a la misma especie (*acacia melanoxylon*).
12. Las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos presentaron mayor capacidad para absorber nutrientes que las transplantadas al inicio de la investigación.
13. El estado radical de las plantas influye en la absorción de los microelementos y macroelementos disponibles en el suelo por la acción microbiana.
14. La producción primaria bruta de las plantas transplantadas no indica la efectividad de los tratamientos aplicados en cada una de las unidades experimentales.
15. La absorción de elementos por parte de las plantas no depende de su cantidad en el suelo, sino de la bioestructura de éste y de la adaptación de la planta.
16. La fertilización química en acción mixta con el bioestimulante EM influyó la cantidad de calcio absorbido por las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos en T8.
17. Los elementos que más predominaron en los abonos orgánicos fueron calcio y potasio, influenciando el crecimiento vegetal.
18. La gallinaza fue el abono que más proporcionó calcio a las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos en T5, T7 y T8.
19. El calcio proporcionado por la gallinaza es inhibido cuando ésta se encuentra mezclada con otros abonos orgánicos de origen vegetal (compost y mulch).
20. Se presentaron procesos de antagonismo y sinergismo, provocando desbalances entre los macroelementos y microelementos proporcionados por los abonos al suelo.

- 21.** La capacidad de intercambio catiónico es directamente proporcional con los porcentajes de materia orgánica en los tratamientos T5, T7 y T8, excepto en el tratamiento T6.
- 22.** Existe una relación inversamente proporcional entre la densidad aparente y el contenido de materia orgánica en los tratamientos T5, T7 y T8.
- 23.** El tratamiento T8 fue el que presentó el mayor porcentaje de materia orgánica a los 105 días y el que proporcionaba a las plantas los elementos más cercanos al nivel adecuado, siendo el tratamiento que mejor comportamiento presentó a lo largo de la investigación.

## RECOMENDACIONES

1. Determinar el metabolismo y materia orgánica del suelo de estudio utilizando diferentes dosis de los abonos orgánicos utilizados (compost, mulch, gallinaza y EM).
2. Determinar el metabolismo y materia orgánica aplicando los abonos empleados en la investigación (compost, mulch, gallinaza y fertilización química) sin acción del bioestimulante EM.
3. Investigar la razón por la cual el bioestimulante EM aumenta los niveles de mineralización con la gallinaza y el mulch, y no con el compost.
4. Hallar el porcentaje de nitrógeno del suelo por el método de Kjeldahl y no a partir del porcentaje de materia orgánica, ya que este supone que en todos los suelos hay una misma relación cuantitativa de C/N.
5. Determinar la cantidad de nitrógeno en el tejido vegetal debido a que este elemento influye en el crecimiento de la planta.
6. Investigar el comportamiento del bioestimulante EM en la recuperación del metabolismo y materia orgánica del suelo con otros abonos orgánicos de origen animal, como vacunaza, caprinaza y humanaza.
7. Ampliar el tiempo de estudio de la acción sola o mixta del bioestimulante EM para determinar el comportamiento de los microorganismos que se encuentran en la solución de este.
8. Aplicar los tratamientos en acción mixta con el bioestimulante EM directamente en el suelo a recuperar.
9. Realizar un estudio microbiológico de la gallinaza para determinar las relaciones simbióticas con los microorganismos que se encuentran en el bioestimulante EM.
10. Realizar estudios microbiológicos en donde se determine el comportamiento de los microorganismos presentes en el bioestimulante EM.

- 11.** Realizar análisis foliar inicial a las plantas para cuantificar los elementos contenidos en ellas y examinar todos sus parámetros fisiológicos.
- 12.** Investigar la acción que ejercen los fertilizantes químicos utilizados en la investigación (UR-FOS 44 y KLIP BORO) en acción mixta con el bioestimulante EM sobre la disponibilidad de calcio y potasio en el suelo.
- 13.** Determinar las necesidades nutricionales de la acacia japonesa (*acacia melanoxylon*) y sus niveles tóxicos para microelementos y macroelementos.
- 14.** Utilizar otras especies de plantas como indicadoras de la recuperación de la fertilidad del suelo.



## BIBLIOGRAFÍA

ALEXANDER, Martin. Fundamentos de microbiología. México: AGT., 1994. p. 143.

AMÉZQUITA, Edgar. Residuos orgánicos superficiales (mulch), su importancia en el manejo de suelos. En: Memorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, 1994. p. 9.

BERNAL CUESTA, Ilda Marcela y OJEDA CRUZ, Ruth Belén. Avance del proceso de desertificación en los bordes del altiplano. Estudio comparativo entre Mondoñedo (Mosquera) y Guasca - Guatavita. Bogotá, 2003. 147 p. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas. Departamento de Geografía.

BOLÍVAR VERGARA, Diana Maria. Contribución de acacia mangium al mejoramiento de la calidad forrajera de brachiaria y la fertilidad de un suelo ácido del trópico húmedo. Bogotá, 183 p. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

BRADY, Nyle and WEIL Ray. The nature and properties of soil. 30 ed. New York: Prentice Hall, 2000.

BRICKELL, Christopher. Enciclopedia de las plantas y flores. Grijalbo Mondadori, 1996. p. 55.

BUOL, S.W. et.al. Soil genesis and classification. 5 ed. Iowa : Iowa State Press, 2003.

BURÉS, Silvia. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. 1997. s.l.

CALDERÓN SÁENZ, Felipe. Concepción moderna de la nutrición vegetal. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p. 305-323.

CEGARRA, J. Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. En: Memorias del VII Congreso de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga. 1994. p. 26.

COMITÉ PARA reconocimiento de suelos. Claves de taxonomía de suelos. 6 ed. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1994. p. 115-117.

Disponible en: <<http://www.agriton.nl/apnanman.html>>

Disponible en: <<http://www.agriton.nl/higa.html>>

Disponible en: <<http://www.fao.org/ag/agl/agll/lada/arg/Archivos/04%20-20Recursos/suelo.htm#Principales>>

ELDOR ALVIN, Paul and FRANCIS, Clark. Soil microbiology and biochemistry. 2 ed. Academic Press, 1996. s.l.

ESTRADA E., Gabriela. Elementos secundarios: calcio, magnesio, azufre. Fundamentos e interpretación del análisis químico. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p. 197-214.

FUENTES YAGÜE, J. Luis. El suelo y los fertilizantes. 3 ed. Mindiprensa, 1990. 283 p.56.

GALIANO SEDANO, Francisco. Análisis de plantas, metodología. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p. 287-302.

\_\_\_\_\_. Capacidad de intercambio catiónico y aniónico. Bases de cambio y saturaciones. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p. 164-185.

GARCÍA, Ricardo. Una especie de acacia, mimosaceae nueva para la ciencia. Bogotá, 2000. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

GÓMEZ ZAMBRANO, Jairo. La mezcla de abonos orgánicos. Una alternativa de optimización. Palmira: Universidad Nacional y Universidad de Córdoba.

GUERRERO M., Ramiro. La acidez del suelo – su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p. 141-163.

GUERRERO, RIASCOS Ricardo. Hacia la formulación de un modelo suelo-planta. s.l : s.n, s.f. p. 2.-3

\_\_\_\_\_. Ricardo. La recomendación de fertilizantes. Fundamentos y aplicaciones. En : Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Bogotá : Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1988. p. 248.

GUÍA PARA compostaje y manejo de suelos. 2003. s.l : s.n, s.f. p. 33.

HANKE, Franze. Fundamentos para la nutrición vegetal. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p. 275-286.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Fertilización de diversos cultivos. Quinta aproximación. Tibaitatá: ICA, 1992.

INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. Diccionario geográfico de Colombia. Tomo 3. Bogotá: IGAC, 1995.

\_\_\_\_\_. Suelos de Colombia. Origen, evolución, clasificación y uso. Bogotá: IGAC, 1995.

INTERPRETACIÓN DE análisis de suelos, foliar y agua de riego. Consejo de Anonado (Normas básicas). Madrid: Mundiprensa, 1992. p. 59-61.

LÓPEZ RITAS, J. y LÓPEZ MELIDA, J. El diagnóstico de suelos y plantas. Métodos de campo y laboratorio. Madrid: Mundiprensa, 1985. 368 p.

MAGDOFF, Fred and WEIL, Ray. Soil organic matter in sustainable agriculture. C.R.C. Press, 2004.

MAHECHA VEGA, Gilberto *et al.* Vegetación del territorio CAR. 450 especies de sus llanuras y montañas. Bogotá: CAR, 2004. p. 603.

MALAGÓN CASTRO, Dimas y MONTENEGRO GONZÁLEZ, Hugo. Propiedades físicas de los suelos. Bogotá: IGAC, 1990. p. 39.

MANUAL DE técnicas agropecuarias. Plan Nacional de Rehabilitación. Bogotá: Presidencia de la República. 3 ed. 1989. p. 20.

MARÍN MORALES, Gildardo. La fertilidad de los suelos de Colombia y las recomendaciones de fertilizantes. En: Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1988. p. 301.

MEDINA, GUTIÉRREZ Maria Cecilia. Evolución de la respiración del suelo con sustratos orgánicos (Paja de maíz dulce y gallinaza) y observaciones generales de su fauna edáfica. Bogotá, 1997. 102 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional. Facultad de Ingeniería Agronómica.

MUNÉVAR M., Fernando. Conceptos sobre la material orgánica y el nitrógeno del suelo relacionados con la interpretación de análisis químico. En: Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1991. p. 227-239.

MUÑOZ ARAQUE, Rodrigo. Los abonos orgánicos y su uso en la agricultura. En: Fertilidad de suelos. Diagnóstico y control. Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, 1994.

NEBEL, Bernard and WRIGTH, Richard. Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible. 6 ed. México: Prentice Hall, 1999. 698 p.

NYLE, Bryde and RAY, Weil. The nature and properties of soil: Prentice Hall, 2000. p. 20.

PÉREZ, César. Técnicas estadísticas con SPSS. Prentice Hall, 2001. s.l.

PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2000 – 2004.

PLASTER, Edward J. La ciencia del suelo y su manejo. Paraninfo, 2000. p. 112-119, 135-136, 149-150, 172-173, 196.

PRIMAVESSI, Ana. Manejo ecológico del suelo. 1983. 499 p. s.l. s.n.

RAGENDRA, Prasad and POWER, James F. Soil fertility management for sustainable agriculture. New York: Lewis Publishers, 1997.

RESTREPO, RIVERA, Jairo. Aportes de los abonos verdes usados en la agricultura orgánica como cobertura. En: Agricultura orgánica. Una teoría y una práctica. Cali, 2000. p. 189.

RIVERO DE TRINCA, Carmen. Material orgánica del suelo. En: Alcance 57. Facultad de Agronomía. Universidad Central de Venezuela, 1999. 211 p.

RODRÍGUEZ FUENTES, Humberto y Rodríguez, José. Métodos de análisis de suelos y plantas. Criterios de interpretación. México: Trillas, 2002. p. 58, 93.

SALISBURY B., Frank and ROSS W., Cleon. Fisiología vegetal. California: Iberoamericana, 1994. 759 p.

SÁNCHEZ DE PRAGUER, Marina. Microbiología. Aspectos fundamentales. Palmira: Universidad Nacional de Colombia, 2001.

SARMIENTO NÚÑEZ, Adonías. Evaluación de dos fuentes de materia orgánica. Gallinaza y boñiga en el sistema de cultivo de maíz. Bogotá,...Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia.

SEOÁENZ CALVO, Mariano. Contaminación del suelo. Madrid: Mundiprensa, 1999. 352 p.

SOLÓRZANO, Pedro Raúl. Fertilidad de suelos, su manejo en la producción agrícola. En: Alcance 51. Facultad de agronomía. Universidad Central de Venezuela. Marzo, 1997. p. 143 y 157.

SUÁREZ, Senén. La materia orgánica en la productividad y sostenibilidad de la zona cafetera. En: Memorias del VII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo. Bucaramanga, 1994. p. 17.

TISDALE, Samuel et al. Soil fertility and fertilizers. Canadá: Macmillan, 1993. p. 328 -331.

TOOGOOD, Alan. Enciclopedia de la propagación de las plantas. Royal Horticultural Society. Leopold, 2000. p. 90.

VISAUTA VINACUA, Bienvenido. Análisis estadístico con SPSS para Windows. 2 ed. Mac. Graw Hill, 1998.

## **ANEXOS**

## ANEXO A. Análisis inicial del suelo de estudio.



LABORATORIO DE SUELOS FACULTAD DE AGRONOMÍA

### REPORTE DE ANALISIS DE SUELO No. 4517

Fecha recibo: 28/04/2005      Solicitante: Jesús Alberto Lagos      Finca: Desierto Zabinsky  
 Fecha entrega: 18/05/2005      Dirección:      Vereda:  
 Recibo: 445      Teléfono: 6926484      Municipio: Mosquera

### RESULTADOS

pH	CO	N	Cationes intercambiables					CIC	P	Microelementos					Ar	L	A	Textura
			Ca	K	Mg	Na	Al			Cu	Fe	Mn	Zn	B				
			meq / 100 g							mg / kg								
5.7	3.26	0.28	8.05	0.83	4.07	0.41	0	24.1	6.7	0.58	163	8.37	2.77	0.22	30	22	49	FArA

Los resultados de este reporte corresponden únicamente a las muestras analizadas en el laboratorio

### MÉTODOS DE ANÁLISIS

pH: Relación suelo:agua (p/v) 1:1, valoración potenciométrica; CO (carbono orgánico): Método de Walkley-Black, valoración volumétrica; N: Estimado a partir del CO (factor empleado: 0.0862); Ca, K, Mg, Na: Extracción con acetato de amonio 1N pH 7, valoración por Absorción Atómica; Al, H (aluminio e hidrógeno de cambio): Extracción con KCl 1M, valoración volumétrica; CIC (capacidad de intercambio catiónico): Desplazamiento del  $\text{NH}_4$  intercambiado con NaCl 1M, valoración volumétrica; P aprovechable: Método de Bray II, valoración colorimétrica; Cu, Fe, Mn, Zn: Extracción con DTPA, valoración por Absorción Atómica; B: Extracción con fosfato monobásico (Azometina-H), valoración colorimétrica; Arcilla (Ar), limo (L), arena (A): método de Bouyoucos, previa dispersión con hexametáfosfato de sodio; Textura: Triángulo de clasificación textural del USDA

### CONVENCIONES GENERALES DE REFERENCIA

Elemento	Clima	Alto	Medio	Bajo	Elemento	Alto	Medio	Bajo
N total (%)	Frio	> 0.50	0.25 - 0.50	< 0.25	P (mg/kg)	> 40	20 - 40	< 20
	Medio	> 0.15	0.15 - 0.25	< 0.15	K (meq/100g)	> 0.35	0.15 - 0.35	< 0.15
	Cálido	> 0.20	0.10 - 0.20	< 0.10	Ca (meq/100g)	> 6	3 - 6	< 3
					Mg (meq/100g)	> 2.5	1.5 - 2.5	< 1.5

*Alexander Nieves*  
 ALEXANDER NIEVES  
 Analista

*Marta Cecilia Henao*  
 MARTHA CECILIA HENAO  
 Directora del Laboratorio

RECUERDE: El plan de fertilización es más eficiente y productivo si Usted consulta con el profesional de Asistencia Técnica de su localidad.

Laboratorio de Aguas y Suelos, Facultad de Agronomía, Edificio 500 Cuarto Piso  
 Conmutador 316 5000 extensiones 19088 19097 19049 19110. Telefax 316 5498  
 e-mail: { [HYPERLINK "mailto:mchenao@unal.edu.co"](mailto:mailto:mchenao@unal.edu.co) }  
 Bogotá, Colombia

**Fuente:** Laboratorio de Suelos. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia.

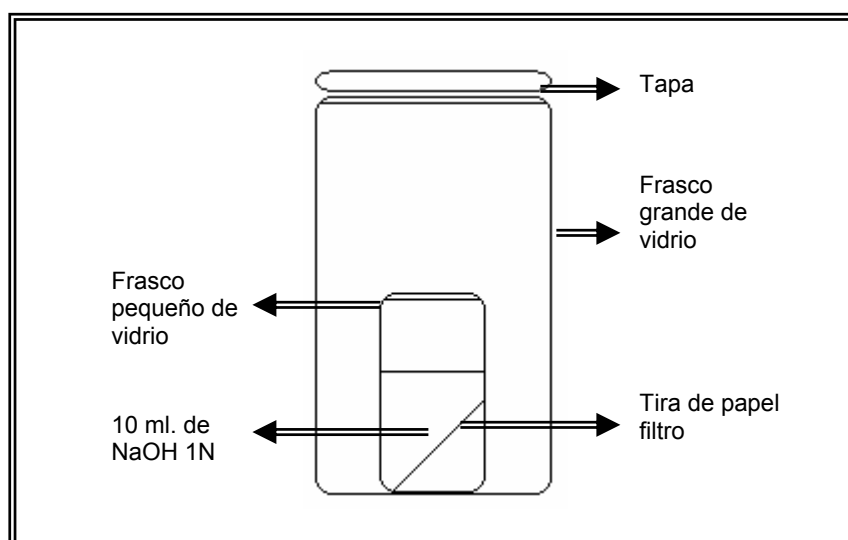
## ANEXO B. Protocolos de laboratorio

### METABOLISMO DEL SUELO

Sobre el suelo de cada una de las unidades experimentales se colocó un frasco de vidrio pequeño sin tapa con 10 ml. de Hidróxido de Sodio (NaOH) 1N y una tira de papel filtro para ayudar a absorber el  $\text{CO}_2$  liberado. Inmediatamente después, sobre cada frasco pequeño se colocó un frasco de vidrio más grande boca abajo, enterrándolo aproximadamente 1 cm. en el suelo con el objetivo de impedir el ingreso de aire hacia el frasco pequeño.

Para mantener las variables ambientales constantes en el testigo, se colocó un frasco de vidrio pequeño sin tapa con 10 ml. de NaOH 1N y una tira de papel filtro para ayudar a absorber el  $\text{CO}_2$  liberado, dentro de un frasco de vidrio más grande boca arriba debidamente tapado. Este procedimiento se llevó a cabo para los 2 testigos elaborados, los cuales se mantuvieron en el mismo lugar de las unidades experimentales.

#### Montaje para metabolismo.



**Fuente:** las autoras. 2006.

Luego de realizar el montaje en cada materia, los frascos se dejaron incubando por periodos iguales de tiempo, tanto para las unidades experimentales como para los testigos.



Los periodos de incubación oscilaron de 12 a 16 días. Al terminar cada periodo, cada uno de los frascos pequeños era retirado e inmediatamente reemplazado por otro con 10 ml. de NaOH 1N y una tira de papel filtro. Los frascos retirados eran inmediatamente tapados y marcados para llevarlos al laboratorio para su posterior titulación. Este mismo procedimiento se realizó para los testigos.

En el laboratorio, el contenido de cada frasco (NaOH 1N + tira de papel filtro) se vació en un enermeyer, al cual se le agregaron 2 ml. de Cloruro de Bario ( $\text{BaCl}_2$ ) al 2% para precipitar el carbonato y 3 gotas de Fenolftaleína como indicador. Luego de agitar se tituló con Ácido Clorhídrico (HCl) 0.1N hasta que la muestra virara de color fucsia a color blanco o transparente. Este mismo procedimiento se realizó para los testigos, el cual dio el valor de referencia para el cálculo de  $\text{CO}_2$ .

#### **Determinación del metabolismo del suelo en el laboratorio**



**Fuente:** las autoras. 2006.

## MATERIA ORGÁNICA

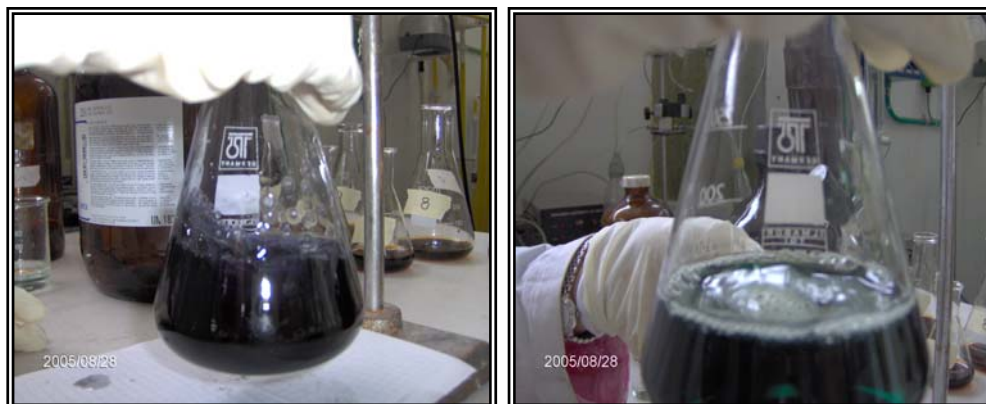
Para la medición inicial, se tomó una sola muestra de suelo previamente seco y homogenizado. Para la medición a los 68 días se tomó una muestra puntual por cada unidad experimental para luego secarla. Para la medición a los 105 días, se homogenizó completamente el primer estrato de cada una de las materas y se tomó una muestra por cada unidad experimental para secarla posteriormente.

Para la determinación de la materia orgánica en cada una de las unidades experimentales se colocó 0.1 g. de suelo homogéneo seco en un enlarmeyer de 250 ml., se agregaron 10 ml. de Dicromato de Potasio ( $K_2CrO_7$ ) 1N y se agitó durante un minuto. La materia orgánica es oxidada por el ión  $CrO_7^{2-}$  generándose  $CO_2$  y  $H_2O$ . Luego se adicionaron 20 ml. de Ácido Sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) concentrado y se agitó durante un minuto. La función del  $H_2SO_4$  es calentar la muestra para que se lleve a cabo la reacción. El calentamiento es producido cuando el  $H_2SO_4$  reacciona con el Dicromato.

Las muestras se dejaron en reposo de 20 a 30 minutos. Luego se agregó agua destilada hasta llevar a volumen de 100 ml. con el fin de diluir la muestra, produciendo una aclaración y generando un volumen ideal para la titulación. Posteriormente se adicionaron 10 ml. de Ácido Fosfórico ( $H_3PO_4$ ) al 85% y 15 gotas de Difenilamina como indicador. El  $H_3$  se adiciona para generar un complejo con el  $Fe^{+++}$  ya que este puede afectar el punto final en la titulación.

Finalmente se tituló con Sulfato Ferroso Amoniacal ( $FeSO_4$ ) 0.5 N, la muestra viró de color ámbar a color verde esmeralda pasando por un color azul turbio durante la titulación.

### Variación del color por titulación.



**Fuente:** las autoras. 2006.

## pH

Pesar 10 gramos de suelo molido y seco.

En un vaso de 50 ml añada 25 ml de agua desionizada.

Agite la suspensión por 5 minutos y deje en reposo por 30 minutos.

Calibre el instrumento con la soluciones amortiguadoras.

Determine el pH de la muestra. Inmediatamente antes de introducir el electrodo debe agitarse la muestra y leer rápidamente para evitar efectos de sedimentación.

## METODOLOGÍA PARA ANÁLISIS DE TEJIDO VEGETAL

1. Seque la muestra fresca de tejido vegetal en una estufa a una temperatura de 60 °C durante 24 horas.
2. Muela la muestra.
3. Pese 1 g de la muestra seca y molida.
4. Coloque la muestra a una temperatura de 475°C durante 5 horas.
5. Deje enfriar y agregue 4 ml de HCl 1:1.
6. Evapora muy lentamente sin dejar secar la totalidad de la muestra.
7. Deje enfriar y adicione 2 ml de HCl 1:1.
8. Filtre y lave el contenido con agua caliente.
9. Lleve el filtrado a un volumen de 25 ml con agua destilada.
10. determine calcio, magnesio, sodio, potasio, manganeso, hierro y cobre en el espectrofotómetro de absorción atómica.

### Preparación de muestras.



**Fuente:** las autoras. 2006.

### DENSIDAD APARENTE EN EL SUELO (Terrón parafinado):

Tome un terrón del suelo de aproximadamente 2x2 cm y séquelo en estufa a 105 °C durante 24 horas.

Luego coloque en un desecador el terrón de suelo durante media hora.

Pese el terrón de suelo y registre el dato.

Sumerja el terrón en parafina cubriéndolos totalmente.

Nuevamente pese el terrón con parafina y registre el dato.

Sumerge el terrón con parafina en una probeta graduada que contenga un volumen conocido de agua y observe claramente el volumen desplazado.

Calcule el peso de la parafina:

$$\text{Peso parafina (g)} = \text{peso del terrón con parafina} - \text{peso del terrón}$$

Halle los centímetros cúbicos (cc) de agua desplazada por la parafina, conociendo que la densidad de la parafina es de 0.9 g/cm<sup>3</sup>.

$$\text{volumen. de H}_2\text{O desplazada por la parafina} = \frac{\text{peso de la parafina}}{\text{densidad de la parafina}}$$

Calcule el volumen de agua (cc) desplazada por el terrón de suelo

∇ H<sub>2</sub>O desplazada por el terrón = cc H<sub>2</sub>O desplazada por el terrón parafinado - cc H<sub>2</sub>O desplazada por la parafina.

Obtenga la densidad aparente:

$$\text{Densidad aparente} \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) = \frac{\text{peso del terrón sin parafina}}{\nabla \text{ H}_2\text{O desplazada por el terrón}}$$

## Preparación del terrón



**Fuente:** las autoras. 2006.

## DENSIDAD REAL EN EL SUELO (Método del picnómetro)

Pese el picnómetro de 10 ml con tapa y completamente seco.

Agregue 3 gramos de suelo seco y molido.

Pese el picnómetro con el suelo.

Agregue agua desionizada al picnómetro a la mitad de su volumen.

Lleve el picnómetro a una campana de vidrio y aplique vacío durante 15 minutos para eliminar las burbujas de aire.

Retire el picnómetro de la campana y llénelo con agua, tápelo y péselo.

Vacié el contenido del picnómetro, lávelo y llénelo de agua, tápelo y péselo.

Calcule la densidad real:

$$Pp = P_{tp} - P_t \Rightarrow V_p = \frac{Pp}{0.9}$$
$$V_t = V_p - V_{sp} \Rightarrow Da = \frac{P_t}{V_t}$$

Donde:

$Pp$  = peso de la parafina (g)

$P_{tp}$  = peso del terrón con parafina (g)

$P_t$  = peso del terrón (g)

$V_t$  = volumen de agua desplazada por el terrón ( $\text{cm}^3$ )

$V_p$  = volumen de agua desplazada por la parafina ( $\text{cm}^3$ )

$V_{sp}$  = volumen de agua desplazada solo por la parafina ( $\text{cm}^3$ )

$Da$  = densidad aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

### ANEXO C. Clasificación de la génesis y la evolución de los suelos.

pH 1:1	APRECIACIÓN	P PPM BRAY II	K meq/100g	% M.O			% N Total			CICA Meq/100g	SATURA CION BASES Meq/100g			
				CLIMA			CLIMA							
				Frío	Medio	Cálido	Frío	Medio	Cálido					
<4.5	Bajo	<15	<0.2	< 5	<3	<2	<0.25	<0.15	<.0.1	<10.0	<35			
Extremadamente ácido	Medio	15 – 30		5 - 10	3 - 5	2 - 4	0.25 – 0.5	0.2 – 0.5	0.1 - 0.2	10 - 20	35 – 50			
4.5 – 5.0	Alto	>30		>10	>5	>4	>0.5	>0.3	>0.2	>20	>50			
Muy fuertemente ácido	APRECIACIÓN	RELACION				Clasificación de suelos de acuerdo a sales y sodio			Saturación Aluminio (%)	APRECIACION				
5.1 – 5.5		Ca/Mg	Mg/K	Ca/K	Ca+Mg /K									
Fuertemente ácido	RELACION IDEAL	2 - 4	3	6	10	CE dS/m	PSI %	CLASE	<15	Sin problemas en general, limitante para cultivos susceptibles				
5.6 – 6.0	K DEFICIENTE		>18	>30	>10	0 - 2	INFERIOR A 15	Normal Límite S1 S2 S3		15 a 30	Limitante para cultivos moderadamente tolerantes			
Medianamente ácido	Mg DEFICIENTE	>10	<1			2 – 4								
6.1 – 6.5	NIVEL CRITICO	*ELEMENTOS MENORES (ppm)				0 – 4 4 – 8 8 – 16 >16			SUPERIO R A 15				Sodico NaS1 NaS2 NaS3	30 a 60
Ligeramente ácido		Zn	Cu	Mn	Fe									
6.5 – 7.3											>60	Niveles tóxicos para la mayoría de los cultivos		
Neutro														
7.4 – 7.8														
Ligeramente alcalino	Suelo	4 - 6	3 - 4	20 - 50	80 - 100	0 – 4 4 – 8 8 – 16 >16	SUPERIO R A 15	Sodico NaS1 NaS2 NaS3	>60	Niveles tóxicos para la mayoría de los cultivos				
7.9 – 8.4														
Medianamente alcalino														
8.5 – 9.0	Planta	30 - 100	5 - 25	30 - 200	60 - 500	0 – 4 4 – 8 8 – 16 >16	SUPERIO R A 15	Sodico NaS1 NaS2 NaS3	>60	Niveles tóxicos para la mayoría de los cultivos				
Fuertemente alcalino														
>9.0														
Extremadamente alcalino	* Extractables con DTPA. Boro: En suelos: 0.3 ppm, extractable en agua caliente En plantas: 30 – 80 ppm					INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI LABORATORIO DE SUELOS								

## ANEXO D. Comparaciones múltiples de Dunnett y Tukey

### Materia orgánica a los 68 días.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: MO\_MITAD  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-1.00733	1.38094	.961	-5.04503	3.03036
3	1	3.58267	1.38094	.093	-.45503	7.62036
4	1	5.6000E-02	1.38094	1.000	-3.98169	4.09369
5	1	4.03033	1.38094	.051	-7.35903E-03	8.06803
6	1	-2.79867	1.38094	.250	-6.83636	1.23903
7	1	8.00500*	1.38094	.000	3.96731	12.04269
8	1	7.89300*	1.38094	.000	3.85531	11.93069

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

#### MO\_MITAD

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
6	3	4.05867			
2	3	5.85000	5.85000		
1	3	6.85733	6.85733	6.85733	
4	3	6.91333	6.91333	6.91333	
3	3		10.44000	10.44000	10.44000
5	3			10.88767	10.88767
8	3				14.75033
7	3				14.86233
Sig.		.472	.065	.133	.081

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente:** SPSS 12.

## Materia orgánica a los 105 días.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: MO\_FINAL

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-1.27633	3.18130	.999	-10.57804	8.02537
3	1	4.36633	3.18130	.615	-4.93537	13.66804
4	1	2.35133	3.18130	.958	-6.95037	11.65304
5	1	12.29333*	3.18130	.008	2.99163	21.59504
6	1	-1.20867	3.18130	.999	-10.51037	8.09304
7	1	12.42767*	3.18130	.007	3.12596	21.72937
8	1	12.96500*	3.18130	.005	3.66330	22.26670

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### MO\_FINAL

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	7.45600	
6	3	7.52367	
1	3	8.73233	
4	3	11.08367	11.08367
3	3	13.09867	13.09867
5	3		21.02567
7	3		21.16000
8	3		21.69733
Sig.		.644	.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Carbono orgánico a los 68 días.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: C\_MITAD

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-.5846667	.8009195	.960	-2.9264469	1.7571136
3	1	2.0780000	.8009195	.093	-.2637802	4.4197802
4	1	3.233E-02	.8009195	1.000	-2.3094469	2.3741136
5	1	2.3376667	.8009195	.050	-4.1136E-03	4.6794469
6	1	-1.6236667	.8009195	.250	-3.9654469	.7181136
7	1	4.6430000*	.8009195	.000	2.3012198	6.9847802
8	1	4.5780000*	.8009195	.000	2.2362198	6.9197802

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.



### C\_MITAD

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
6	3	2.3536667			
2	3	3.3926667	3.3926667		
1	3	3.9773333	3.9773333	3.9773333	
4	3	4.0096667	4.0096667	4.0096667	
3	3		6.0553333	6.0553333	6.0553333
5	3			6.3150000	6.3150000
8	3				8.5553333
7	3				8.6203333
Sig.		.472	.065	.133	.081

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

### Carbono orgánico a los 105 días.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: C\_FINAL

Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-.7400000	1.8450852	.999	-6.1347793	4.6547793
3	1	2.5326667	1.8450852	.614	-2.8621126	7.9274459
4	1	1.3640000	1.8450852	.958	-4.0307793	6.7587793
5	1	7.1300000*	1.8450852	.008	1.7352207	12.5247793
6	1	-.7010000	1.8450852	.999	-6.0957793	4.6937793
7	1	7.2080000*	1.8450852	.007	1.8132207	12.6027793
8	1	7.5200000*	1.8450852	.005	2.1252207	12.9147793

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### C\_FINAL

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	4.3246667	
6	3	4.3636667	
1	3	5.0646667	
4	3	6.4286667	6.4286667
3	3	7.5973333	7.5973333
5	3		12.19467
7	3		12.27267
8	3		12.58467
Sig.		.644	.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Nitrógeno total a los 68 días.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: N\_MITAD  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-5.067E-02	6.90E-02	.959	-.25230	.15096
3	1	.17933	6.90E-02	.092	-2.22962E-02	.38096
4	1	3.0000E-03	6.90E-02	1.000	-.19863	.20463
5	1	.20167*	6.90E-02	.050	3.7169E-05	.40330
6	1	-.13933	6.90E-02	.252	-.34096	6.2296E-02
7	1	.40033*	6.90E-02	.000	.19870	.60196
8	1	.39467*	6.90E-02	.000	.19304	.59630

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### N\_MITAD

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
6	3	.20333			
2	3	.29200	.29200		
1	3	.34267	.34267	.34267	
4	3	.34567	.34567	.34567	
3	3		.52200	.52200	.52200
5	3			.54433	.54433
8	3				.73733
7	3				.74300
Sig.		.474	.063	.132	.080

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Análisis de varianza y pruebas de comparación de Dunnett y Tukey para nitrógeno total a los 105 días.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: N\_FINAL  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-6.367E-02	.15898	.999	-.52850	.40116
3	1	.21833	.15898	.614	-.24650	.68316
4	1	.11733	.15898	.958	-.34750	.58216
5	1	.61467*	.15898	.008	.14984	1.07950
6	1	-6.067E-02	.15898	.999	-.52550	.40416
7	1	.62133*	.15898	.007	.15650	1.08616
8	1	.64800*	.15898	.005	.18317	1.11283

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

#### N\_FINAL

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	.37300	
6	3	.37600	
1	3	.43667	
4	3	.55400	.55400
3	3	.65500	.65500
5	3		1.05133
7	3		1.05800
8	3		1.08467
Sig.		.644	.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

#### Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a los 44 días.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CO2\_MITA

Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-4.36300	12.39006	.999	-40.58987	31.86387
3	1	1.58433	12.39006	1.000	-34.64253	37.81120
4	1	77.52267*	12.39006	.000	41.29580	113.74953
5	1	106.63633*	12.39006	.000	70.40947	142.86320
6	1	17.71000	12.39006	.576	-18.51687	53.93687
7	1	87.00100*	12.39006	.000	50.77413	123.22787
8	1	81.19867*	12.39006	.000	44.97180	117.42553

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

#### CO2\_MITA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
2	3	20.05767	
1	3	24.42067	
3	3	26.00500	
6	3	42.13067	
4	3		101.94333
8	3		105.61933
7	3		111.42167
5	3		131.05700
Sig.		.640	.327

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a los 103 días.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CO2\_FINA  
Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	.75700	14.49007	1.000	-41.60999	43.12399
3	1	3.21733	14.49007	1.000	-39.14966	45.58433
4	1	20.35933	14.49007	.593	-22.00766	62.72633
5	1	57.61267*	14.49007	.006	15.24567	99.97966
6	1	30.29600	14.49007	.225	-12.07099	72.66299
7	1	62.92933*	14.49007	.003	20.56234	105.29633
8	1	53.12100*	14.49007	.011	10.75401	95.48799

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### CO2\_FINA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
1	3	7.91533		
2	3	8.67233		
3	3	11.13267	11.13267	
4	3	28.27467	28.27467	28.27467
6	3	38.21133	38.21133	38.21133
8	3		61.03633	61.03633
5	3			65.52800
7	3			70.84467
Sig.		.459	.052	.129

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

pH.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: PH  
Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-.19333	.28031	.970	-1.01293	.62626
3	1	1.17000*	.28031	.004	.35040	1.98960
4	1	.74667	.28031	.082	-7.29286E-02	1.56626
5	1	1.45667*	.28031	.001	.63707	2.27626
6	1	1.34667*	.28031	.001	.52707	2.16626
7	1	1.89333*	.28031	.000	1.07374	2.71293
8	1	1.64667*	.28031	.000	.82707	2.46626

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

# PH

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05		
		1	2	3
2	3	5.92667		
1	3	6.12000		
4	3	6.86667	6.86667	
3	3		7.29000	7.29000
6	3		7.46667	7.46667
5	3		7.57667	7.57667
8	3		7.76667	7.76667
7	3			8.01333
Sig.		.061	.080	.232

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Calcio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CA\_VIEJA

Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	828.00333	972.43340	.921	-2015.26019	3671.26685
3	1	14.60333	972.43340	1.000	-2828.66019	2857.86685
4	1	-417.81667	972.43340	.998	-3261.08019	2425.44685
5	1	3248.15667*	972.43340	.022	404.89315	6091.42019
6	1	-368.79000	972.43340	.999	-3212.05352	2474.47352
7	1	1274.44667	972.43340	.656	-1568.81685	4117.71019
8	1	1486.68000	972.43340	.512	-1356.58352	4329.94352

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### CA\_VIEJA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
4	3	3221.903	
6	3	3270.930	
1	3	3639.720	3639.720
3	3	3654.323	3654.323
2	3	4467.723	4467.723
7	3	4914.167	4914.167
8	3	5126.400	5126.400
5	3		6887.877
Sig.		.535	.063

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Calcio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CA\_NUEVA  
Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-310.17333	2245.779	1.000	-6876.52681	6256.18014
3	1	1283.93000	2245.779	.989	-5282.42348	7850.28348
4	1	3848.91667	2245.779	.400	-2717.43681	10415.27014
5	1	3058.91667	2245.779	.622	-3507.43681	9625.27014
6	1	5303.39667	2245.779	.142	-1262.95681	11869.75014
7	1	-217.74333	2245.779	1.000	-6784.09681	6348.61014
8	1	4777.76000	2245.779	.212	-1788.59348	11344.11348

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### CA\_NUEVA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
2	3	3726.853	
7	3	3819.283	
1	3	4037.027	
3	3	5320.957	
5	3	7095.943	
4	3	7885.943	
8	3	8814.787	
6	3	9340.423	
Sig.		.263	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Cobre en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CU\_VIEJA  
Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	.4833333	6.8486404	1.000	-19.5411632	20.5078299
3	1	3.6000000	6.8486404	.993	-16.4244965	23.6244965
4	1	10.5500000	6.8486404	.504	-9.4744965	30.5744965
5	1	17.7200000	6.8486404	.095	-2.3044965	37.7444965
6	1	-5.5000000	6.8486404	1.000	-20.5744965	19.4744965
7	1	2.6866667	6.8486404	.999	-17.3378299	22.7111632
8	1	7.5766667	6.8486404	.790	-12.4478299	27.6011632

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

**CU\_VIEJA**

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
6	3	3.3400000	
1	3	3.8900000	
2	3	4.3733333	
7	3	6.5766667	
3	3	7.4900000	
8	3	11.46667	
4	3	14.44000	
5	3	21.61000	
Sig.		.202	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente: SPSS 12.**

**Cobre en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

**Multiple Comparisons**

Dependent Variable: CU\_NUEVA

Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-1.0366667	7.6828622	1.000	-23.5003149	21.4269816
3	1	6.3700000	7.6828622	.929	-16.0936482	28.8336482
4	1	4.8333333	7.6828622	.981	-17.6303149	27.2969816
5	1	7.5300000	7.6828622	.862	-14.9336482	29.9936482
6	1	13.6533333	7.6828622	.366	-8.8103149	36.1169816
7	1	9.6200000	7.6828622	.696	-12.8436482	32.0836482
8	1	23.4300000*	7.6828622	.039	.9663518	45.8936482

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

**CU\_NUEVA**

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
2	3	3.7900000	
1	3	4.8266667	
4	3	9.6600000	
3	3	11.19667	
5	3	12.35667	
7	3	14.44667	
6	3	18.48000	
8	3	28.25667	
Sig.		.083	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente: SPSS 12.**

## Hierro en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: FE\_VIEJA  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	470.00667	215.8001	.195	-160.9635208	1100.976854
3	1	51.3333333	215.8001	1.000	-579.6368542	682.3035208
4	1	267.48000	215.8001	.704	-363.4901875	898.4501875
5	1	371.44000	215.8001	.396	-259.5301875	1002.410188
6	1	58.2833333	215.8001	1.000	-572.6868542	689.2535208
7	1	183.92000	215.8001	.921	-447.0501875	814.8901875
8	1	155.75000	215.8001	.962	-475.2201875	786.7201875

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### FE\_VIEJA

#### Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
1	3	105.8967
3	3	157.2300
6	3	164.1800
8	3	261.6467
7	3	289.8167
4	3	373.3767
5	3	477.3367
2	3	575.9033
Sig.		.412

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Hierro en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: FE\_NUEVA  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-20.923333	509.2240	1.000	-1509.82537	1467.978705
3	1	133.28000	509.2240	1.000	-1355.62204	1622.182038
4	1	1096.5433	509.2240	.203	-392.3587048	2585.445371
5	1	159.87333	509.2240	1.000	-1329.02870	1648.775371
6	1	599.34667	509.2240	.745	-889.5553715	2088.248705
7	1	197.78667	509.2240	.999	-1291.11537	1686.688705
8	1	623.09000	509.2240	.715	-865.8120382	2111.992038

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.



# FE\_NUEVA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
2	3	140.7667	
1	3	161.6900	
3	3	294.9700	
5	3	321.5633	
7	3	359.4767	
6	3	761.0367	
8	3	784.7800	
4	3	1258.233	
Sig.		.403	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Magnesio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: MG\_VIEJA

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-122.04000	366.0613	1.000	-1192.35352	948.2735164
3	1	133.92333	366.0613	.999	-936.3901831	1204.236850
4	1	-53.503333	366.0613	1.000	-1123.81685	1016.810183
5	1	510.18000	366.0613	.600	-560.1335164	1580.493516
6	1	-43.716667	366.0613	1.000	-1114.03018	1026.596850
7	1	792.19333	366.0613	.200	-278.1201831	1862.506850
8	1	-246.99000	366.0613	.973	-1317.30352	823.3235164

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### MG\_VIEJA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
8	3	811.9833	
2	3	936.9333	
4	3	1005.470	
6	3	1015.257	
1	3	1058.973	
3	3	1192.897	
5	3	1569.153	
7	3	1851.167	
Sig.		.153	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Magnesio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: MG\_NUEVA

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-110.58333	512.1829	1.000	-1608.13677	1386.970101
3	1	153.32667	512.1829	1.000	-1344.22677	1650.880101
4	1	975.80333	512.1829	.302	-521.7501012	2473.356768
5	1	-7.8333333	512.1829	1.000	-1505.38677	1489.720101
6	1	829.64667	512.1829	.455	-667.9067678	2327.200101
7	1	353.33667	512.1829	.970	-1144.21677	1850.890101
8	1	1362.4333	512.1829	.083	-135.1201012	2859.986768

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### MG\_NUEVA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
2	3	911.0933	
5	3	1013.843	
1	3	1021.677	
3	3	1175.003	
7	3	1375.013	
6	3	1851.323	
4	3	1997.480	
8	3	2384.110	
Sig.		.143	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Manganeso en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: MN\_VIEJA

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	2.1600000	12.36359	1.000	-33.9894700	38.3094700
3	1	9.5066667	12.36359	.950	-26.6428033	45.6561366
4	1	.6933333	12.36359	1.000	-35.4561366	36.8428033
5	1	36.7066667*	12.36359	.046	.5571967	72.8561366
6	1	12.6700000	12.36359	.838	-23.4794700	48.8194700
7	1	13.8433333	12.36359	.781	-22.3061366	49.9928033
8	1	42.2500000*	12.36359	.019	6.1005300	78.3994700

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

# MN\_VIEJA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
1	3	28.28333
4	3	28.97667
2	3	30.44333
3	3	37.79000
6	3	40.95333
7	3	42.12667
5	3	64.99000
8	3	70.53333
Sig.		.054

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Manganeso en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: MN\_NUEVA

Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	16.3066667	23.23672	.967	-51.6343678	84.2477012
3	1	-3.9166667	23.23672	1.000	-71.8577012	64.0243678
4	1	29.9933333	23.23672	.670	-37.9477012	97.9343678
5	1	5.6766667	23.23672	1.000	-62.2643678	73.6177012
6	1	36.7500000	23.23672	.478	-31.1910345	104.6910345
7	1	-7.8266667	23.23672	1.000	-75.7677012	60.1143678
8	1	37.3500000	23.23672	.463	-30.5910345	105.2910345

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### MN\_NUEVA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
7	3	29.58000
3	3	33.49000
1	3	37.40667
5	3	43.08333
2	3	53.71333
4	3	67.40000
6	3	74.15667
8	3	74.75667
Sig.		.543

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Potasio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: K\_VIEJA  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-1455.4133	2972.405	.995	-10146.3239	7235.497251
3	1	2114.1367	2972.405	.965	-6576.77392	10805.04725
4	1	-72.806667	2972.405	1.000	-8763.71725	8618.103917
5	1	-3046.8467	2972.405	.838	-11737.7573	5644.063917
6	1	458.84667	2972.405	1.000	-8232.06392	9149.757251
7	1	7193.9333	2972.405	.128	-1496.97725	15884.84392
8	1	3549.4133	2972.405	.734	-5141.49725	12240.32392

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### K\_VIEJA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
5	3	4209.220	
2	3	5800.653	
4	3	7183.260	
1	3	7256.067	
6	3	7714.913	
3	3	9370.203	
8	3	10805.48	
7	3	14450.00	
Sig.		.052	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

## Potasio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: K\_NUEVA  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-715.91667	10115.41	1.000	-30292.0075	28860.17418
3	1	4935.5033	10115.41	.995	-24640.5875	34511.59418
4	1	8984.4267	10115.41	.906	-20591.6642	38560.51751
5	1	8707.1200	10115.41	.917	-20868.9708	38283.21084
6	1	2698.8267	10115.41	1.000	-26877.2642	32274.91751
7	1	9940.0133	10115.41	.860	-19636.0775	39516.10418
8	1	24255.160	10115.41	.133	-5320.93084	53831.25084

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

# K\_NUEVA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
2	3	10404.82
1	3	11120.73
6	3	13819.56
3	3	16056.24
5	3	19827.85
4	3	20105.16
7	3	21060.75
8	3	35375.89
Sig.		.275

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Sodio en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NA\_VIEJA

Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	87.3100000	813.9688	1.000	-2292.62451	2467.244505
3	1	314.19333	813.9688	.999	-2065.74117	2694.127839
4	1	793.85333	813.9688	.864	-1586.08117	3173.787839
5	1	2480.9267*	813.9688	.039	100.9921612	4860.861172
6	1	181.68667	813.9688	1.000	-2198.24784	2561.621172
7	1	559.52667	813.9688	.970	-1820.40784	2939.461172
8	1	23.5100000	813.9688	1.000	-2356.42451	2403.444505

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### NA\_VIEJA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
1	3	937.3900
8	3	960.9000
2	3	1024.700
6	3	1119.077
3	3	1251.583
7	3	1496.917
4	3	1731.243
5	3	3418.317
Sig.		.106

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Sodio en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: NA\_NUEVA

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-16.850000	1305.714	1.000	-3834.57976	3800.879759
3	1	503.49333	1305.714	.999	-3314.23643	4321.223092
4	1	717.53667	1305.714	.991	-3100.19309	4535.266426
5	1	1932.2967	1305.714	.543	-1885.43309	5750.026426
6	1	2640.0167	1305.714	.252	-1177.71309	6457.746426
7	1	1424.7233	1305.714	.799	-2393.00643	5242.453092
8	1	4098.6267*	1305.714	.033	280.8969076	7916.356426

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### NA\_NUEVA

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
2	3	647.3033
1	3	664.1533
3	3	1167.647
4	3	1381.690
7	3	2088.877
5	3	2596.450
6	3	3304.170
8	3	4762.780
Sig.		.088

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Diámetro de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: DIAM\_VIE

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-.55667	.61038	.895	-2.34134	1.22801
3	1	-1.01000	.61038	.434	-2.79468	.77468
4	1	-1.74333	.61038	.057	-3.52801	4.1342E-02
5	1	-2.15333*	.61038	.015	-3.93801	-.36866
6	1	-.94000	.61038	.504	-2.72468	.84468
7	1	-.50333	.61038	.931	-2.28801	1.28134
8	1	-.85667	.61038	.594	-2.64134	.92801

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

# DIAM\_VIE

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5	3	2.37333	
4	3	2.78333	2.78333
3	3	3.51667	3.51667
6	3	3.58667	3.58667
8	3	3.67000	3.67000
2	3	3.97000	3.97000
7	3	4.02333	4.02333
1	3		4.52667
Sig.		.191	.148

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

**Diámetro de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

# Multiple Comparisons

Dependent Variable: DIAM\_NUE

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-.39333	.30685	.676	-1.29053	.50386
3	1	-.70333	.30685	.160	-1.60053	.19386
4	1	-.56000	.30685	.341	-1.45719	.33719
5	1	-.81333	.30685	.084	-1.71053	8.3861E-02
6	1	-.76333	.30685	.113	-1.66053	.13386
7	1	-1.17667*	.30685	.008	-2.07386	-.27947
8	1	-.98667*	.30685	.028	-1.88386	-8.94721E-02

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

# DIAM\_NUE

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
7	3	1.66000	
8	3	1.85000	1.85000
5	3	2.02333	2.02333
6	3	2.07333	2.07333
3	3	2.13333	2.13333
4	3	2.27667	2.27667
2	3	2.44333	2.44333
1	3		2.83667
Sig.		.242	.079

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Hojas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: HOJA\_VIE  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	1.46667	13.19343	1.000	-37.10914	40.04248
3	1	9.40000	13.19343	.965	-29.17581	47.97581
4	1	8.60000	13.19343	.977	-29.97581	47.17581
5	1	-2.00000	13.19343	1.000	-40.57581	36.57581
6	1	13.00000	13.19343	.859	-25.57581	51.57581
7	1	22.53333	13.19343	.404	-16.04248	61.10914
8	1	34.26667	13.19343	.093	-4.30914	72.84248

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### HOJA\_VIE

#### Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	
5	3	24.73333	
1	3	26.73333	
2	3	28.20000	
4	3	35.33333	
3	3	36.13333	
6	3	39.73333	
7	3	49.26667	
8	3	61.00000	
Sig.		.177	

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Hojas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: HOJA\_NUE  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	.60000	7.00952	1.000	-19.89488	21.09488
3	1	1.86667	7.00952	1.000	-18.62821	22.36155
4	1	1.13333	7.00952	1.000	-19.36155	21.62821
5	1	-9.73333	7.00952	.604	-30.22821	10.76155
6	1	-4.53333	7.00952	.978	-25.02821	15.96155
7	1	-13.26667	7.00952	.308	-33.76155	7.22821
8	1	-7.66667	7.00952	.797	-28.16155	12.82821

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.



#### HOJA\_NUE

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
7	3	14.53333
5	3	18.06667
8	3	20.13333
6	3	23.26667
1	3	27.80000
2	3	28.40000
4	3	28.93333
3	3	29.66667
Sig.		.422

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente: SPSS 12.**

#### Ramas de las plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

#### Multiple Comparisons

Dependent Variable: RAMA\_VIE

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-2.09667	2.41083	.914	-9.14560	4.95227
3	1	-.66333	2.41083	1.000	-7.71227	6.38560
4	1	-1.42667	2.41083	.986	-8.47560	5.62227
5	1	-2.38000	2.41083	.858	-9.42893	4.66893
6	1	.62000	2.41083	1.000	-6.42893	7.66893
7	1	.62000	2.41083	1.000	-6.42893	7.66893
8	1	2.19000	2.41083	.897	-4.85893	9.23893

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

#### RAMA\_VIE

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
5	3	5.00000
2	3	5.28333
4	3	5.95333
3	3	6.71667
1	3	7.38000
6	3	8.00000
7	3	8.00000
8	3	9.57000
Sig.		.572

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

**Fuente: SPSS 12.**

## Ramas de las plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: RAMA\_NUE

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	.40000	1.22429	1.000	-3.17966	3.97966
3	1	1.66667	1.22429	.622	-1.91299	5.24633
4	1	.13333	1.22429	1.000	-3.44633	3.71299
5	1	-.60000	1.22429	.995	-4.17966	2.97966
6	1	.53333	1.22429	.998	-3.04633	4.11299
7	1	-1.00000	1.22429	.934	-4.57966	2.57966
8	1	.13333	1.22429	1.000	-3.44633	3.71299

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### RAMA\_NUE

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
7	3	2.86667
5	3	3.26667
1	3	3.86667
4	3	4.00000
8	3	4.00000
2	3	4.26667
6	3	4.40000
3	3	5.53333
Sig.		.412

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Peso húmedo en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: PESOH\_V

Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-1.03333	.93986	.794	-3.78135	1.71468
3	1	-1.23333	.93986	.655	-3.98135	1.51468
4	1	-1.56667	.93986	.427	-4.31468	1.18135
5	1	-2.20000	.93986	.147	-4.94802	.54802
6	1	-1.13333	.93986	.726	-3.88135	1.61468
7	1	.26667	.93986	1.000	-2.48135	3.01468
8	1	1.83333	.93986	.282	-.91468	4.58135

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

# PESOH\_V

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5	3	.76667	
4	3	1.40000	
3	3	1.73333	1.73333
6	3	1.83333	1.83333
2	3	1.93333	1.93333
1	3	2.96667	2.96667
7	3	3.23333	3.23333
8	3		4.80000
Sig.		.216	.072

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

**Peso húmedo en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.**

## Multiple Comparisons

Dependent Variable: PESOH\_N

Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	1.23333	3.24679	.999	-8.25985	10.72652
3	1	-.10000	3.24679	1.000	-9.59318	9.39318
4	1	3.70000	3.24679	.769	-5.79318	13.19318
5	1	-4.33333	3.24679	.640	-13.82652	5.15985
6	1	-3.90000	3.24679	.729	-13.39318	5.59318
7	1	-3.96667	3.24679	.716	-13.45985	5.52652
8	1	-4.23333	3.24679	.661	-13.72652	5.25985

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

## PESOH\_N

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
5	3	.63333
8	3	.73333
7	3	1.00000
6	3	1.06667
3	3	4.86667
1	3	4.96667
2	3	6.20000
4	3	8.66667
Sig.		.273

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Peso seco en plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: PESOS\_V  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-.8103	.7162	.774	-2.9044	1.2838
3	1	-1.1173	.7162	.492	-3.2114	.9768
4	1	-1.2730	.7162	.366	-3.3671	.8211
5	1	-1.9227	.7162	.079	-4.0168	.1714
6	1	-1.2797	.7162	.361	-3.3738	.8144
7	1	-9.3333E-02	.7162	1.000	-2.1874	2.0008
8	1	1.3963	.7162	.282	-.6978	3.4904

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### PESOS\_V

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05	
		1	2
5	3	.5867	
6	3	1.2297	
4	3	1.2363	
3	3	1.3920	
2	3	1.6990	1.6990
7	3	2.4160	2.4160
1	3	2.5093	2.5093
8	3		3.9057
Sig.		.197	.100

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Peso seco en plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: PESOS\_N  
Dunnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-.2717	.8002	1.000	-2.6114	2.0681
3	1	-.4027	.8002	.994	-2.7424	1.9371
4	1	.4983	.8002	.982	-1.8414	2.8381
5	1	-1.5297	.8002	.299	-3.8694	.8101
6	1	-1.6547	.8002	.234	-3.9944	.6851
7	1	-1.6003	.8002	.261	-3.9401	.7394
8	1	-1.4737	.8002	.333	-3.8134	.8661

a. Dunnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

# PESOS\_N

Tukey HSD<sup>a</sup>

TTO	N	Subset for alpha = .05
		1
6	3	.3337
7	3	.3880
5	3	.4587
8	3	.5147
3	3	1.5857
2	3	1.7167
1	3	1.9883
4	3	2.4867
Sig.		.195

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

## Capacidad de intercambio catiónico.

### Multiple Comparisons

Dependent Variable: CIC

Dunnnett t (2-sided)<sup>a</sup>

(I) TTO	(J) TTO	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
2	1	-1.33333	2.11818	.981	-7.52659	4.85992
3	1	4.06667	2.11818	.296	-2.12659	10.25992
4	1	1.86667	2.11818	.909	-4.32659	8.05992
5	1	8.06667*	2.11818	.009	1.87341	14.25992
6	1	13.83333*	2.11818	.000	7.64008	20.02659
7	1	13.73333*	2.11818	.000	7.54008	19.92659
8	1	16.40000*	2.11818	.000	10.20674	22.59326

\*. The mean difference is significant at the .05 level.

a. Dunnnett t-tests treat one group as a control, and compare all other groups against it.

### CIC

Tukey HSD<sup>a</sup>

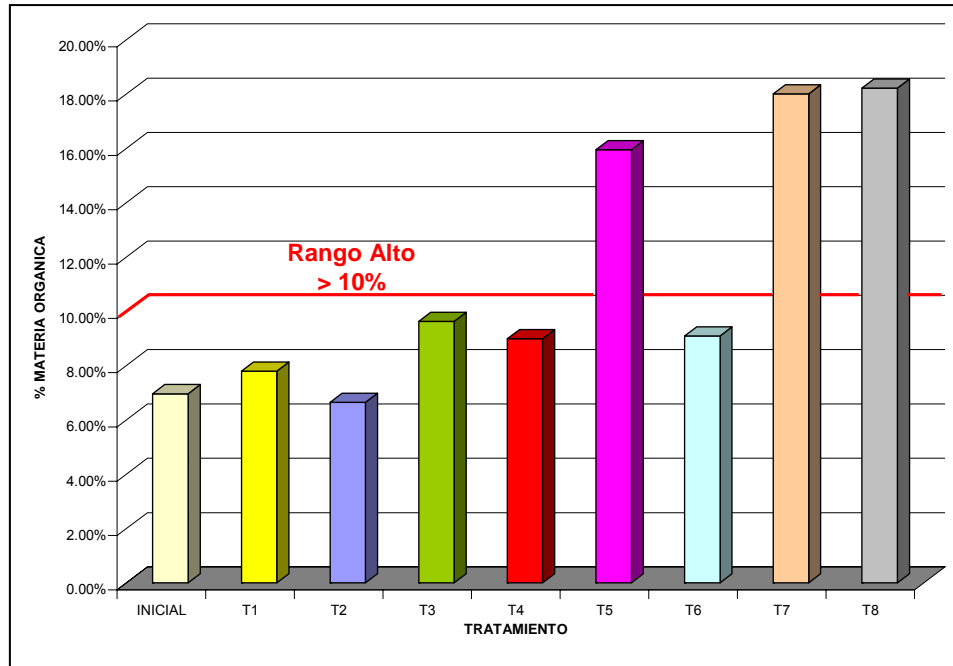
TTO	N	Subset for alpha = .05			
		1	2	3	4
2	3	14.33333			
1	3	15.66667			
4	3	17.53333	17.53333		
3	3	19.73333	19.73333		
5	3		23.73333	23.73333	
7	3			29.40000	29.40000
6	3			29.50000	29.50000
8	3				32.06667
Sig.		.243	.131	.185	.901

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 3.000.

Fuente: SPSS 12.

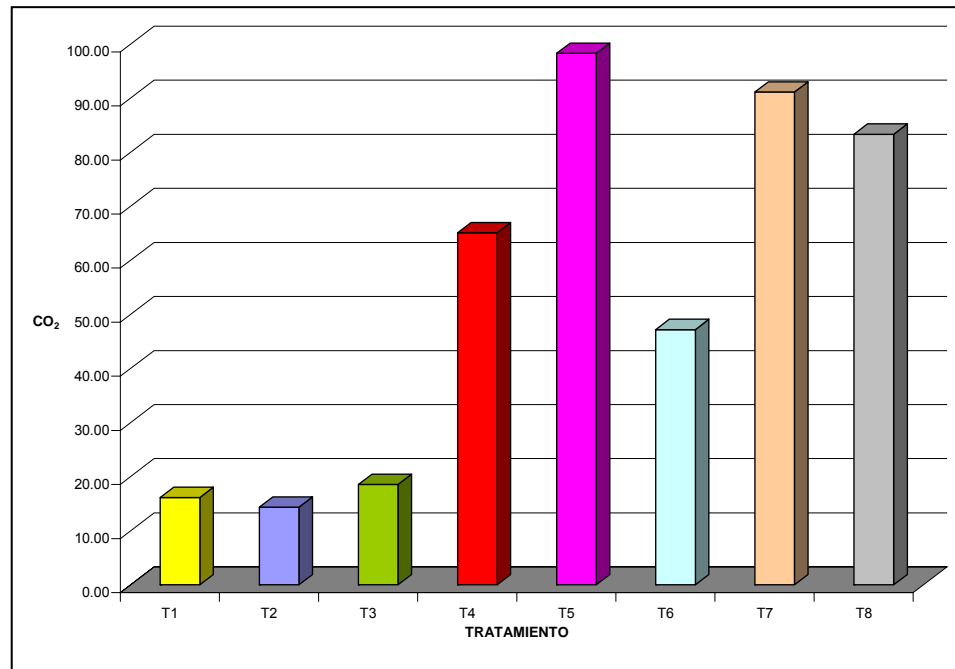
### ANEXO E. Materia orgánica total.



Fuente: las autoras. 2006.

$$\% MO = \% C * \frac{1}{0.58}$$

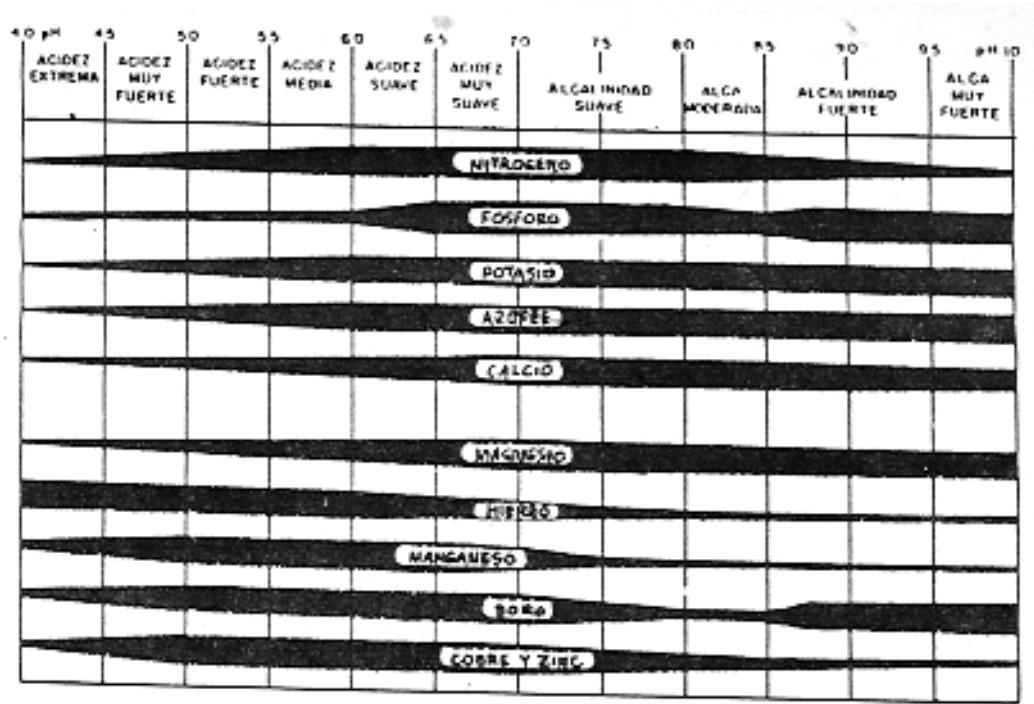
## ANEXO F. Metabolismo total.



**Fuente:** las autoras. 2006.

$$CO_2 = (HCl_b - HCl_m) * N * 22$$

**ANEXO G. Tendencia general existente entre el pH del suelo y la asimilación de los nutrientes por las plantas.**



**Fuente:** Guerrero M Ramiro. La acidez del suelo – su naturaleza, sus implicaciones y su manejo. En : Fundamentos para la interpretación de análisis de suelos, plantas y aguas para riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1991. p. 147.



**ANEXO H. Elementos esenciales para la mayoría de las plantas superiores y concentraciones internas que se consideran adecuadas.**

ELEMENTO	SIMBOLO QUIMICO	FORMA DISPONIBLE AL VEGETAL	CONCENTRACION EN TEJIDO SECO	
			mg/kg	%
COBRE	Cu	$\text{Cu}^+$ , $\text{Cu}^{2+}$	6	0.0006
CINC	Zn	$\text{Zn}^{2+}$	20	0.0020
MANGANESO	Mn	$\text{Mn}^{2+}$	50	0.0050
BORO	B	$\text{H}_3\text{BO}_3$	20	0.0020
HIERRO	Fe	$\text{Fe}^{3+}$ , $\text{Fe}^{2+}$	100	0.0100
AZUFRE	S	$\text{SO}_4^{2-}$	1,000	0.1000
FOSFORO	P	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , $\text{HPO}_4^{2-}$	2,000	0.2000
MAGNESIO	Mg	$\text{Mg}^{2+}$	2,000	0.2000
CALCIO	Ca	$\text{Ca}^{2+}$	5,000	0.5000
POTASIO	K	$\text{K}^+$	10,000	1.0000

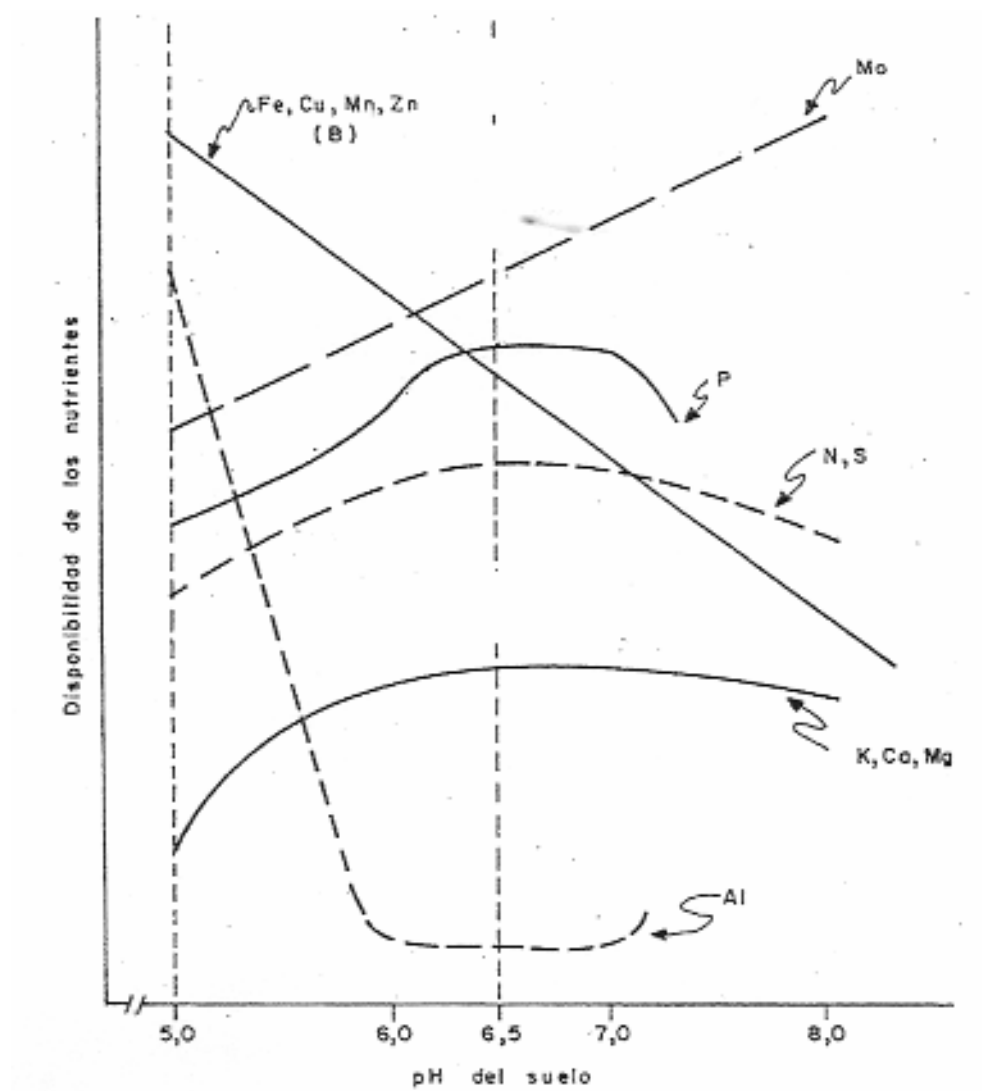
**Fuente:** SALISBURY, Frank B. Fisiología vegetal. 1994. p. 132

### ANEXO I. Registros de temperatura.

Fecha	Tº max acum	Tº max act	Tº min acum	Tº min act
03-Ago	28,0	27,0	21,0	28,0
04-Ago	42,0	31,0	12,0	30,0
05-Ago	39,0	20,0	11,0	22,0
06-Ago	37,0	26,0	12,0	36,0
08-Ago	45,0	31,5	10,0	32,0
10-Ago	35,0	14,0	11,5	16,5
12-Ago	30,3	18,0	11,3	22,0
16-Ago	34,0	22,0	24,0	11,0
17-Ago	30,0	30,0	12,0	31,0
19-Ago	30,0	15,0	9,0	16,0
20-Ago	30,0	16,3	9,0	17,0
22-Ago	33,0	11,0	9,0	18,0
24-Ago	30,0	21,0	10,0	21,0
26-Ago	32,0	19,5	10,0	24,0
29-Ago	31,3	16,7	11,0	22,0
30-Ago	32,0	19,5	13,5	23,0
31-Ago	13,0	17,8	12,7	17,0
02-Sep	28,0	18,0	10,3	19,5
05-Sep	19,7	17,7	20,5	21,3
07-Sep	37,0	12,0	11,0	18,0
08-Sep	29,0	16,0	11,0	7,0
09-Sep	30,5	24,5	16,5	25,0
12-Sep	32,0	19,0	10,5	20,0
14-Sep	31,0	24,0	9,0	25,0
16-Sep	20,7	13,7	15,0	15,4
19-Sep	20,0	14,0	13,0	18,0
20-Sep	24,0	11,0	11,0	16,0
21-Sep	31,0	12,0	9,0	13,0
22-Sep	27,0	31,0	27,0	11,0
23-Sep	28,0	18,0	11,0	18,0
24-Sep	25,0	22,0	10,0	23,0
26-Sep	27,0	14,0	8,0	15,0
28-Sep	30,0	30,0	29,0	11,0
30-Sep	34,0	20,0	10,0	21,0

**Fuente:** las autoras. 2006

**ANEXO J. Efecto del pH del suelo sobre la disponibilidad de los nutrientes esenciales para las plantas.**



**Fuente:** Solórzano P. Pedro Raúl. Fertilidad de suelos, su manejo en la producción agrícola. p. 41.

**ANEXO K. Factores fundamentales de asimilabilidad, acciones y efectos.**

<b>Factor</b>	<b>Acción</b>	<b>Efectos</b>
pH	Aumento del pH	Reduce la solubilidad Al, Cu, Co Zb Reduce la absorción Fe, Mn, B Aumenta la solubilidad Mo Aumenta la absorción.
Materia orgánica	Aumenta la disponibilidad	Quelatos frecuentes con metales muy útiles. Formación de compuestos solubles. Poder de formación de complejos: Cu<Zn>Mn
Textura del suelo	Tamaño de las partículas	A más elementos gruesos, menor cantidad de Cu, Co, Mn y mayor de Zn.
Microorganismos	Actividad microbiana	Oxidación de elementos poco asimilables. Reducción de la forma oxidada de elementos en un medio reductor. Liberación de iones durante la descomposición de la materia orgánica. Inmovilización de iones al incorporarse a los tejidos. Transformaciones indirectas al actuar sobre el pH. Liberación, oxidación y reducción de Fe y Mn. Carencias de Zn por competencia de microorganismos.
Clima	Acción sobre la actividad microbiana. Acción sobre la actividad química. Acción física.	La temperatura condiciona la actividad microbiana. A temperaturas altas les corresponde una asimilabilidad elevada. La acción microbiana modifica las condiciones de oxidación reducción, especialmente del Mn. El contenido de materia orgánica también se ve modificado estacionalmente. Las bajas temperaturas provocan heladas y endurecimiento del suelo, que paraliza casi toda acción radicular si el hielo profundiza.

Interacciones entre elementos	<p>Acción provocada: Deficiencias</p> <p>Acción provocada: Aumento de la asimilabilidad</p>	<p>P sobre Fe Mn, Zn, Cu, Mo, algo sobre Fe P sobre Zn N sobre Cu P sobre Cu Zn sobre Cu N sobre B Ca sobre B</p> <p>Cu sobre B si el primero es deficiente S sobre Mo Fe sobre Mo Mn sobre Mo Cu sobre Mo K sobre Fe Zn-Fe intermedios N-Zn intermedios P sobre B K-B intermedios Mn sobre B P sobre Mo</p>
Acciones provocadas por los vegetales	<p>Flujo convectivo en el suelo</p> <p>Flujo difusivo en el suelo</p> <p>Absorción no metabólica o transporte pasivo B, Zn (con reservas)</p> <p>Absorción metabólica o transporte activo Fe, Mn, Mo</p>	<p>Succión. Transferencia de iones al moverse el agua por succión de las raíces. A más transpiración, más succión. A más concentración iónica, más convección.</p> <p>Movimiento de iones desde las zonas de más concentración a la de menos concentración. Formación de quelatos y movilización de iones.</p> <p>Difusión y flujo de masas por contacto con la solución externa en el espacio libre. Absorción no metabólica.</p> <p>Control metabólico de la absorción. Influyen factores como la temperatura, la falta de oxígeno, etc.</p>

**Fuente:** Seoáñez Clavo Mariano. Los elementos del suelo. Contaminación del suelo. p. 33-35.

**ANEXO L. Resultados de materia orgánica durante la investigación.**

<b>Muestra</b>	<b>% M.O. a los 68 días</b>	<b>% M.O. a los 105 días</b>	<b>% M.O. total</b>
1	6.30%	7.86%	7.08%
2	7.31%	7.05%	7.18%
3	6.97%	11.29%	9.13%
4	6.13%	7.46%	6.79%
5	6.13%	7.86%	6.99%
6	5.29%	7.05%	6.17%
7	11.34%	11.29%	11.31%
8	10.33%	12.49%	11.41%
9	9.66%	15.52%	12.59%
10	7.31%	10.88%	9.09%
11	7.47%	11.08%	9.28%
12	5.96%	11.29%	8.62%
13	10.66%	19.95%	15.31%
14	9.32%	19.35%	14.33%
15	12.68%	23.78%	18.23%
16	4.95%	7.25%	6.10%
17	3.61%	9.07%	6.34%
18	3.61%	6.25%	4.93%
19	12.68%	19.35%	16.01%
20	12.68%	19.95%	16.31%
21	19.23%	24.18%	21.71%
22	15.87%	16.12%	16.00%
23	15.70%	15.92%	15.81%
24	12.68%	33.05%	22.86%

**Fuente:** las autoras. 2006.

#### ANEXO M. Resultados de carbono orgánico.

Muestra	% C a los 68 días	% C a los 105 días	% C total
1	3.65%	4.56%	4.11%
2	4.24%	4.09%	4.16%
3	4.04%	6.55%	5.29%
4	3.56%	4.32%	3.94%
5	3.56%	4.56%	4.06%
6	3.07%	4.09%	3.58%
7	6.57%	6.55%	6.56%
8	5.99%	7.25%	6.62%
9	5.60%	9.00%	7.30%
10	4.24%	6.31%	5.27%
11	4.33%	6.43%	5.38%
12	3.46%	6.55%	5.00%
13	6.19%	11.57%	8.88%
14	5.41%	11.22%	8.31%
15	7.35%	13.79%	10.57%
16	2.87%	4.21%	3.54%
17	2.09%	5.26%	3.68%
18	2.09%	3.62%	2.86%
19	7.35%	11.22%	9.29%
20	7.35%	11.57%	9.46%
21	11.15%	14.03%	12.59%
22	9.20%	9.35%	9.28%
23	9.11%	9.23%	9.17%
24	7.35%	19.17%	13.26%

Fuente: las autoras. 2006.

# **ANEXO N. Resultados de nitrógeno total.**

<b>Muestra</b>	<b>% N total a los 68 días.</b>	<b>% N total a los 105 días.</b>	<b>% N total</b>
1	0.31%	0.39%	0.35%
2	0.37%	0.35%	0.36%
3	0.35%	0.56%	0.46%
4	0.31%	0.37%	0.34%
5	0.31%	0.39%	0.35%
6	0.26%	0.35%	0.31%
7	0.57%	0.56%	0.57%
8	0.52%	0.62%	0.57%
9	0.48%	0.78%	0.63%
10	0.37%	0.54%	0.45%
11	0.37%	0.55%	0.46%
12	0.30%	0.56%	0.43%
13	0.53%	1.00%	0.77%
14	0.47%	0.97%	0.72%
15	0.63%	1.19%	0.91%
16	0.25%	0.36%	0.31%
17	0.18%	0.45%	0.32%
18	0.18%	0.31%	0.25%
19	0.63%	0.97%	0.80%
20	0.63%	1.00%	0.82%
21	0.96%	1.21%	1.09%
22	0.79%	0.81%	0.80%
23	0.79%	0.80%	0.79%
24	0.63%	1.65%	1.14%

**Fuente:** las autoras. 2006.



#### ANEXO O. Relación Carbono / Nitrógeno.

Muestra	C/N a los 68 días	C/N a los 105 días	C/N total
1	11.60	11.60	11.60
2	11.60	11.60	11.60
3	11.60	11.60	11.60
4	11.60	11.60	11.60
5	11.60	11.60	11.60
6	11.60	11.60	11.60
7	11.60	11.60	11.60
8	11.60	11.60	11.60
9	11.60	11.60	11.60
10	11.60	11.60	11.60
11	11.60	11.60	11.60
12	11.60	11.60	11.60
13	11.60	11.60	11.60
14	11.60	11.60	11.60
15	11.60	11.60	11.60
16	11.60	11.60	11.60
17	11.60	11.60	11.60
18	11.60	11.60	11.60
19	11.60	11.60	11.60
20	11.60	11.60	11.60
21	11.60	11.60	11.60
22	11.60	11.60	11.60
23	11.60	11.60	11.60
24	11.60	11.60	11.60

**Fuente:** las autoras. 2006.

**ANEXO P. Datos de metabolismo.**

<b>MUESTRA</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg) 58 días</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg) 72 días</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg) 91 días</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg) 103 días</b>	<b>CO<sub>2</sub> (mg) final</b>
1	2.20	10.56	4.73	12.82	7.576
2	8.69	9.46	4.29	15.13	9.391
3	7.48	5.06	3.30	11.28	6.779
4	8.03	8.25	3.37	14.36	8.500
5	15.07	15.73	3.63	3.36	9.446
6	14.30	5.50	2.97	9.52	8.071
7	15.62	13.53	20.02	22.06	17.806
8	9.24	4.62	8.25	4.68	6.696
9	22.88	9.46	2.53	0.72	8.896
10	18.92	9.46	7.15	11.83	11.839
11	49.50	7.48	14.85	9.85	20.419
12	77.00	17.93	59.73	55.61	52.566
13	113.30	22.55	34.76	15.35	46.489
14	149.27	60.39	27.94	67.16	76.189
15	130.90	99.88	34.65	30.20	73.906
16	54.45	10.56	23.43	3.91	23.086
17	125.51	44.44	21.23	8.86	50.009
18	84.48	61.05	20.57	0.06	41.539
19	146.85	104.50	112.09	95.65	114.771
20	61.93	38.50	30.03	30.64	40.274
21	82.61	41.14	65.01	41.20	57.489
22	88.00	40.26	77.88	23.16	57.324
23	69.08	72.60	91.41	39.44	68.131
24	83.16	64.57	54.67	28.22	57.654

**Fuente:** las autoras 2006

**ANEXO Q. Tabla resumen de los datos del análisis foliar.**

		Calcio	Magnesio	Sodio	Potasio	Hierro	Cobre	Manganeso
Tratamiento 1	Nueva	4,037.03	1,021.68	664.15	9,663.73	161.69	4.83	37.41
	Vieja	3,639.72	1,058.97	937.39	7,004.54	105.90	3.89	28.28
Tratamiento 2	Nueva	3,726.85	911.09	647.31	10,404.81	144.53	3.79	53.71
	Vieja	4,467.72	936.93	1,024.70	5,800.65	218.07	4.37	30.44
Tratamiento 3	Nueva	5,155.30	1,175.00	1,167.65	13,529.98	294.97	11.19	33.49
	Vieja	3,654.32	1,192.90	1,251.58	7,196.35	157.23	7.49	37.79
Tratamiento 4	Nueva	7,885.94	1,864.15	1,381.69	20,105.16	1,258.23	9.66	67.40
	Vieja	3,221.90	1,005.47	1,731.24	7,183.26	373.38	14.44	28.98
Tratamiento 5	Nueva	7,095.94	2,129.17	2,596.45	19,827.85	321.56	12.36	43.08
	Vieja	6,887.88	1,569.15	3,418.32	1,237.79	477.33	21.61	64.99
Tratamiento 6	Nueva	9,340.42	1,851.32	3,304.17	13,819.56	761.04	18.48	74.16
	Vieja	3,270.93	1,003.93	1,119.08	7,714.91	164.18	3.34	40.95
Tratamiento 7	Nueva	3,819.28	1,375.01	2,088.88	21,060.75	359.47	14.44	29.58
	Vieja	4,914.17	1,851.17	1,496.92	14,450.00	289.82	6.58	42.13
Tratamiento 8	Nueva	8,814.79	2,189.48	4,762.78	35,375.89	784.78	28.25	74.75
	Vieja	5,126.40	1,111.65	960.90	10,855.04	261.65	11.46	70.53

**Fuente:** las autoras 2006.

**ANEXO R. Resultados de peso seco en las plantas.**

Plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos		Plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos	
Muestra	Peso (gr)	Muestra	Peso (gr)
1	1.128	1	1.563
2	2.053	2	2.805
3	4.347	3	1.597
4	1.190	4	2.570
5	1.092	5	0.988
6	2.815	6	1.592
7	0.645	7	3.330
8	1.365	8	1.062
9	2.166	9	0.365
10	1.603	10	0.347
11	0.836	11	2.847
12	1.270	12	4.266
13	0.525	13	0.389
14	0.420	14	0.462
15	0.815	15	0.525
16	1.190	16	0.350
17	1.320	17	0.365
18	1.179	18	0.286
19	3.245	19	0.410
20	2.209	20	0.388
21	1.794	21	0.366
22	2.976	22	0.135
23	3.670	23	1.006
24	5.071	24	0.403

**Fuente:** las autoras. 2006.

**ANEXO S. Resultados de peso húmedo en las plantas.**

Plantas transplantadas al inicio de la aplicación de los tratamientos		Plantas transplantadas después de 38 días de la aplicación de los tratamientos	
Muestra	Peso (gr)	Muestra	Peso (gr)
1	1.40	1	4.00
2	2.00	2	8.50
3	5.50	3	2.40
4	2.50	4	8.00
5	1.20	5	2.60
6	2.10	6	8.00
7	0.90	7	12.90
8	1.80	8	1.20
9	2.50	9	0.50
10	1.90	10	0.60
11	1.10	11	9.80
12	1.20	12	15.60
13	0.60	13	0.50
14	0.70	14	0.60
15	1.00	15	0.80
16	1.40	16	0.70
17	1.70	17	1.90
18	2.40	18	0.60
19	5.00	19	1.70
20	2.50	20	1.00
21	2.20	21	0.30
22	3.80	22	0.80
23	4.30	23	0.70
24	6.30	24	0.70

**Fuente:** las autoras. 2006.

### ANEXO T. Resultados de densidad aparente.

Muestra	Masa terrón seco (g)	Masa terrón seco con parafina (g)	Vol. seco + parafina (cm <sup>3</sup> )	Peso parafina (g)	Vol. Parafina (cm <sup>3</sup> )	Volumen terrón (cm <sup>3</sup> )	Da g/cm <sup>3</sup>
Inicial	1,208	1,774	2	0,566	0,629	1,371	0,881
1	2,263	2,961	2,5	0,698	0,776	1,724	1,312
2	3,151	3,951	3	0,800	0,888	2,112	1,492
3	1,308	1,734	1,5	0,426	0,473	1,027	1,274
4	1,888	2,705	2	0,818	0,909	1,091	1,729
5	1,266	1,745	1,5	0,479	0,532	0,968	1,308
6	3,206	4,113	3	0,907	1,008	1,992	1,609
7	1,659	2,108	2	0,449	0,499	1,501	1,105
8	1,297	1,749	1	0,452	0,502	0,498	2,604
9	2,591	3,444	2	0,853	0,948	1,052	2,463
10	2,391	3,766	3	1,375	1,527	1,473	1,624
11	2,267	4,450	4	2,183	2,426	1,574	1,440
12	2,348	2,954	2	0,606	0,673	1,327	1,769
13	2,506	4,077	5	1,571	1,745	3,255	0,770
14	2,887	4,589	5	1,702	1,891	3,109	0,929
15	1,666	2,709	3	1,043	1,159	1,841	0,905
16	3,590	5,060	4	1,470	1,633	2,367	1,517
17	1,981	2,918	2	0,937	1,041	0,959	2,065
18	2,174	3,572	3	1,398	1,553	1,447	1,503
19	1,655	2,711	2	1,056	1,173	0,827	2,001
20	1,477	2,514	3	1,037	1,152	1,848	0,799
21	2,960	4,794	5	1,834	2,037	2,963	0,999
22	1,011	2,363	4	1,352	1,502	2,498	0,405
23	1,936	3,636	4	1,700	1,889	2,111	0,917
24	1,850	3,375	3,5	1,525	1,694	1,806	1,024

**Fuente:** las autoras. 2006.

### ANEXO U. Resultados de densidad real.

Muestra	Masa picnómetro vacío (g)	Masa picnómetro con suelo (g)	Volumen (cm <sup>3</sup> )	Masa picnómetro con suelo + agua (g)	Masa picnómetro con agua (g)	Dr (g/cm <sup>3</sup> )
1	20,228	23,175	10,000	31,928	30,228	2,364
2	20,114	23,117	10,000	31,791	30,114	2,265
3	20,112	23,234	10,000	31,881	30,112	2,307
4	20,721	23,710	10,000	32,269	30,721	2,074
5	20,051	23,033	10,000	31,644	30,051	2,147
6	20,591	23,567	10,000	32,131	30,591	2,073
7	20,078	23,063	10,000	31,572	30,078	2,002
8	20,228	23,143	10,000	31,777	30,228	2,134
9	20,114	23,232	10,000	31,582	30,114	1,890
10	19,084	22,009	10,000	30,775	29,084	2,371
11	20,721	23,678	10,000	32,146	30,721	1,931
12	20,051	23,137	10,000	31,674	30,051	2,108
13	20,164	23,173	10,000	31,783	30,164	2,165
14	20,078	23,120	10,000	31,506	30,078	1,884
15	20,228	23,143	10,000	31,855	30,228	2,264
16	20,297	23,299	10,000	31,860	30,297	2,087
17	19,084	22,069	10,000	30,693	29,084	2,169
18	20,721	23,678	10,000	32,094	30,721	1,867
19	20,112	23,102	10,000	31,813	30,112	2,319
20	20,164	23,196	10,000	31,578	30,164	1,874
21	20,078	23,120	10,000	31,453	30,078	1,825
22	20,591	23,590	10,000	32,063	30,591	1,964
23	20,297	23,351	10,000	31,740	30,297	1,896
24	19,084	22,069	10,000	30,666	29,084	2,127

**Fuente:** las autoras. 2006.