



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y MADUREZ DE CUATRO BIOABONOS  
ORGÁNICOS Y SU VALORACIÓN AGRONÓMICA SOBRE UN  
CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO (*Zea mays L.*)**

**MARIA FERNANDA MEDINA VIANA**

**Trabajo de grado presentado como requisito previo para optar el título de Química**

**Directora:**

**Mg ISABEL BRAVO REALPE  
QUÍMICA**

**Asesor:**

**Mg EFRÉN GIRALDO RINCÓN  
QUÍMICO**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
POPAYÁN  
2004**

---

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y MADUREZ DE CUATRO BIOABONOS  
ORGÁNICOS Y SU VALORACIÓN AGRONÓMICA SOBRE UN  
CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO (*Zea mays L.*)**

**MARIA FERNANDA MEDINA VIANA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
POPAYÁN  
2004**

## RESUMEN

Los abonos comportados son una mezcla de productos orgánicos y algunas sales permitidas, debidamente combinados que mezclados con agua fresca y libre de sustancias contaminantes, se convierten en un biofertilizante o fungicida de fácil asimilación para el suelo y las plantas. Estas mezclas generan procesos de multiplicación de microorganismos benéficos que ayudan a sintetizar o transformar los nutrientes, haciéndolos asimilables a la planta y al suelo sin dejar residuos tóxicos en el sistema.

Para poder obtener buenos resultados en un cultivo es importante analizar de antemano las condiciones en las que se encuentra el suelo, escoger un fertilizante adecuado y mantener un control desde el inicio del crecimiento de las plantas hasta el momento de la cosecha. Esto facilita demostrar si la metodología aplicada en análisis anteriores es la indicada y si las recomendaciones posteriores son las más adecuadas.

Este trabajo de investigación se enfoca en la realización de un control de calidad a cuatro abonos orgánicos adquiridos tanto en el Departamento del Valle como en el Departamento del Cauca, hacer un previo estudio físico y químico de las condiciones de diferentes tipos de suelos obtenidos de la Finca "AMARANTO", ubicada en la vereda LA AURELIA, en el municipio de Cajibío, Departamento del Cauca, en donde se seleccionará uno de los suelos para realizar un cultivo de Maíz, con el objeto de hacer la evaluación agronómica de los abonos analizados y evaluar a nivel físico y químico el estado final del suelo, después de la cosecha.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	4
2. OBJETIVOS.....	6
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	6
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
3. ANTECEDENTES.....	7
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	10
5. JUSTIFICACIÓN.....	12
6. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	16
6.1. FACTORES QUE AFECTAN LA CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO .....	16
6.2. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES PARA LAS PLANTAS.....	17
6.3. MOVIMIENTO DE NUTRIENTES HACIA LA SUPERFICIE DE LA RAÍZ.....	17

<b>6.4. FACTORES QUE AFECTAN LA HABILIDAD DE LAS PLANTAS PARA ABSORBER NUTRIENTES.....</b>	<b>18</b>
<b>6.4.1. CONCENTRACIÓN DE OXIGENO EN LA ATMÓSFERA DEL SUELO.....</b>	<b>18</b>
<b>6.4.2. TEMPERATURA DEL SUELO.....</b>	<b>18</b>
<b>6.4.3. REACCIONES ANTAGÓNICAS QUE AFECTAN LA TOMA DE NUTRIENTES.....</b>	<b>19</b>
<b>6.4.4. SUBSTANCIAS TOXICAS.....</b>	<b>19</b>
<b>6.5. ESTUDIO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO.....</b>	<b>19</b>
<b>6.5.1. SUBSTANCIAS NO HÚMICAS.....</b>	<b>20</b>
<b>6.5.2. SUBSTANCIAS HÚMICAS.....</b>	<b>21</b>
<b>6.5.2.1. PROPIEDADES DE LAS SUBSTANCIAS HUMITAS.....</b>	<b>21</b>
<b>6.6. PROCESO DE COMPOSTAJE.....</b>	<b>23</b>
<b>6.7. COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE SUELOS CON ABONOS ORGÁNICOS.....</b>	<b>25</b>
<b>6.7.1. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE EL NITRÓGENO DEL SUELO.....</b>	<b>25</b>
<b>6.7.2. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE EL FÓSFORO DEL SUELO.....</b>	<b>26</b>
<b>6.7.3. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE EL POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO DEL SUELO.....</b>	<b>27</b>

<b>6.7.4. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE LOS ELEMENTOS MENORES DEL SUELO.....</b>	<b>27</b>
<b>6.7.5. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE LAS SALES DEL SUELO.....</b>	<b>28</b>
<b>6.8. ABONOS ORGÁNICOS.....</b>	<b>28</b>
<b>6.8.1. LOMBRICOMPOST.....</b>	<b>29</b>
<b>6.8.2. GALLINAZA.....</b>	<b>29</b>
<b>6.8.3. BOCASHI.....</b>	<b>30</b>
<b>6.9. APLICACIONES DE ABONOS AL SUELO.....</b>	<b>30</b>
<b>6.10. MANEJO DEL HIBRIDO DE MAIZ FUNK´S G-5423, “EL COLORAO”.....</b>	<b>31</b>
<b>6.10.1. DEFINICIÓN.....</b>	<b>31</b>
<b>6.10.2. FERTILIZACIÓN.....</b>	<b>32</b>
<b>6.10.3. CONTROL DEL CULTIVO DE MAIZ FUNK´S G – 5423.....</b>	<b>33</b>
<b>6.10.3.1.CONTROL DE INSECTOS Y PLAGAS .....</b>	<b>33</b>

6.10.3.2. CONTROL DE ENFERMEDADES.....	34
6.10.4. USOS Y MERCADOS DE “MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO FUNK´S G-5423 - EL COLORAO” .....	34
7. METODOLOGÍA.....	35
7.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	35
7.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ABONOS ORGÁNICOS.....	35
7.2.1. ANÁLISIS FÍSICOS.....	36
7.2.1.1. HUMEDAD.....	36
7.2.1.2. DENSIDAD.....	36
7.2.1.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	36
7.2.1.4. PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE AGUA.....	36
7.2.2. ANÁLISIS QUÍMICOS.....	37
7.2.2.1. pH.....	37

7.2.22. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR CALCINACIÓN.....	37
7.2.2.4. DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA.....	37
7.2.2.5. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO POR EL MÉTODO KJELDAHL .....	38
7.2.2.6. DETERMINACION DE LA RELACIÓN C/N.....	39
7.2.2.7. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO .....	39
7.2.2.7.1. CONTENIDO DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO, POTASIO TOTALES.....	39
7.2.2.8. DETERMINACION DE FOSFORO Y AZUFRE .....	40
7.2.2.8.1. FOSFORO TOTAL.....	40
7.2.2.8.2. AZUFRE .....	40
7.2.2.8.3. DETERMINACIÓN DE HIERRO, MANGANESO, COBRE Y ZINC.....	41
7.2.2.9. CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN HÚMICA EN LOS BIOABONOS.....	41



7.3.EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS ABONOS SELECCIONADOS .....	42
7.3.1. OBTENCIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO A ANALIZAR.....	42
7.3.2. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO.....	42
7.3.3. DETERMINACION FISICA.....	43
7.3.3.1.HUMEDAD.....	43
7.3.3.2. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL .....	44
7.3.3.3. DETERMINACIÓN DE TEXTURA .....	44
7.3.4. DETERMINACION QUIMICA.....	45
7.3.4.1. pH.....	45
7.3.4.2 DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA.....	45
7.3.4.3. DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO POR EL MÉTODO KJELDAHL.....	45
7.3.4.4. RELACIÓN C/N.....	45

7.3.4.5. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO .....	46
7.3.4.5.1. BASES DE CAMBIO .....	46
7.3.4.6. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO.....	47
7.3.4.7. DETERMINACIÓN DE AZUFRE .....	47
7.3.4.8. . DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS MENORES (HIERRO, MANGANESO, COBRE Y ZINC).....	47
7.4. ELECCIÓN DEL ÁREA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO “El Colorao” .....	47
7.4.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO SELECCIONADO.....	48
7.4.2. DISEÑO PARA LA SIEMBRA DEL MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO “El Colorao” .....	48
7.4.3. SIEMBRA.....	48
7.4.4. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS BIOABONOS FRENTE A UN FERTILIZANTE QUÍMICO Y A UN TESTIGO SOBRE EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ.....	48
7.5. EFECTO DE LOS BIOABONOS SELECCIONADOS SOBRE EL ESTADO FINAL DEL SUELO.....	49

<b>7.6. CORRELACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ABONOS CON LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO Y EL ESTADO FINAL DEL SUELO.....</b>	<b>49</b>
<b>8. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>50</b>
<b>8.1. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ABONOS ORGÁNICOS.....</b>	<b>50</b>
<b>8.1.1. VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS.....</b>	<b>51</b>
<b>8.1.1.1. HUMEDAD.....</b>	<b>51</b>
<b>8.1.1.2. DENSIDAD.....</b>	<b>51</b>
<b>8.1.1.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....</b>	<b>52</b>
<b>8.1.1.4. PORCENTAJE DE SATURACIÓN O CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA.....</b>	<b>52</b>
<b>8.1.2. VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS.....</b>	<b>53</b>
<b>8.1.2.1. pH.....</b>	<b>53</b>
<b>8.1.2.2. PERDIDA POR CALCINACIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>8.1.2.3. MATERIA ORGÁNICA.....</b>	<b>55</b>

8.1.2.4. NITRÓGENO.....	56
8.1.2.5. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.....	57
8.1.2.6. CONTENIDO DE CALCIO, MAGNESIO.....	57
8.1.2.7. POTASIO.....	60
8.1.2.8. SODIO.....	62
8.1.2.9. FÓSFORO .....	63
8.1.2.10. SUMATORIA DEL CONTENIDO DE MACROELEMENTOS.....	64
8.1.2.11. CONTENIDO DE AZUFRE .....	65
8.1.2.12. MICROELEMENTOS.....	66
8.2. CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN HÚMICA EN LOS BIOABONOS.....	70
8.2.1. CONTENIDO DE CARBONO EN CADA UNA DE LAS FRACCIONES.....	71
8.2.1.1. DETERMINACIÓN DEL %CARBONO DEL EXTRACTO HUMITO TOTAL PARA CADA BIOABONO.....	71

8.2.1.2.DETERMINACIÓN DEL %CARBONO DEL EXTRACTO HUMICO TOTAL PARA CADA BIOABONO.....	73
8.2.1.3. DETERMINACIÓN DEL %CARBONO DE LA FRACCIÓN FÚLVICA PARA CADA BIOABONO.....	74
8.2.1.4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE HUMIFICACIÓN ( $H_{R1}$ ).....	74
8.2.1.5. DETERMINACIÓN DEL GRADO DE HUMIFICACIÓN PARA CADA BIOABONO.....	75
8.3. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS ABONOS SELECCIONADOS.....	76
8.3.1. DIAGNOSTICO GENERAL DE LA FINCA “AMARANTO”.....	77
8.3.2. VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS UNIDADES DE MUESTREO.....	78
8.3.2.1. HUMEDAD.....	78
8.3.2.2. DENSIDAD .....	79
8.3.2.3. TEXTURA.....	80
8.3.3. VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS.....	81
8.3.3.1. pH.....	81

<b>8.3.3.2. MATERIA ORGÁNICA.....</b>	<b>82</b>
<b>8.3.3.3. NITRÓGENO.....</b>	<b>83</b>
<b>8.3.3.4. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO.....</b>	<b>85</b>
<b>8.3.3.5. BASES DE CAMBIO.....</b>	<b>85</b>
<b>8.3.3.6. FÓSFORO.....</b>	<b>86</b>
<b>8.3.3.7. AZUFRE.....</b>	<b>87</b>
<b>8.3.3.8. MICROELEMENTOS.....</b>	<b>87</b>
<b>8.4 ELECCIÓN DEL ÁREA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO.....</b>	<b>88</b>
<b>8.4.1. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS TRES BIOABONOS FRENTE A UN FERTILIZANTE QUÍMICO Y A UN TESTIGO SOBRE EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ.....</b>	<b>89</b>
<b>8.4.1.1.DISEÑO DEL TERRENO PARA LA SIEMBRA DEL MAIZ HIBRIDO AMARILLO “El Colorao” .....</b>	<b>90</b>
<b>8.4.1.2. EVALUACION DE LAS DIFERENTES ETAPAS DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE MAIZ HIBRIDO AMARILLO “El Colorao” EN CADA TRATAMIENTO.....</b>	<b>91</b>
<b>8.4.1.2.1. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE GERMINACION DE LAS</b>	

SEMILLAS DE MAÍZ A LOS 12 DÍAS.....	91
8.4.1.2.2. EVALUACION DEL CRECIMIENTO ( DESARROLLO ) DEL CULTIVO DE MAIZ A LOS 28 DÍAS.....	92
8.4.1.2.3. EVALUACION DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS A LOS 59 DIAS .....	94
8.4.1.2.4. EVALUACION EN LA ETAPA DE FLORACION ( ESPIGA ) DEL CULTIVO DE MAIZ.....	96
8.4.1.2.5. EVALUACION DE LA CANTIDAD DE MAZORCAS EN FORMACIÓN EN EL CULTIVO DE MAIZ A LOS 97 DIAS.....	97
8.5.2.6. EVALUACION DE LA CANTIDAD DE MAZORCAS FORMADAS EN EL CULTIVO DE MAIZ A LOS 113 DIAS.....	98
8.4.1.2.7.EVALUACIÓN DE LA PRODUCCION DE MAÍZ HIBRIDO AMARILLO A LOS 133 DIAS.....	99
8.5. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL ESTADO FINAL DEL SUELO.....	106
8.5.1. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL pH DE SUELO DESPUÉS DE LA COSECHA DE MAIZ.....	107
8.5..2. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.....	107
8.5.3. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SUELO.....	108

8.5.4. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN EL SUELO.....	109
8.5.5. EFECTO SOBRE EL CONTENIDO DE LAS BASES DE CAMBIO EN EL SUELO.....	109
8.5.6. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL SUELO.....	111
8.5.7. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE AZUFRE EN EL SUELO.....	111
8.5.8. EFECTO SOBRE EL CONTENIDO DE MICROELEMENTOS EN EL SUELO.....	112
8.6. CORRELACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ABONOS CON LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO “ <i>El Colorao</i> ”.....	112
CONCLUSIONES.....	114
BIBLIOGRAFÍA.....	117
ANEXOS.....	123



## LISTA DE TABLAS

TABLA 1.....	32
TABLA 2.....	33
TABLA 3.....	34
TABLA 4.....	50
TABLA 5.....	52
TABLA 6.....	53
TABLA 7.....	58
TABLA 8.....	60
TABLA 9.....	64
TABLA 10.....	71
TABLA 11.....	77
TABLA 12.....	79
TABLA 13.....	80
TABLA 14.....	81
TABLA 15.....	82
TABLA 16.....	83
TABLA 17.....	84
TABLA 18.....	85
TABLA 19.....	86

TABLA 20.....	88
TABLA 21.....	90
TABLA 22.....	100
TABLA 23.....	102
TABLA 24.....	104
TABLA 25.....	106

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.....	54
FIGURA 2.....	56
FIGURA 3.....	58
FIGURA 4.....	59
FIGURA 5.....	60
FIGURA 6.....	60
FIGURA 7.....	61
FIGURA 8.....	62
FIGURA 9.....	62
FIGURA 10.....	63
FIGURA 11.....	64
FIGURA 12.....	65
FIGURA 13.....	66
FIGURA 14.....	67
FIGURA 15.....	67
FIGURA 16.....	68
FIGURA 17.....	68
FIGURA 18.....	69
FIGURA 19.....	70

FIGURA 20.....	70
FIGURA 21.....	72
FIGURA 22.....	73
FIGURA 23.....	74
FIGURA 24.....	75
FIGURA 25.....	76
FIGURA 26.....	91
FIGURA 27.....	92
FIGURA 28.....	93
FIGURA 29.....	94
FIGURA 30.....	95
FIGURA 31.....	96
FIGURA 32.....	97
FIGURA 33.....	98
FIGURA 34.....	99
FIGURA 35.....	101
FIGURA 36.....	102
FIGURA 37.....	104

## LISTA DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1.....	24
DIAGRAMA 2.....	90

## INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica plantea la posibilidad de garantizar una estabilidad en cuanto a la seguridad alimentaria presente y futura no sólo para la población rural, sino también para la urbana, al ofrecer alimentos de buena calidad y en cantidad suficiente, conservando los recursos naturales. Hoy en día se está generalizando el uso de abonos orgánicos en el país, pero la falta de reglamentación la ha llevado a que no se le de la importancia a los grandes beneficios que trae el trabajar con abonos orgánicos de buena calidad; ya que ellos juegan un papel importante tanto para el cultivo como para el suelo mismo. (33).

En el manejo de cultivos de alto rendimiento, la adecuada nutrición juega un papel primordial. Es muy conocido el acierto de que estos rendimientos altos conllevan a una mayor demanda de nutrientes, en relación cercana al componente cuantitativo; es decir, que duplicar la producción de cosecha exigiría también una doble extracción nutricional. En consecuencia, para la búsqueda de máxima productividad, el manejo de una adecuada y balanceada fertilización resulta necesaria. Su connotación de adecuada, conlleva a la eficacia o la eficiencia, entendiéndose como tal la proporción (%) de nutrimentos asimilados por el cultivo en relación con la cantidad aplicada en el abono como requerimiento. Es decir, cuánto se aplica, cuánto se utiliza y cuánto se pierde. (15)

El mal tratamiento, uso y abuso de los fertilizantes químicos, afectan el desarrollo de las plantas, frutos y causan un gran daño al suelo a tal punto de convertirlo en un suelo infértil. De seguir aplicando fertilizantes sintéticos al suelo, el fósforo disponible sólo alcanzará para unos cuantos años más, los microorganismos del suelo que se desarrollan gracias a la materia orgánica son los que aportan la proteína para la alimentación de la humanidad. Un desbalance en el proceso de humificación en el suelo a causa de una mala aplicación del fertilizante, trae como consecuencia una mala cosecha del alimento deseado.

En el Departamento del Cauca no se efectúa un control de calidad a los múltiples abonos orgánicos que están produciendo y adquiriendo de otros Departamentos, pues las entidades gubernamentales

encargadas de esta labor, hasta ahora están en proceso de tramitar normas que reglamenten tanto la producción como la aplicación de estos materiales. Por este motivo es importante el análisis de estos bioabonos, con el objeto de contribuir a la evaluación de su calidad fisicoquímica y de evaluar su efecto tanto sobre el suelo, como sobre el cultivo mismo, ya que un abono de mala calidad, puede producir efectos negativos sobre el medio ambiente en general. Se pretende por lo tanto hacer un aporte para evitar un desequilibrio ambiental mayor que la que generan los fertilizantes químicos. La agricultura orgánica necesita incorporar elementos de la agricultura moderna, pero conservando los principios básicos de la agricultura sostenible, existe gran preocupación por la seguridad alimentaria, la cual se ve afectada en las comunidades campesinas, situación que se refleja en una disminución drástica en la capacidad de la producción de alimentos de las fincas, creando dependencia de mercados externos para los productos básicos de consumo.

Con base en las consideraciones anteriores, con este trabajo se pretende hacer el análisis físico y químico de cuatro abonos orgánicos, tres de ellos que se están produciendo en la región de Cajibío Departamento del Cauca; y están siendo usados en cantidades apreciables, como son: el abono Bocashi, Gallinaza, Lombricompost, y otro que se está adquiriendo del departamento del Valle del Cauca , (abono Providencia), a precios relativamente altos, con el fin de evaluar su calidad desde el punto de vista físico, químico, como agronómico en un cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*); también comparar su eficiencia frente a un fertilizante químico (10:30:10) comúnmente usado para dicho cultivo y por último, valorar el efecto de estos abonos sobre las propiedades físico químicas del suelo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GENERAL

- \* Evaluar la calidad de cuatro abonos orgánicos adquiridos en los departamentos de Cauca y Valle y valorar agrónomicamente su eficiencia en un cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*); así como sus efectos sobre las propiedades del suelo.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- \* Implementar la Norma Técnica Colombiana ICONTEC, establecida para el control de calidad de rutina de los abonos orgánicos.
- \* Evaluar la calidad a nivel físico y químico de cuatro abonos orgánicos utilizados comúnmente en el departamento del Cauca.
- \* Realizar un previo análisis fisicoquímico del Suelo de la Finca “AMARANTO”; ubicada en el municipio de Cajibío, departamento del Cauca.
- \* Valorar agrónomicamente los cuatro abonos orgánicos frente a un fertilizante químico sobre la producción de un cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*)
- \* Evaluar a nivel físico y químico el estado final del suelo, posterior a la cosecha y los efectos que causan los cuatro abonos orgánicos y el fertilizante químico.
- \* Correlacionar la calidad de los cuatro abonos orgánicos frente al rendimiento en la producción del cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*) y con el estado final del suelo.



### 3. ANTECEDENTES

El uso excesivo de agroquímicos conlleva a que grandes áreas agrícolas estén en proceso de deterioro. La continua demanda de fertilizantes conlleva a los agricultores a buscar sustitutos de alta calidad y menores costos de producción; el reciclaje de los residuos orgánicos de origen animal y vegetal se constituye en una valiosa alternativa para la agricultura, ya que su incorporación al suelo contribuye a enriquecer las características físicas y químicas del recurso.

Por este motivo se han realizado continuos estudios tales como: análisis sobre la relación entre la capacidad de remoción de aluminio en soluciones por tres materiales orgánicos, caupí, gallinaza y compost y los efectos de los mismos materiales sobre propiedades del suelo y sobre el desarrollo de un cultivo de maíz. Los materiales mostraron el siguiente orden en la remoción del aluminio y modificación del pH de las soluciones: gallinaza > compost > caupí. Todos los materiales incrementaron el pH y el P-disponible y disminuyeron el Al-intercambiable en el suelo; este último fue significativamente menor. Los resultados sugieren que la evaluación de la eficacia en la retención de aluminio por un material, antes de aplicarlos al suelo, ayuda a prever, al menos para el corto plazo, la acción de éste sobre las variables aquí estudiadas. (43)

Por otra parte, se sabe que la conversión de ácidos húmicos en ácidos fúlvicos, debido a un alto valor de pH ( $>8.5$ ) causado por encalamiento excesivo, disminuye el grado de humificación y causa problemas al suelo, ya que los ácidos fúlvicos penetran en los intersticios de las láminas de arcillas, extrayendo aluminio de ellas y otros cationes, que pasan a la solución del suelo, produciendo más acidez y empobreciéndolo por pérdida de nutrientes; también causan toxicidad por aluminio, pérdida de la bioestructura, erosión entre otros. (26)

Con el objeto de disminuir la solubilidad del aluminio, se han utilizado correctivos como el encalamiento y la materia orgánica proveniente de distintas fuentes. Se ha formulado que la materia orgánica ejerce un control sobre la actividad del aluminio en la solución del suelo por la

posible combinación de diferentes mecanismos tales como la adsorción sobre su superficie, elevación del pH que genera polimerización y/o precipitación del aluminio, este efecto se atribuye a los ácidos húmicos (AH). Igualmente se sabe que los ácidos fúlvicos (AF) entran fácilmente en los intersticios de la red cristalina de las arcillas movilizando hierro y aluminio, que se vuelven solubles y causan problemas en el suelo, ya que ocasionan acidez y disminución de las bases de cambio.

Por eso, en trabajos experimentales en el laboratorio de Agroquímica; departamento de Química de la Universidad del Cauca; se utiliza materia orgánica proveniente de diferentes materiales y transformada por distintos métodos con el propósito de determinar cual humus presenta las mejores características físicas y químicas que permitan una mayor retención de aluminio. (26).

En los últimos años en el departamento del Cauca se están aplicando en forma indiscriminada al suelo, abonos obtenidos mediante el método de compostaje y/o lombricompostaje de bobinaza y otros residuos agropecuarios; sin embargo, estos abonos se aplican sin tener un proceso de maduración, lo que implica que el grado de humificación de estos abonos es muy bajo; es decir, que la relación AH/AF es menor que 1. ( 5 )

De acuerdo a las consideraciones anteriores, cada vez se están aplicando mayor cantidad de ácidos fúlvicos a los suelos ácidos, y probablemente se está solubilizando el aluminio y bases de cambio que son fácilmente lavadas produciendo más acidez empobreciendo más al suelo. Por lo tanto existen trabajos de investigación en la Universidad del Cauca en el área de Agroquímica, que estudian el grado de humificación de bioabonos obtenidos a través de un proceso adecuado de compostaje y lombricompostaje. ( 5 ).

Otros estudios realizados en procesos de compostaje, se ha encontrado que un residuo orgánico, que generalmente, se considera de pobres condiciones fitosanitarias, de difícil manejo y aspecto desagradable, se transforma en un producto inodoro, de fácil manejo, aspecto atractivo, libre de sustancias fitotóxicas y apto como insumo agrícola. Estos hechos han derivado hacia la atribución de una considerable importancia a los aspectos prácticos de la compostación y a los ajustes tecnológicos necesarios que permitan el establecimiento de parámetros óptimos tanto en las operaciones unitarias del proceso como en las que definen la madurez del producto terminado. (30)

Considerando las características de los trabajos de investigación que se han desarrollado para entender el proceso, es necesario referirse a conceptos de biorremediación, cuando la voluntad del proceso se centra en aspectos ambientales, en aspectos agronómicos cuando el objeto del proceso está dirigido a la formulación de insumos para agroecosistemas o en el mejor de los casos, la definición del proceso trata de considerar ambos. (30)

Con el fin de encontrar criterios cuantitativos con los que se pueda establecer diferenciación entre un material crudo y otro debidamente compostado, es necesario definir valores "límites" para las variables que condicionan la madurez del compost así como las correlaciones existentes y que han sido considerados como material de discusión sobre la normalización de este tipo de productos. (30)

Por otra parte; es importante resaltar la importancia sobre el uso de análisis de suelos como herramienta para el diagnóstico de la fertilidad del suelo; estudios realizados en la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira han demarcado la interpretación del análisis de suelos lejos de ser una simple labor de comparación con niveles críticos determinados o estimados para una especie vegetal en particular involucra la consideración de muchos factores del suelo. Puesto que el suelo es un cuerpo natural dinámico sometido a las leyes de la termodinámica y a multitud de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en ambientes diversos que los condicionan o modifican, la interpretación del análisis no debe ser rígida sino dinámica y considerar todas las posibles situaciones. Se propone entonces un sistema de interpretación de tipo causal que apunta a proporcionar un mejor entendimiento del suelo y sus procesos. ( 12 ).

Por otra parte; este trabajo de investigación se enfocó en un ensayo con un cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*), teniendo en cuenta que los incrementos en demanda de maíz y la disminución del área sembrada en Colombia ha originado un incremento en la importancia del cereal. El germosperma producido por la investigación en instituciones nacionales es ilimitado y merece adoptarlos por medio de nuevos cultivares, que incluyen variedades de polinización libre e híbridos, de alto rendimiento, amplia adaptación, mejor calidad nutritiva y tolerancia a procesos bióticos y abióticos presentes en el país.( 10 )

#### 4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La excesiva aplicación de fertilizantes químicos para lograr una alta producción; ha conducido al desgaste de los suelos por erosión causada por la acidez que ellos ocasionan, alterando la bioestructura del suelo, además afectando los diferentes ecosistemas por la contaminación de suelos, aire, aguas superficiales y subterráneas. Como consecuencia de ello, se están utilizando intensivamente los abonos orgánicos especialmente la gallinaza sin ningún control, y sin evaluar su calidad; lo que ocasionan problemas aún mucho más graves, debido a que pueden producir también contaminación ambiental si éstos se aplican con un bajo grado de madurez, ya que proliferarían los microorganismos patógenos, además de los efectos negativos sobre la química del suelo. Esa falta de control se debe a que las entidades encargadas están en proceso de reglamentación de normas necesarias para ello, pues hasta ahora toda la metodología existente es de rigor científico que implica alto costo y demanda de tiempo, por lo tanto no sería pertinente para ejercer un control de calidad de rutina.

Por otra parte, estos materiales pueden producir más acidez al suelo que la que producen los fertilizantes químicos debido a que un bajo grado de maduración significa predominio de sustancias similares a los ácidos fúlvicos que son moléculas pequeñas, solubles y que tienen la capacidad de extraer bases de cambio, los cuales fácilmente se lixivian al pasar a la solución del suelo, y pueden ser reemplazadas fácilmente por aluminio intercambiable que también es solubilizado por estas moléculas.

En los últimos años han aparecido en el mercado colombiano un gran número de productos a base de ácidos húmicos, de los más variados orígenes y procedencias, pero la gran complejidad química de lo que se entiende como "Sustancias Húmicas", no ha permitido todavía establecer un método de análisis aceptado internacionalmente. Las entidades encargadas del control de materiales agrícolas en nuestro país aún están en proceso de reglamentación de normas necesarias, para ello. Es así como actualmente se está reglamentando la norma técnica ICONTEC, que rige la evaluación de la

calidad de los abonos orgánicos, pero aún no ha sido implementada en los laboratorios de análisis de suelo, por ello los productores de estos abonos, no practican un control de calidad apropiado a estos materiales.

Aunque trabajos de investigación realizados actualmente por entidades como el ICA para el estudio y aplicación de abonos orgánicos específicamente gallinaza; dieron como resultado que el aporte de nutrientes tanto al suelo como al cultivo depende del grado de humificación del abono. Entidades como ésta son pioneros y promotores en la aplicación de abonos orgánicos compostados adecuadamente.

Uno de los cultivos que se está implantando actualmente en el departamento del Cauca como alternativa a otros cultivos, es el del maíz, ya que es un cereal que presenta mayor diversidad de usos: su grano es muy nutritivo, con un elevado porcentaje de carbohidratos fácilmente digeribles, grasas y proteínas. sin embargo su producción en cuanto a rendimiento es baja; menor de 2.0 toneladas por hectárea; en el departamento del Cauca, debido al desgaste del suelo y aún en presencia de abonos orgánicos.

Como hipótesis de trabajo se plantea por lo tanto; que la calidad de los abonos orgánicos influye en la producción de los cultivos, como afecta las condiciones físicas y químicas del suelo, una calidad apropiada en los abonos orgánicos producen buenos resultados tanto a nivel del suelo, como de producción a bajos costos y que la implementación de la metodología que está siendo reglamentada por ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas), en un laboratorio del Departamento del Cauca puede contribuir con los productores de dichos materiales para evaluar la calidad y de esta manera mejorar el sistema de producción.

## 5. JUSTIFICACIÓN

Es importante resaltar la importancia de un análisis previo al suelo como herramienta para el diagnóstico de la fertilidad del mismo. En primer lugar se debe estudiar la reacción del suelo, considerada como la determinación de mayor importancia y significación ya que su valor (pH) puede dar luz sobre procesos tales como acidificación, alcalinización, sodificación, precipitación, volatilización y condiciones que favorecen su ocurrencia, posibles productos de formación, disponibilidad de algunos nutrimentos, eficiencia de la fertilización, pérdidas o inactividad de fertilizantes y tipo y actividad de microorganismos. (12)

Hay varias formas de medir la capacidad real de un suelo para suministrar a las plantas los nutrientes esenciales en cantidad adecuada ( requerimiento) y en el momento oportuno. La más común e importante es la de realizar un análisis físico y químico de suelos, la cual puede ser complementada por un análisis foliar y por el estudio detallado de los síntomas visuales cuando las deficiencias son muy extremas. Por otro lado, el pH también suministra mucha información y ayuda a predecir si uno o varios nutrientes pueden ser deficientes o pueden causar toxicidades para las plantas.

Pero el análisis químico de un suelo no solamente es útil para caracterizarlo. También sirve para agrupar suelos en clases y hacer sugerencias sobre necesidades de cal y de fertilizantes, predecir las posibilidades de lograr resultados económicamente aceptables mediante la práctica de fertilización, ayudar a evaluar la productividad de un suelo, mediante la adición de fertilizantes y enmiendas y ayudar a programar proyectos relacionados con agricultura sostenible. ( 10 )

El estudio de las relaciones y el porcentaje de saturación de las bases de cambio (Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio), del Aluminio (Al), del contenido de macro y micronutrientes, pueden ayudar a predecir cómo se debe manejar un suelo en cuanto a adiciones de fertilizantes y enmiendas para

obtener óptimos beneficios de una empresa agrícola sin que los suelos sufran una degradación progresiva. ( 10 )

Es importante complementar el estudio del suelo con el análisis de las sustancias húmicas aplicadas; ya que cumplen múltiples funciones: amortiguan el pH, acomplejan y transportan metales, principalmente micronutrientes, retienen la humedad, y actúan como promotores del crecimiento vegetal, etc. Es necesario clarificar que este tipo de funciones puede ser desempeñado por moléculas no húmicas: proteínas, polisacáridos, polinucleótidos, etc., pero estas sustancias no poseen la suficiente estabilidad química, siendo utilizadas por los microorganismos como fuentes de carbono y energía. ( 36 )

Por lo tanto; cabe resaltar que las sustancias húmicas presentes en el suelo ó aplicadas a éste, principalmente la fracción conocida como ácidos húmicos, se ha constituido en un objeto de estudio de singular importancia dada la diversidad de efectos benéficos que se les atribuyen. Las sustancias húmicas poseen un alto grado de refractariedad frente al ataque químico de los microorganismos, debido a su estructura química, compuesta por un conjunto muy heterogéneo de unidades. Por consiguiente, ante la demanda creciente de estas sustancias como elemento mejorador de las propiedades fisicoquímicas de los suelos, se hace necesario establecer desde el punto de vista químico cuáles serían los parámetros que definen su calidad, mediante la definición de lo que se conoce con el nombre de grado de humificación. ( 36 )

Por otra parte; es importante realizar un estudio físico y químico a los abonos orgánicos ya que aportan la materia orgánica de origen vegetal y animal que al llegar al suelo, es mineralizada por los organismos de la macro y mesofauna y la microflora para ser degradada produciendo sustancias solubles y un residuo orgánico estable muy complejo denominado humus. Como resultado de la descomposición de residuos orgánicos quedan los suelos enriquecidos con formas inorgánicas disponibles, especialmente de nitrógeno ( $\text{N-NO}_3^-$  y  $\text{N-NH}_4^+$ ), fósforo ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  y  $\text{HPO}_4^{2-}$ ) y azufre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) y además, cationes asimilables de calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe) y manganeso (Mn), principalmente. (25).

Los residuos de vegetales y animales constituyen la materia prima de la cual se deriva la materia orgánica del suelo. El conjunto de transformaciones que sufren estos residuos orgánicos, puede

seguir diferentes caminos dependiendo del tipo y cantidad de material orgánico, del ambiente edáfico, del material parental, de la actividad biológica y del clima. Estos procesos denominados Descomposición y Mineralización son eminentemente biológicos y durante su desarrollo el material tiende a desaparecer. La Humificación, proceso complementario, se lleva a cabo estrictamente en el suelo y es de carácter biológico y fisicoquímico y su desarrollo muestra en el suelo productos de síntesis y de herencia por transformación de los materiales. (36)

En la descomposición inicial de los residuos orgánicos se produce una oxidación rápida de estos, con la consecuente liberación de minerales, principalmente  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , además de agua,  $\text{CO}_2$  y ácidos like-fúlvicos (humus en formación). La materia orgánica No-Humica (HMN) continúa su proceso de transformación hasta su conversión en sustancias similares al humus (MH), las cuales representan el mas alto grado de humificación o mineralización de la materia orgánica. (39)

Un abono bien compostado garantiza la estabilización de residuos orgánicos con calidad y sanidad, por lo que se hace necesario su implementación y posterior evaluación de parámetros de madurez. Aunque no hay un tipo de compost universal debido al tipo de sustrato del cual se produce, se han establecido ciertos criterios de madurez y/o calidad, para lo cual se han definido una serie de índices físicos y químicos, que se controlan en el proceso de compostación y que le confieren al producto final su valor agronómico y ambiental, entre ellos: Análisis elemental y de las propiedades estructurales y funcionales de los componentes, incluyendo la fracción extraída similar al humus; mediante métodos de separación y de espectroscopía.(38) . Métodos a utilizar en este estudio para cada uno de los abonos orgánicos a aplicar en el ensayo del cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*).

Pero si el abono no alcanza su grado de madurez, la estabilidad de la materia orgánica y su adición al suelo como enmienda, puede contaminarlo, debido a la presencia de microorganismos patógenos y de metabolitos tóxicos para las plantas. Cabe resaltar los aspectos sanitarios (propagación de Salmonellas, Coliformes fecales y otras enfermedades transmisibles a humanos y animales domésticos) y fitosanitarios (plagas, enfermedades, arvenses), como desde el punto de vista ambiental. La medición de estos efectos tóxicos o Fitotoxicidad se vería reflejado en el desarrollo



fisiológico de las plantas, observándose una disminución apreciable de las tasas de germinación, y del desarrollo radicular en cualquier cultivo. (45)

En este estudio se evaluaron y aplicaron abonos orgánicos como son; Gallinaza, la cual se compone principalmente de estiércol de pollos, aserrín y cisco de café; bioabono adquirido en el municipio de Cajibío Departamento del Cauca; el Bocashi y Lombricompost, preparados en la finca “AMARANTO” del municipio de Cajibío. El bioabono Lombricompost fue obtenido a base de estiércol bobino, pulpa de café, lombrices, exceso de agua lluvia entre otros. Y por último el abono Providencia; adquirido comercialmente en el Valle del Cauca; estos abonos orgánicos son una mezcla de productos orgánicos y algunos químicos permitidos, debidamente combinados (especialmente estiércoles de animales, algunos sulfatos y plantas), que mezclados con agua fresca y libre de sustancias químicas en exceso, se convierten en un biofertilizante de fácil asimilación que según estudios realizados garantizan mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo; se obtienen cosechas más sanas y abundantes, son económicos y reducen los costos de producción por hectárea, contribuyendo a la salud y al equilibrio del medio ambiente.

Con la evaluación de los abonos orgánicos frente a un fertilizante químico (10:30:10); el análisis fisicoquímico del suelo y la selección del terreno donde se realizó el ensayo del cultivo, este trabajo se enfoca hacia un cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*) llamado comercialmente “*El Colorao*”, ya que; el establecimiento y desarrollo de este maíz se logran en forma rápida, debido a su precocidad y vigor temprano en el campo, teniendo en cuenta que los granos del maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*) se distinguen por producir la mayor cantidad de energía metabolizante o nutrientes digeribles totales. Esta propiedad química, complementada con la biológica, convierte los granos de este híbrido en una de las más apropiadas fuentes naturales en la fabricación de concentrados balanceados para la alimentación animal,. En especial, para la industria avícola. El maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*) posee un alto contenido de carotenos o vitamina A; esencial en la dieta alimentaria del ser humano. (11).

## **6. FUNDAMENTO TEÓRICO**

El diagnóstico químico de la fertilidad del suelo como su capacidad para suministrar los nutrientes que demanda el desarrollo de los cultivos, en donde; ésta disponibilidad de nutrientes para las plantas está relacionada con múltiples factores del suelo, del medio ambiente y de la planta misma, por lo cual su cuantificación es muy difícil de realizar y casi imposible de hacer mediante el uso de un solo criterio, necesiéndose por el contrario el concurso de varios parámetros de tipo físico y químico.

En la evaluación de la fertilidad del suelo, previa a la recomendación de fertilizantes y a la formulación de enmiendas, el análisis del suelo constituye una herramienta de trabajo de indiscutible utilidad, en el diagnóstico del nivel nutricional de los suelos. El análisis químico ayuda en sí a identificar los problemas inherentes a la fertilidad del suelo y en su solución. (16)

### **6.1. FACTORES QUE AFECTAN LA CONCENTRACION DE NUTRIENTES EN LA SOLUCIÓN DEL SUELO**

Los tres elementos principales, necesarios para el crecimiento vegetal son: 1. Nitrógeno, para promover el desarrollo de tallos y hojas; 2. Fósforo, que estimula el crecimiento y acelera la formación de frutos y semillas y 3. Potasa, esencial para el desarrollo de almidones, azúcares y fibras, y para ayudar a prevenir enfermedades y disminuir los efectos de aplicaciones de nitrógeno excesivas. ( 1 )

El suelo es el medio de cultivo más importante para las plantas cultivadas en el mundo. Los nutrientes presentes en la solución del suelo se derivan de varias fuentes tales como intemperización de los minerales primarios, descomposición de la materia orgánica, deposición de la atmósfera, aplicación de enmiendas y materiales fertilizantes etc.

Algunos aniones como los nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y cloruros ( $\text{Cl}^-$ ) son muy solubles y generalmente no forman compuestos insolubles con los constituyentes del suelo. Como resultado, cualquier  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{Cl}^-$  adicionado al suelo generalmente permanece en solución hasta que es tomado por la planta o microorganismos, lixiviados, denitrificado, etc. Por su parte el anión sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) actúa en forma similar a los nitratos y cloruros en suelos neutros o alcalinos, pero tiende a adsorberse en suelos ácidos. (14)

Algunos de los otros nutrientes forman compuestos relativamente insolubles que tienden a mantener una concentración de equilibrio en la solución del suelo. Por ejemplo, cationes solubles en agua equilibran con los sitios de intercambio catiónico. Cationes como cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) y Zinc ( $\text{Zn}^{+2}$ ) que tienen la característica de aceptores de par de electrones, forman complejos con la materia orgánica del suelo; hierro férrico y aluminio forman hidróxidos y óxidos hidratados insolubles. (14)

## **6.2. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPONIBILIDAD DE LOS NUTRIENTES PARA LAS PLANTAS**

Según LORA (1980); la disponibilidad de los nutrientes para las plantas es afectada por variables que inciden en la habilidad del medio de crecimiento para suministrar los nutrimentos a la planta, y por los factores que afectan a ésta para utilizar los nutrimentos que le son aplicados. (13) Cuando se estudia un procedimiento para medir la disponibilidad de un nutrimento e interpretar los resultados obtenidos con dicho procedimiento, es necesario conocer las reacciones físico-químicas del nutrimento en el medio estudiado. Por su parte se requiere conocer los factores que afectan la habilidad de la planta para absorber aquellos nutrimentos presentes en la superficie de la raíz, lo cual en la mayoría de los casos depende de la especie de planta o aun de la variedad o híbrido dentro de una misma especie. ( 21 )

## **6.3. MOVIMIENTO DE NUTRIENTES HACIA LA SUPERFICIE DE LA RAÍZ**

Es de anotar que las plantas tienen marcada influencia sobre el movimiento por difusión y convección de los nutrimentos hacia las raíces. A medida que las raíces crecen en el suelo ocupan cierto

volumen poniéndose en contacto con nutrimentos absorbibles presentes. Un estimativo de la posible contribución de la interpretación radicular a los requerimientos de nutrimentos de la planta puede ser hecho en base a las siguientes condiciones: (8)

- \* la máxima cantidad de nutrimento interceptada es la estimada como “disponible” en el volumen de suelo ocupado por las raíces.
- \* Las raíces ocupan aproximadamente 1% del volumen total del suelo.
- \* Alrededor del 50% del volumen total del suelo es compuesto de poros; por lo tanto, las raíces ocupan alrededor del 2% del volumen total.

## **6.4. FACTORES QUE AFECTAN LA HABILIDAD DE LAS PLANTAS PARA ABSORBER NUTRIENTES**

### **6.4.1. CONCENTRACIÓN DE OXIGENO EN LA ATMÓSFERA DEL SUELO**

La energía requerida para la toma de micronutrientes es generada por el proceso de respiración en las raíces de la planta, este proceso depende del suministro de oxígeno en la atmósfera del suelo. Por tanto, una pobre aireación inhibe la absorción de muchos nutrientes y afecta el estado de oxidación de algunos de los componentes esenciales. La ausencia de Oxígeno inhibe la fosforilación oxidativa y transporte de electrones, lo cual sugiere el involucramiento de estos procesos en el transporte iónico. (23)

### **6.4.2. TEMPERATURA DEL SUELO**

La absorción de nutrientes está relacionada a la actividad metabólica, lo cual, a su vez, es dependiente de la temperatura. Es de anotar, que el proceso de transporte de iones es fuertemente dependiente de la temperatura, y el transporte neto es esencialmente reducido a temperaturas cercanas a cero. (23)

### **6.4.3. REACCIONES ANTAGÓNICAS QUE AFECTAN LA TOMA DE NUTRIENTES**

En un suelo en el cual el magnesio está casi en el límite de disponibilidad, se puede crear una disminución del rendimiento debido a la adición de potasio. El efecto antagónico del potasio sobre la toma de magnesio puede resultar en una disminución del rendimiento debido a la adición de potasio y a la vez a una deficiencia inducida de magnesio, aun cuando el nivel de potasio sería normal en un sistema de antagonismo entre iones aun no ha sido claramente explicado, ha llevado al concepto de mantener un adecuado “balance nutricional”. (28)

### **6.4.4. SUBSTANCIAS TOXICAS**

Cualquier sustancia que interfiera con los procesos metabólicos de la planta puede afectar la toma de nutrientes por la misma. Tales sustancias pueden incluir altas concentraciones de Manganeso y Aluminio en suelos ácidos; altas concentraciones de sales solubles, exceso de Boro y metales pesados, etc. Es de anotar que existen igualmente numerosos inhibidores de absorción de iones. Entre estos compuestos se pueden citar algunos arsenatos, cloroanfenicol, malonatos, etc. (34)

## **6.5. ESTUDIO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO**

Una de las funciones de la materia orgánica es aportar nutrientes al suelo. Esta función viene relacionada con un nuevo concepto del suelo, más agroecológico, que igual que un pequeño “ecosistema” se nos presenta dotado de gran complejidad tanto estructural como funcional, consecuencia de las relaciones mutuas entre los seres vivos que mantiene el soporte físico y químico en que éstos se desenvuelven. Desde esta visión más global del suelo, la fertilidad del mismo se muestra, no sólo como la capacidad de ese medio para aportar nutrientes minerales esenciales a las plantas, sino que además, la fertilidad del suelo será también definida como la capacidad de ese recurso para mantener un nivel de producción alto, pero perdurable en el tiempo, sin perder por ello su diversidad biótica ni su complejidad estructural y todo ello dentro de un equilibrio dinámico (18).

El uso de materiales orgánicos como fertilizantes ha estado unido a la actividad agrícola desde sus orígenes, y su empleo está relacionado directamente, desde una perspectiva histórica, con el mantenimiento de la productividad de los suelos de cultivo. Esta función de la materia orgánica era y es aún evidente en los sistemas agrícolas que mantenían la fertilidad de sus tierras para obtener sus cosechas cerrando ciclos de energía y nutrientes. Todo ello, se realizaba mediante técnicas agronómicas básicas, como la rotación de cultivos, incorporación de rastrojos y reciclaje de restos orgánicos mediante Compostaje para transformarlos en nutrientes disponibles, integrando la cría de los animales dentro de sus fincas, aprovechando la vegetación natural mediante su armonización en sistemas agro-silvo-pastorales, creando así unos sistemas de gestión que permitan la autorregulación del agroecosistema, dentro de un equilibrio dinámico y perdurable. (30).

De manera global los métodos analíticos usados para caracterizar los diferentes grupos de la materia orgánica del suelo son : proporción de fracciones lábiles y resistentes ; cantidad de biomasa microbial; contenido de nutrientes; relación C/N ; relación lignina / nitrógeno; ; contenidos de Carbono de Acidos Fúlvicos ( %CAF), de Carbono de Acidos Húmicos ( %CAH ); relación AF/ AH (en términos de contenidos de carbono); tamaños moleculares de los Acidos Húmicos y Fúlvicos; densidades ópticas, composición química elemental de los Acidos Húmicos; densidades ópticas; composición química elemental de los AH y un sinnúmero de técnicas de espectroscopia. (36)

### **6.5.1. SUSTANCIAS NO HÚMICAS**

Las sustancias no húmicas pueden representar hasta el 30 % del humus y están constituidas por compuestos orgánicos químicamente definidos, como son lignina, celulosa, proteínas, carbohidratos, grasas, ácidos orgánicos, pigmentos y una fracción de materia orgánica soluble en agua que o bien son producto de la descomposición y mineralización del material orgánico de partida o bien son de síntesis microbial o bien son sustancias orgánicas libres presentes en el suelo .

Este grupo de sustancias se considera como de mediana estabilidad sin embargo puede suceder que presenten persistencia. La permanencia en el suelo de este tipo de sustancias está inversamente relacionada con el tamaño y complejidad, por ejemplo algunos biopolímeros naturales como la lignina, la celulosa, algunos polifenoles y proteínas pueden persistir en el suelo por años

debido a su estructura polimérica, cristalinidad o bien porque se estabilizan químicamente por formación de complejos tales como taninos - proteínas. De este grupo de sustancias los **polisacáridos** son los más representativos y de máxima importancia en la agregación del suelo.(36)

## **6.5.2 SUSTANCIAS HÚMICAS**

Las sustancias húmicas representan el máximo constituyente de los componentes muertos y a su vez la fracción más representativa y más estable del carbono del suelo, y pueden llegar a constituir hasta un 90% del carbono total del suelo. Esta es la razón por la que unida a su bioestabilidad, interesan no sólo desde el punto de vista cuantitativo sino también por su permanencia en el suelo.

Esta fracción no es una sustancia de composición exactamente definida, ni siquiera una agrupación de compuestos con propiedades que puedan ser expresadas en términos de unidades. Ellas son generalmente compuestos polidispersos, polímeros condensados de compuestos aromáticos y alifáticos producidos por la transformación de la lignina de las plantas, de los polifenoles de las células y de síntesis microbial. Son sustancias altamente complejas, heterogéneas, amorfas, con propiedades coloidales e hidrofílicas muy marcadas, con alta capacidad de intercambio catiónico, con gran cantidad de grupos ácidos, constituidas principalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Su gran estabilidad está estrechamente relacionada con su estructura química y polidispersidad así como por su condición de enlace con los agregados del suelo y la interacción con los cationes metálicos y las arcillas.(36)

### **6.5.2.1. PROPIEDADES DE LAS SUSTANCIAS HUMITAS**

En las primeras etapas del proceso de humificación las propiedades y naturaleza de la materia orgánica del suelo está condicionada por la composición química de la biomasa aportada por los vegetales. En las siguientes etapas la actividad de los microorganismos, las reacciones fisicoquímicas y enzimáticas experimentadas por los productos de biodegradación, la autólisis de los residuos orgánicos originan las sustancias húmicas con propiedades, características complejas, diferentes a las del material que le dió origen. (36)

Uno de los más importantes fenómenos de superficie asociado con los coloides húmicos, es su capacidad de intercambio. La experiencia ha demostrado que el grueso de los sitios de intercambio está asociado con la fracción lignina debido a los grupos fenólicos, carboxilo y enolhidroxilicos. La lignina reacciona con los aminoácidos para formar un complejo lignoprotéico y en estos casos los sitios de intercambio provienen de los grupos uronio -carboxilo.(36)

Las sustancias húmicas constituyen del 70-80% p/p de la materia orgánica presente en la mayoría de los suelos minerales. Estos compuestos se dividen en tres grandes fracciones: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, establecidas operativamente, basándose en sus respectivas solubilidades en medios ácidos y básicos. Desde el punto de vista químico, estructuralmente, no puede hablarse de un tipo particular de compuesto cuyas propiedades fisicoquímicas estén perfectamente definidas. Cada fracción es una mezcla heterogénea de sustancias orgánicas con pesos moleculares que abarcan un amplio rango de valores(2000-1300000 Da) ( 32 )

Las sustancias húmicas poseen una unidad o bloque molecular que se repita, siendo ésta, una característica común de la mayor parte de las moléculas poliméricas; las sustancias húmicas no pueden purificarse aplicando los criterios clásicos de lo que se considera una molécula químicamente pura; las sustancias húmicas provenientes de fuentes completamente diferentes poseen macropropiedades muy similares; todas estas sustancias se caracterizan por ser altamente heterogéneas desde el punto de vista molecular, presentan una reactividad química parecida; y adicionalmente, presentan un significativo grado de refractariedad. Estos últimos hechos son la marca distintiva por excelencia de este tipo de moléculas. ( 7 )

En los suelos y sedimentos este tipo de materiales se encuentran generalmente asociados con otro tipo de moléculas(sustancias no húmicas: carbohidratos, aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, resinas y minerales arcillosos ). La asociación entre las sustancias mencionadas puede ocurrir mediante fenómenos meramente físicos (encapsulación) o interacciones de tipo químico (formación de enlaces covalentes). En todos estos procesos, participan activamente los metales, principalmente metales de transición. ( 7 )



## 6.6. PROCESO DE COMPOSTAJE

La compostación como proceso industrial para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos ha tomado en los últimos años gran relevancia, fundamentalmente por el hecho de permitir un doble propósito. En primera instancia permite la estabilización (química y biológica) de los residuos, por lo que reduce considerablemente el impacto ambiental generado por contaminantes orgánicos y paralelamente el proceso puede ser aplicado con una perspectiva agronómica dado que genera productos que suministran al suelo con vocación agrícola una importante reserva energética, estructura y estabilidad al restituir su valioso componente orgánico.( 9 )

La biotransformación de la materia orgánica se desarrolla con el ánimo de evitar la contaminación orgánica, y de generar un producto que a su vez puede ser considerado como materia prima (en la generación de mezclas mineral-orgánicas) o producto terminado y entonces se entiende como: "El Proceso de degradación biooxidativo y catabólico seguido de un proceso de resíntesis de un sustrato orgánico sólido, a través de organismos descomponedores endémicos (normalmente artrópodos y microorganismos), hasta la obtención de un producto heterogéneo denominado compost, con apariencia completamente independiente del material de origen y que se caracteriza por su estabilidad química y sanitización, con respecto a parámetros de referencia establecidos por un patrón". ( 30 )

Sin embargo, debe tenerse cuidado en la dosificación de estos materiales orgánicos para uso agrícola, en razón de sus altos contenidos de hierro y manganeso. Así mismo, se debe asegurar siempre un buen compostaje, que garantice que el material ha alcanzado las temperaturas suficientes para que se encuentre libre de patógenos. También debe haber alcanzado su maduración total, para evitar daños en los cultivos.

Los riesgos que se pueden generar por el uso de compost inmaduros son los siguientes:

- Disminución de la concentración de Oxígeno en la zona radical,
- Residuos con elevada relación C/N, que produce inmovilización del N, generando una competencia por éste en el suelo entre los microorganismos y las plantas,
- Aumento de la temperatura del suelo, lo que es incompatible con el desarrollo vegetal,

- Acumulación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular y de otros metabolitos orgánicos que son fitotóxicos,
- Destrucción incompleta de organismos patógenos.
- Bajo grado de humificación que indica prevalencia de ácidos fúlvicos sobre los ácidos húmicos, conduciendo así a una mayor acidez en el suelo.

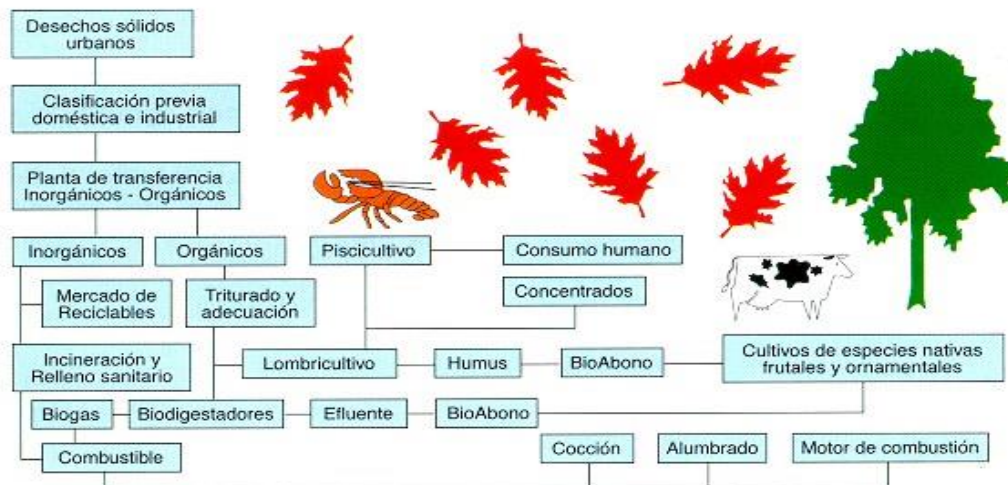
Estos riesgos se pueden evitar mediante un buen proceso de compostaje. La presencia de organismos patógenos es más abundante en los lodos de depuración, aunque también pueden presentarse en compost de mala calidad, como consecuencia de una compactación o una mala aireación de los residuos durante el compostaje lo que conlleva a una baja temperatura.

( 34 )

Debe buscarse que los materiales orgánicos sean aprovechados de una manera segura y eficiente, siguiendo modelos como el mostrado en la figura 1. ( 3 )

Figura 1.

### Disposición Eco-eficiente de Residuos Sólidos



## **6.7. COMPORTAMIENTO QUÍMICO DE SUELOS CON ABONOS ORGÁNICOS**

Las aplicaciones de abonos orgánicos provocan efectos tanto físicos, químicos como biológicos en los suelos, proporcionándoles nutrientes disponibles que ayudan a mejorar su fertilidad y aumentar su nivel de producción.

### **6.7.1. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE EL NITRÓGENO DEL SUELO**

Del total del nitrógeno presente en abonos orgánicos, 60-80% está en forma orgánica y el resto en forma inorgánica o amoniacal. El nitrógeno amoniacal está cargado positivamente y, por lo tanto, se liga fuertemente a la arcilla, siendo altamente disponible para la planta y no es lixiviado. La conversión de amoníaco a nitrato se llama nitrificación que es causada por procesos bacteriales en condiciones aeróbicas. En un suelo bien aireado y con la temperatura y pH adecuados, la nitrificación procede rápidamente y la mayoría del nitrógeno amoniacal de la excreta es convertido a nitrato dentro de las pocas semanas de aplicación. El nitrato es la forma de nitrógeno más disponible para la planta, pero también es la forma más fácil para su pérdida por lixiviación, ya que es un anión y la arcilla no lo puede ligar. (32)

Cuando el nitrógeno se convierte en nitrato es fácilmente soluble y se lixivía hacia abajo en el suelo. Cuando los nitratos alcanzan una profundidad por debajo del nivel de la zona radicular, no pueden ser devueltos a las capas superiores del suelo por las cosechas normales y eventualmente pueden alcanzar las aguas subterráneas. La aplicación de cantidades de nitrógeno que excedan la capacidad de crecimiento del cultivo para utilizarlo es la principal fuente de contaminación de aguas profundas con nitratos en los EEUU.(32)

Es por lo anterior que se debe evitar un exceso de nitratos en la solución del suelo que pueda resultar excesivo para las plantas, así como evitar que suelos con demasiado drenaje en climas húmedos y con niveles freáticos no muy profundos puedan inducir una contaminación de los acuíferos con esta forma de nitrógeno especialmente peligrosa cuando contamina las aguas potables. En este sentido la EPA de los EEUU recomendaba en 1977 que los aportes de residuos se

hicieran en cantidades de N asimilable que fueran en el suelo una y media o dos veces las requeridas por los cultivos (37)

Entonces, generalmente se acepta que, de los nutrientes contenidos en el estiércol, son los excedentes de nitrógeno los que tienen el mayor riesgo de movimiento por escorrentía y lixiviación (con riesgo de contaminar cuerpos de agua), y por ello el cálculo de la dosificación del estiércol se hace generalmente con base en este nutriente, quedando prácticamente cubierto cualquier riesgo de contaminación con otro componente (24)

### **6.7.2. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE EL FÓSFORO DEL SUELO**

La mayoría de los suelos tienen una gran capacidad de retener e inmovilizar el fósforo aplicado por encima de las necesidades del cultivo. Al aplicar al suelo un bioabono bien transformado, ya sea en forma de compost, lombricompost entre otros; el fósforo contenido es liberado en la forma de iones fosfatados asociándose químicamente al aluminio, reteniéndolo; así impide su solubilización o liberación a la solución del suelo y de esta manera evita en parte la acidez causada por el Aluminio. (26)

En Colombia, es necesario adicionar cantidades relativamente altas de fertilizantes fosfatados para obtener rendimientos económicos de trigo, maíz, papa y hortalizas en andosoles, o de algodón, arroz, maíz en oxisoles en los Llanos Orientales.(14)

Si el suelo es deficiente en fósforo se puede aplicar abono orgánico que contiene ácido fosfórico y fosfato mineral, éste último actúa con lentitud pero durante muchos años. El fosfato mineral del bioabono proviene de restos de huesos, sangre seca, lodo de aguas residuales o harina de semilla de algodón entre otros; (23) Los abonos orgánicos ricos en fosfato aportan grandes beneficios a las plantas a largo plazo favoreciendo el desarrollo radicular y de nuevos tejidos, así como la floración.

### **6.7.3. EFECTO DE LOS ABONOS ORGANICOS SOBRE EL POTASIO, CALCIO Y MAGNESIO DEL SUELO**

Después de la mineralización, el potasio, el calcio y el magnesio se ligan fuertemente a la materia orgánica o a la arcilla del suelo. Si bien el potasio es el menos fuertemente ligado y alguna lixiviación puede ocurrir, aparentemente tiene pocas consecuencias, ya que es devuelto a la capa superficial del suelo por las raíces de las plantas. Particularmente, el potasio, siendo uno de los minerales mayores presentes en los abonos orgánicos, es de muy poca preocupación ambiental. En general los niveles de potasio no son problema si la fertilización con nitrógeno y fósforo está bien dosificada (32).

Entonces, si bien no hay límite para el nivel máximo de potasio permisible en los análisis de suelo, la mayoría de los abonos orgánicos bien humificados contienen mucho más potasio que magnesio o calcio, y después de un tiempo de aplicaciones continuadas de éstos abonos, la relación del potasio al magnesio y el calcio puede ser demasiado alta para un óptimo crecimiento de las cosechas. Para ajustar esta relación, calcio y/o magnesio pueden ser adicionados como cal dolomítica o piedra caliza (44).

### **6.7.4. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE LOS ELEMENTOS MENORES DEL SUELO**

Según Rankin (1993) no hay ninguna preocupación ambiental por la gran cantidad de minerales menores que hay en diversos abonos orgánicos; ya que ellos carecen de movilidad en el suelo con la excepción del Boro. Más aún, comúnmente se adjudica a los minerales traza la responsabilidad del incremento en la producción de las cosechas en que se aplica abonos orgánicos. Esta producción incrementada se observa cuando se compara con las producciones de cultivos abonados con fertilizantes comerciales a las mismas dosis de la fertilización con abonos orgánicos. La aplicación de Boro ha conducido a incrementos en la producción de algunos cultivos (32).

En tierras utilizadas para cosechar maíz con una historia larga de aplicación de abonos orgánicos y alta acumulación de cobre en el suelo no ha sido reportada toxicidad para las plantas. La acción ligante y el pH del suelo limitan la disponibilidad del cobre para las plantas, aunque se hayan acumulado excesivas cantidades de este elemento. Los suelos arenosos con bajo pH y bajo contenido de materia orgánica tienen una capacidad reducida para retener metales pesados y, por lo tanto, hay una alta posibilidad de contaminar con metales pesados las aguas subterráneas cuando se aplica enmiendas orgánicas mal compostadas a estos suelos (32).

Rankin (1993) cita un estudio de Sutton y colaboradores (1983) en el que se encuentra que el cobre no se presentó en concentraciones excesivas ni en el suelo ni en los tejidos de maíz a pesar de grandes aplicaciones de enmiendas orgánicas que contenían cobre. Posteriormente, otro trabajo de investigación en tres tipos de suelo diferente confirmó los hallazgos anteriores y además no encontró concentración aumentada de cobre en la semilla (32)

#### **6.7.5. EFECTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS SOBRE LAS SALES DEL SUELO**

Según Rankin (1993); algunos elementos, los cuales no se consideran estrictamente contaminantes pueden presentar acumulaciones inadecuadas en suelos fertilizados con enmiendas orgánicas. Por ejemplo, algunos suelos y especialmente en áreas de muy baja precipitación pueden acumular sales minerales. Problema que se previene y soluciona con riego (lavado). (37)

#### **6.8. ABONOS ORGANICOS**

La utilización de abonos orgánicos han despertado interés entre los agricultores, principalmente por los efectos negativos que ocasionan los productos químicos a la salud humana y el elevado costo de los insumos en nuestro país. ( 26 )

Además, el abono orgánico es beneficioso desde el punto de vista químico, físico y biológico, es necesario conservarlo, mediante adiciones periódicas de residuos de cosechas, abonos verdes incorporados, compost artificialmente preparados, en condiciones controladas a partir de restos de

tejidos vegetales y/o animales y adición de excretas de animales bien compostadas. Estos materiales son ricos en elementos nutritivos tanto para los organismos del suelo, como para las plantas y, además al descomponerse el material orgánico queda un residuo estable – humus – de buena calidad. ( 30 )

Los abonos orgánicos más comunes en la zona del Cauca son: Lombricompost, Gallinaza y Bocashi, entre otros.

### **6.8.1. LOMBRICOMPOST**

La utilización de lombricompost como una alternativa para mejorar la fertilidad de los suelos cobra mayor importancia, pues su aplicación redundará en un mejor aprovechamiento de los desechos orgánicos, lo que proporciona una menor dependencia de los insumos minerales.(42)

Gracias a la capacidad mineralizadora de las lombrices, se ha encontrado que las deyecciones que estos organismos incorporan al suelo, son muy ricas en nutrientes disponibles para las plantas ya que presentan una mayor capacidad para intercambiar bases, alta concentración de calcio, magnesio, potasio intercambiable, fósforo y nitrógeno disponible, que las halladas en el sustrato consumido por ellas.

A lo largo de los estudios hasta hoy realizados, se ha comprobado la importancia de las lombrices, ya que a través de ellas se reciclan grandes cantidades de desechos, lo que permite obtener con ellos fertilizantes orgánicos a bajo costo y en corto tiempo, lo que contribuye a la solución de diversos problemas de índole económica, ambiental y de calidad de producción. (42)

### **6.8.2. GALLINAZA**

La gallinaza contiene muchas bacterias, hongos, nemátodos y larvas que ayudan en el proceso de descomposición de este bioabono. Además se destaca, en comparación con otros abonos orgánicos, por ser una fuente de Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro; pero su principal aporte

es de Nitrógeno así como también de Materia Orgánica, mejorando las características de fertilidad del suelo. Este bioabono aplicado en dosis adecuadas tiene propiedades intermedias con respecto a los fertilizantes inorgánicos, asegurándose un apreciable efecto residual. Para su aplicación se debe tener la seguridad de que la gallinaza ya ha sido compostada de otra manera, ocasionará problemas tanto al suelo como al cultivo mismo. ( 45 )

### **6.8.3. BOCASHI**

Palabra de origen japonés que significa “*materia orgánica fermentada*”; este abono es activador muy rico en nutrientes y en microorganismos benéficos además favorecen la aireación del suelo. El Bocashi es una buena fuente de Nitrógeno e incorpora Materia orgánica; componentes muy importantes que ayudan a mejorar las condiciones químicas del suelo. En el proceso de fermentación de este bioabono se va descomponiendo la materia orgánica, quedando así un residuo estable denominado humus, el cuál le da las propiedades de calidad al bioabono. ( 45 )

Este bioabono al ser aplicado en el suelo cultivable, aumenta la capacidad para que la planta pueda asimilar mejor los nutrientes, fortaleciéndola para un mayor crecimiento y para que se defienda de algunas enfermedades, especialmente las producidas por hongos, además de mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo (45).

### **6.9. APLICACIONES DE ABONOS AL SUELO**

La colocación del abono y su época de aplicación son partes tan importantes de la fertilización, como lo son la dosificación y la selección de la fuente. Debe darse, por tanto, especial atención a estos aspectos. Una buena colocación del abono, en tiempo oportuno aumenta la eficacia de los abonos.

Gran parte de la baja eficiencia de los abonos se debe a una mala colocación de los mismos. En Colombia, para dar un ejemplo es muy empleada la colocación de los abonos en la superficie del suelo, de donde se pierden fácilmente por escorrentía, generalmente en los sedimentos que esta arrastra, o por volatilización en el caso específico del nitrógeno.(14)



Hay dos normas generales que, en lo posible, deben seguirse, con respecto a la colocación y época de aplicación del abono al suelo.

Debe enterrarse:

El enterramiento del abono evita las pérdidas:

Por **volatilización**, lo cual afecta a algunos abonos, como son aquellos que pueden liberar amonio por reacciones con compuestos del suelo.

Por **inmovilización**, como es el caso de los abonos fosforados, cuya movilidad en el suelo es casi nula y por lo tanto, si se colocan en la superficie, quedan fuera de la zona radicular de la mayoría de los cultivos.

Por **denitrificación**, que pueden sufrir los abonos amoniacales no bien enterrados en suelos inundados, el abono amoniacal pasa a nítrico y sufre las pérdidas a que éste está expuesto.(14)

No aplicarlo con anterioridad a la siembra:

Los argumentos en contra de la aplicación anticipada a la siembra radican en el hecho de que las pérdidas de los abonos por lixiviación, por volatilización, por fijación o por paso a formas menos asimilables, son función del tiempo y por lo tanto entre más transcurra este, mayores serán. Una aplicación anticipada, además, va a favorecer más a las malezas que al cultivo. Es lógico pensar que la necesidad de no anticipar la colocación del abono, con respecto a la siembra, es mayor con los abonos nitrogenados, que con lo fosfóricos y potásicos. (14)

## **6.10. MANEJO DEL HIBRIDO DE MAIZ FUNK'S G-5423, "EL COLORAO"**

### **6.10.1. DEFINICION**

El maíz (*Zea mays L.*); G5423 denominado "El Colorao"; es un maíz híbrido, que posee gran capacidad de adaptación climática y edáfica, que se cultiva desde el nivel del mar hasta los 1800m de altitud y en una gran diversidad de suelos, en donde ha presentado buena producción y calidad.

El crecimiento de sus hojas en forma vertical lo hace ideal para la siembra en intercalamiento por su

menor competencia con el cultivo principal y además, porque tiene mejor captación de luz solar. Esta es una característica que lo hace más productivo. Además, su eficiente sistema radical le confiere resistencia al volcamiento.(20)

Desde el punto de vista sanitario, este híbrido es resistente a problemas fitosanitarios como el Mildew veloso tropical (*Peronosclerospora sp.*) y es tolerante a enfermedades foliares como la roya (*Puccinia sorghi*), y a quemazones foliares causadas por *Exserohilum turcicum*, *Bipolaris zeicola* y *B. maydis*.

En general, está considerado como el maíz amarillo de mejor calidad nutritiva y mayor contenido de carotenos y vitamina A (Tabla 1), características que lo constituye en un importante alimento tanto para humanos como para animales, especialmente aves.(20)

Tabla 1 Contenido de caroteno y vitamina A de algunas variedades de maíz (*Zea mays L.*).

CULTIVAR	COLOR ENDOSPERMA	GRANOS			
		ENTEROS		TRILLADOS	
		C	V	C	V
G-5423 (El Colorao)	Anaranjado	17.0	12.882	14.1	10.682
Testigo	Amarillo	6.2	4.655	6.0	4.584
Testigo	Blanco	0.7	0.520	-	-

C = Caroteno (mg/Kg)

V = UI Vitamina A/lb.

En Colombia, la mayoría de la población consume o depende de maíz en su dieta diaria, y para muchos éste cereal es la principal fuente de energía y proteína. Este híbrido de maíz es de alto rendimiento, amplia adaptación, tolerancia a insectos y enfermedades y alta calidad proteica en las principales zonas productoras de maíz de Colombia. ( 10 )

### 6.10.2. FERTILIZACIÓN

- El maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*) “El Colorao” requiere un buen nivel de fertilización para que responda plenamente a las expectativas de producción. Los fertilizantes deben ser aplicados de acuerdo con los resultados del análisis del suelo y el criterio del técnico.

La labor de fertilización inicial se realiza en el momento de la siembra, adicionando la tercera parte de nitrógeno, fósforo y potasio, y entre los 25 a 30 días después de la siembra se debe aplicar el resto en banda al pie del surco. No se debe olvidar que para mantener el nivel de fertilidad de los suelos es necesario reemplazar o adicionar los nutrientes que los cultivos extraen del suelo. (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Condiciones normales para una buena producción. El cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*); extrae: ( 11 )

ELEMENTO	Kg/ha
Nitrógeno – N	190
Fósforo – P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	62
Potasio – K	124
Calcio – CaO	12
Magnesio – Mg	14

Tabla 3. Requerimientos nutricionales de diferentes cultivos para alcanzar buenos resultados. (14)

Requerimiento Nutricional (Kg/Ha/cosecha)						
Cultivo	N	P	K	Ca	Mg	S
Maíz	170	30	60	23	25	20
Tomate	170	25	275	150	25	22
Arroz	90	10	60	10	7	-

### 6.10.3. MANEJO DEL CULTIVO DE MAIZ FUNK´S G – 5423 “El Colorao”

#### 6.10.3.1. CONTROL DE INSECTOS Y PLAGAS

Es muy importante el control de tierreros y trozadores, así como de pájaros durante la germinación y emergencia del maíz. Desde el estado de plántula y las etapas de prefloración y floración, debe tomarse precauciones para prevenir daños por cogollero (*spodoptera frugiperda*). Se recomienda utilizar insecticidas tipo inhibidores de quitina, desde los primeros estados de la larva.( 11 )

### **6.10.3.2. CONTROL DE ENFERMEDADES**

La aparición de enfermedades causadas por hongos, es posible en la etapa de prefloración a maduración y, en especial, en período de alta humedad. El Maíz Híbrido Amarillo Funk's G-5423, tiene tolerancia a estas enfermedades tropicales. Sin embargo, en estos casos y de acuerdo con el nivel de incidencia de la enfermedad, es conveniente adicionar en el paquete de manejo agronómico la aplicación preventiva de un fungicida a los 40 días después de la siembra, más una aplicación foliar de Boro y Zinc. ( 11 )

### **6.10.4. USOS Y MERCADOS DE “MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO FUNK'S G-5423 - EL COLORAO”.**

- ▯ Consumo humano, en la agroindustria alimentaria para producir harinas, trillados y productos expandidos.
- ▯ En consumo fresco como mazorca tierna ( choclo).
- ▯ En la agroindustria para la alimentación balanceada de animales, especialmente aves por su alto contenido de caroteno y vitamina A.
- ▯ Como forraje verde o ensilado para alimentos de bovinos.
- ▯ Actualmente el mercado objetivo es la industria avícola, la cual tiene una demanda por maíz amarillo de 2.200.000 toneladas al año; además, las trilladoras y la industria de precocidos demandan 800.000 toneladas al año. ( 20 ).

## **7. METODOLOGÍA**

### **7.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA**

El trabajo de investigación se realizó en dos sitios:

- Trabajo de Campo en la Finca “AMARANTO”; ubicada en la vereda la Aurelia, municipio de Cajibío, Departamento del Cauca. Temperatura media : 18 20°C, Clima: Tropical de montaña frío, Altura: 1750 m.s.n.m.
- Trabajo experimental correspondiente a los análisis físicos y químicos, se hicieron en los Laboratorios de Agroquímica, departamento de Química de la Universidad del Cauca y en el Laboratorio de Suelos de la Secretaría de Agricultura del departamento del Cauca.

### **7.2. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ABONOS ORGÁNICOS**

Se seleccionaron cuatro abonos orgánicos que son los más usados en la actualidad en el departamento del Cauca, de ahí la importancia de conocer sus efectos sobre el suelo y sobre los cultivos, los bioabonos seleccionados fueron:

- \* Lombricompost : preparado en la finca “AMARANTO” del municipio de Cajibío
- \* Bocashi : preparado en la finca “AMARANTO” del municipio de Cajibío
- \* Gallinaza : adquirida en el municipio de cajibío Departamento del Cauca
- \* Providencia : Obtenido comercialmente en el departamento del Valle del Cauca

Para evaluar la calidad y el grado de madurez de los abonos se implementó la metodología que está siendo reglamentada por LA NORMA TÉCNICA COLOMBIANA ( ICONTEC ), los análisis efectuados fueron los siguientes:

## **7.2.1. ANÁLISIS FÍSICOS**

### **7.2.1.1. HUMEDAD**

Se determinó gravimétricamente por diferencia de peso, previo calentamiento de la muestra a 105°C durante 24 horas.

### **7.2.1.2. DENSIDAD**

El método se basó en la determinación de la masa por volumen de cada bioabono luego de que se depositará libremente de manera individual; en un recipiente de volumen conocido.(3)

### **7.2.1.3. CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**

La determinación se realizó en una solución de pasta saturada; obtenida mediante la extracción del abono en agua en relación 1 : 1 o hasta formar la pasta de saturación. En el filtrado de esta pasta se determinó la conductividad eléctrica; mediante lectura directa en el conductímetro. ( 3 )

### **7.2.1.4. PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE AGUA**

Se considera como porcentaje de saturación el volumen de agua necesario para saturar 100 g de material orgánico secado al aire.

Se tomó determinada cantidad de abono orgánico y se le adicionó poco a poco volúmenes de agua medidos (utilizando una probeta). Se agitó continuamente con la espátula de madera, esto con el

fin de eliminar aire y formar poco a poco una masa. Se adicionó agua hasta llegar a un punto de equilibrio donde no se absorbía mas agua y no la escurría. Se registró el volumen de agua utilizado. ( 27 )

## **7.2.2. ANALISIS QUIMICOS**

### **7.2.2.1. pH**

Se determinó potenciométricamente en una suspensión bioabono : agua; 1:1 o 1:2.5 Esta determinación se realizó con el fin de conocer si los nutrientes presentes están en forma disponible.

### **7.2.2.2. DETERMINACIÓN DE LAS PÉRDIDAS POR CALCINACIÓN**

Se determinó sometiendo la muestra a 400°C durante 4 horas. Se registró el peso final después de enfriar hasta temperatura ambiente. ( 27 )

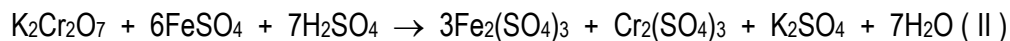
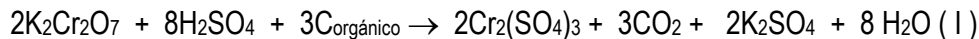
### **7.2.2.4. DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA**

Para determinar el contenido de materia orgánica en los bioabonos se utilizó el método Walckley-Black ( 4 ). El cual consiste en oxidar el carbono orgánico presente en el abono con un oxidante en medio ácido; el oxidante empleado es  $K_2Cr_2O_7$  1 N y el ácido es  $H_2SO_4$  concentrado. Por medio de este método se extrae el carbono fácilmente oxidable.

En este método la oxidación del carbono orgánico no es total, se logra un rendimiento del 77 % y por eso se llama carbono orgánico más fácilmente oxidable. El resto es grafito o carbón vegetal que no es fácilmente oxidable.

Como queda materia orgánica que no se oxida y  $K_2Cr_2O_7$  que sobra después de la reacción entonces se valoró volumétricamente lo que no reacciona de  $K_2Cr_2O_7$  con una solución de sulfato

ferroso, utilizando un blanco que consta de una solución de  $K_2Cr_2O_7$  con  $H_2SO_4$ . En la titulación se utilizó ferroína como indicador. La reacción que suceden son las siguientes:

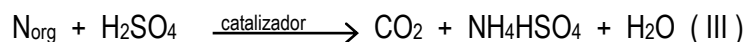


#### 7.2.2.5. DETERMINACION DE NITROGENO POR EL METODO KJELDAHL (4)

Este método es el utilizado universalmente para la determinación cuantitativa de nitrógeno procedente de diversos materiales como son los abonos orgánicos, este método se basó en tres procesos químicos:

##### **Primero: Oxidación de la muestra**

Las muestras de los abonos orgánicos se trataron separadamente con ácido sulfúrico concentrado y catalizadores para oxidar la materia orgánica y convertir el nitrógeno en sulfato ácido de amonio según la siguiente reacción:



##### **Segundo: Descomposición del sulfato ácido de amonio**

El sulfato ácido de amonio se descompone por medio de un exceso de alcali para liberar el amoníaco el cual se recoge por destilación sobre ácido bórico. Las reacciones son las siguientes:



##### **Tercero: Titulación del borato de amonio**

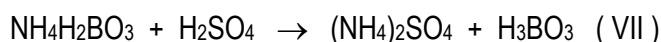
El borato de amonio formado en el paso anterior se valoró con  $H_2SO_4$  0.1 N utilizando como indicadores una mezcla de rojo de metilo y azul de metileno ó de rojo de metilo y verde bromocresol.



La reacción es la siguiente:



ó



#### **7.2.2.6. DETERMINACION DE LA RELACIÓN C/N**

Consiste en la relación del carbono determinado por el método Walckley-Black y el nitrógeno determinado por el método de Kjeldahl.

#### **7.2.2.7. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO ( 4 )**

La metodología para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico consiste en reemplazar los cationes presentes en los abonos orgánicos por el ión  $\text{NH}_4^+$ . Los bioabonos secos, tamizados y muy finos se saturaron con acetato de amonio 1 N pH 7, tratando de llevar la saturación al máximo, pero que sea estable. El ión amonio se desplaza con  $\text{Na}^+$  (NaCl al 10 %), por lo que el  $\text{NH}_4^+$  queda en forma de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , se agregó formol neutralizado al 40 % y el HCl generado se tituló con NaOH 0.1 N en presencia de fenolftaleína, de acuerdo con la siguiente reacción:



#### **7.2.2.7.1. CONTENIDO DE CALCIO, MAGNESIO, SODIO, POTASIO TOTALES**

Se determinó mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica en el filtrado, previa extracción mediante la digestión Perclórico : Nítrico de cada bioabono. Se leyó cada elemento a su respectiva longitud de onda. Análisis realizado en los Laboratorios de Suelos de la Secretaría de Agricultura en Popayán Cauca.

### 7.2.2.8. DETERMINACION DE FOSFORO Y AZUFRE

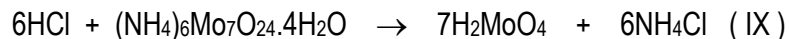
Para determinar la cantidad de estos elementos se realizó una digestión Perclórico/Nitríco (3:1), ya que las muestras son bioabonos.

#### 7.2.2.8.1. FOSFORO TOTAL

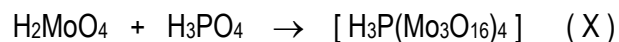
Del filtrado anterior se tomó una alícuota para la determinación de fósforo por Colorimetría a una longitud de 660 nm, y se interpoló en curva de calibración elaborada con patrones de  $\text{PO}_4^-$ .

El fósforo soluble se hizo reaccionar con Molibdato de Amonio y Tartrato de Antimonio y Potasio; de tal manera que desarrollo un color azul al reducirse el ácido ascórbico el cual se leyó a 660nm

Las reacciones se muestran a continuación:



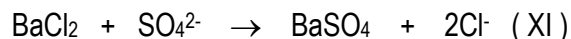
La formación del complejo ocurre así:



#### 7.2.2.8.2. AZUFRE

El azufre se determinó Turbidimétricamente; haciendo reaccionar el filtrado obtenido después de la digestión; con  $\text{BaCl}_2$ ; el cual reacciona con los iones sulfato formando un precipitado de sulfato de bario sobre el cual se adicionó Bactogelatina con el fin de mantenerlo en suspensión y así realizar la lectura a una longitud de onda de 420nm por espectrofotometría. Se extrapoló en curva de calibración con patrones de  $\text{SO}_4^-$ .

La reacción es:



#### **7.2.2.8.3. DETERMINACIÓN DE HIERRO, MANGANESO, COBRE Y ZINC**

Se determinó mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica en el filtrado, previa extracción mediante la digestión Perclórico : Nítrico de cada bioabono. Se leyó cada elemento a su respectiva longitud de onda. Análisis realizado en los Laboratorios de Suelos de la Secretaría de Agricultura en Popayán Cauca.

#### **7.2.2.9. CARACTERIZACION DE LA FRACCION HUMICA EN LOS BIOABONOS ( 3 )**

Con el objeto de evaluar el grado de Humificación de los cuatro bioabonos Providencia, Bocashi, Gallinaza y Lombricompost; se implementó la metodología que está siendo reglamentada por la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (ICONTEC) que comprende la determinación de Carbono orgánico en cada una de las fracciones y que se obtienen mediante una extracción alcalina de Las sustancias húmicas. Las fracciones comprenden el Extracto Humico Total, Sustancias similares a los Acidos Húmicos y Sustancias similares a los Acidos Fúlvicos. El extracto húmico total se define como el contenido de carbono total extraíble en medio alcalino.

La determinación de carbono orgánico del extracto húmico total (CEHT) de cada abono orgánico se realizó de la siguiente manera:

Se tomó determinada cantidad de bioabono, posteriormente se adicionó una solución de KOH al 4% y se centrifugó con el fin de separa la parte insoluble (Huminas) del sobrenadante el cual contiene tanto ácidos húmicos como ácidos fúlvicos. Se cuantificó el carbono orgánico al precipitado obtenido en este caso las huminas por el método "Walckley-Black". Al sobrenadante obtenido se le adicionó H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta pH=2, con el objeto de separar la fracción fúlvica de los ácidos húmicos y se

centrifugó con el fin de separar los ácidos húmicos de la fracción fúlvica. Se cuantificó el carbono orgánico del residuo obtenido en este caso de los ácidos húmicos; por el método “Walckley-Black”.

Posteriormente se determinó el Índice de Humificación ( $H_{R1}$ ); que se define como la relación del porcentaje de Carbono de los Ácidos Húmicos sobre el porcentaje de Carbono de la Fracción Fúlvica, con el objeto de evaluar el grado de humificación para cada bioabono.

### **7.3.EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS ABONOS SELECCIONADOS**

Con el objeto de evaluar agronómicamente los abonos seleccionados se realizó inicialmente un diagnóstico de la finca “AMARANTO” ubicada en el municipio de Cajibío; departamento de Cauca, para seleccionar el área donde posteriormente se realizó el ensayo del cultivo de Maíz Híbrido Amarillo (*Zea mays L.*); para ello se diseñaron varias unidades de muestreo con base en: topografía, tipo de cultivo y altura, manejo agronómico, etc. En cada unidad de muestreo se tomaron las respectivas submuestras para formar una muestra compuesta.

#### **7.3.1. OBTENCION DE LAS MUESTRAS DE SUELO A ANALIZAR**

- Se seleccionaron 6 muestras representativas de suelo de diferentes zonas de la finca, correspondientes a 6 unidades de muestreo.

Ubicación : Finca “AMARANTO”, municipio de Cajibío, departamento del Cauca.

#### **7.3.2. TOMA DE MUESTRAS DE SUELO**

- De cada unidad de muestreo, se tomaron varias muestras para formar una muestra compuesta, de acuerdo a la metodología implementada en el Departamento de Química, Universidad del Cauca ( 3 ).

Las muestras de suelo todavía húmedas se llevaron al laboratorio donde se sometieron a ciertas manipulaciones antes de su análisis, así:

- **Secado** : antes de secar las muestras del suelo, se tubo en cuenta que algunos análisis es mejor realizarlos con las muestra húmedas inmediatamente después de recogidas. Entre estos están: la acidez, potasio, intercambiable, fósforo extraído por ácidos, nitratos, amonios, hierro (II) intercambiable y potencial redox.
- Las muestras se secaron al aire extendiéndose en una mesa sobre papel limpio y aseado en donde se demoraron dos días en secar las muestra de suelo.
- **Molido** : Los agregados del suelo se rompieron con un rollo de madera en una mesa hasta apreciar una compactación, posteriormente las muestras de suelo se pasaron por el tamiz No.10. Luego se pesaron las dos porciones, la que quedó sobre el tamiz (grava) y el suelo tamizado.
- **Tamizado**: Las muestras de suelo provenientes del campo se pasaron por un tamiz de 2mm de orificio ( malla No. 10), se separó la graba y piedra que quedó en el tamiz que generalmente es menor del 1% de la capa arable.
- **Mezclado** : Ese realizó el proceso de cuarteo de cada muestra de suelo, se repite varias veces esta operación hasta tener una mezcla homogénea.
- **Pesada** : Una vez obtenida la muestra homogénea, se pesó en una balanza.
- **Almacenado** : Las muestras de suelo se guardaron dentro de frascos de vidrio transparente de boca ancha y por separado.

### 7.3.3. DETERMINACION FISICA

#### 7.3.3.1.HUMEDAD

Se determinó gravimétricamente por diferencia de peso, previo calentamiento de la muestra a 105°C durante 24 horas.

### **7.3.3.2. DETERMINACION DE LA DENSIDAD REAL**

La determinación de densidad real se realizó por el método del picnómetro. Este método es el más empleado para medir la densidad de los suelos, consiste en determinar la masa y el volumen de los sólidos del suelo a través de un frasco de volumen conocido, previa extracción del aire que esta entre las partículas del suelo en una campana de vacío. (13)

### **7.3.3.3. DETERMINACION DE TEXTURA**

Se determinó con el fin de conocer la cantidad de Arenas, Limos y Arcillas que contenga el suelo y así conocer su textura. Esta característica física en el suelo se usa como criterio importante para evaluar otras propiedades tales como pronosticar la capacidad de intercambios de cationes, como parámetros para clasificar los suelos y para evaluar la cantidad de suelo perdido por erosión. Se determinó esta propiedad mediante el hidrómetro o método de Bouyoucos ( 4 ).

Este método se fundamenta en “la ley de Stokes”; la cual plantea que la velocidad de sedimentación de las partículas en suspensión es directamente proporcional al cuadrado del radio de la partícula. Como esta ley se cumple para partículas esféricas, es necesario dispersar las partículas del suelo antes de medir su densidad.

Este método consiste en medir la densidad del suelo en agua, con un hidrómetro a diferentes tiempos: la primera se tomó a los 40 segundos de preparada la suspensión, tiempo en el cual se sedimentaron las arenas, midiéndose así la densidad de limos más arcillas. Luego se tomó otra lectura a las dos horas, tiempo en el cual se sedimentaron los limos quedando en suspensión las arcillas midiéndose por lo tanto la densidad de ellas.

#### **7.3.4. DETERMINACION QUIMICA**

##### **7.3.4.1. pH**

Se determinó potenciométricamente en una suspensión suelo : agua; 1:1 o 1:2.5 Esta determinación se realizó con el fin de conocer si los nutrientes presentes están en forma disponible.

( 4 )

##### **7.3.4.2 DETERMINACION DE MATERIA ORGANICA**

Para determinar el contenido de materia orgánica en los diferentes suelo se utilizó el método Walckley-Black ( 4 ). descrito anteriormente. El cual consiste en oxidar el carbono orgánico presente en el suelo con un oxidante en medio ácido; el oxidante empleado fué  $K_2Cr_2O_7$  1 N y el ácido fué  $H_2SO_4$  concentrado.

##### **7.3.4.3. DETERMINACION DE NITROGENO POR EL METODO KJELDAHL ( 4 )**

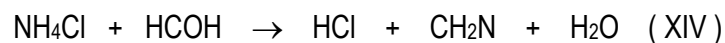
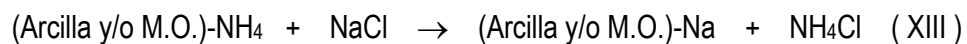
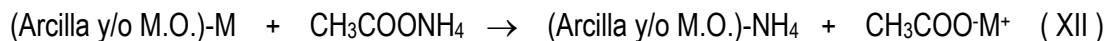
Este método es el utilizado universalmente para la determinación cuantitativa de nitrógeno procedente de diversos materiales como son los suelos, este método está basado en tres procesos químicos descritos anteriormente.

##### **7.3.4.4. RELACIÓN C/N**

Consiste en la relación del carbono determinado por el método Walckley-Black y el nitrógeno determinado por el método de Kjeldahl.

#### 7.3.4.5. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

Esta determinación se realizó con el fin de de determinar la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Inicialmente se hizo una extracción con acetato de amonio neutro 1N con el fin de reemplazar los cationes que tenga el suelo por el amonio, seguidamente se desplaza el ión amonio con Na<sup>+</sup> (NaCl al 10 %), por lo que el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> queda en forma de NH<sub>4</sub>Cl, se agregó formol neutralizado al 40 % y el HCl generado se tituló con NaOH 0.1 N en presencia de fenolftaleína. Simultáneamente se realizó un blanco. Las reacciones que ocurren son:



El número de cationes desplazados se determinaron titulando el HCl producido, con NaOH, siendo ésta una valoración ácido – base.

##### 7.3.4.5.1. BASES DE CAMBIO

Se determinó con el objeto de conocer la cantidad y disponibilidad de cada una de las bases de cambio. Los cationes del suelo se remueven con acetato de amonio quedando en solución los cationes en forma de acetato, se evaporó la solución a sequedad quedando los cationes en forma de óxidos y probablemente parte del material coloidal (Materia Orgánica), la cual se eliminó con tratamiento con agua regia, luego los óxidos se recogieron con ácido clorhídrico convirtiéndose en cloruros los cuales fueron diluidos y posteriormente se determinó por Espectrofotometría de Absorción Atómica los iones Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio; a las respectivas longitudes de onda.( 4 )



#### **7.3.4.6. DETERMINACIÓN DE FÓSFORO**

Se utilizó el método de Bray II adecuado para suelos con pH menor de 7, el cual consiste en la extracción con fluoruro de Amonio y ácido clorhídrico y posterior determinación colorimétrica a 660nm, basado en la formación de un complejo de fósforo con ácido molíbdico, como se describió anteriormente. ( 4 )

#### **7.3.4.7. DETERMINACION DE AZUFRE**

Consiste en extraer azufre con fosfato monocálcico, seguida del desarrollo de turbiedad debida a la formación de sulfato de bario ( mencionada anteriormente) y posterior determinación turbidimétrica a 420nm. ( 4 )

#### **7.3.4.8. . DETERMINACIÓN DE ELEMENTOS MENORES (HIERRO, MANGANESO, COBRE Y ZINC)**

Se determinó con el objeto de conocer la cantidad y disponibilidad de microelementos en las muestras de suelo. Los análisis se realizaron mediante la técnica de Espectrofotometría de Absorción Atómica en el filtrado, muestras tratadas previamente con DTPA. Se leyó cada elemento a su respectiva longitud de onda. Análisis realizado en los Laboratorios de Suelos de la Secretaría de Agricultura en Popayán Cauca.

#### **7.4. ELECCIÓN DEL ÁREA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO “El Colorao”**

Con base en el análisis físico y químico de las diferentes unidades de muestreo; se seleccionó el suelo más deficiente en nutrientes, con el objeto de evaluar el efecto de los bioabonos sobre el cultivo de maíz y sobre el suelo.

#### **7.4.1. PREPARACIÓN DEL TERRENO SELECCIONADO**

En el terreno seleccionado se realizó un proceso de labranza mínima que consiste en rozar y dejar el rastrojo en el lote, sin quemarlo. Preparado el suelo seleccionado; se realizó posteriormente el diseño siguiendo las curvas a nivel utilizando el sistema de franjas con barreras vivas.

#### **7.4.2. DISEÑO PARA LA SIEMBRA DEL MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO “El Colorao”**

En el lote seleccionado, se estableció un diseño experimental de bloques al azar con los diferentes tratamientos y tres repeticiones por tratamiento como se indica en el diagrama 2.

#### **7.4.3. SIEMBRA**

La siembra se realizó en forma manual con barretón y chuzo que permitieron penetrar la semilla unos 4 – 5 centímetros, dejando 3 granos de maíz Funk's G-5423 “El Colorao” por sitio. Para el proceso de Raleo, después de 20 días, se dejaron las dos mejores plantas por sitio.

#### **7.4.4. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS BIOABONOS FRENTE A UN FERTILIZANTE QUÍMICO Y A UN TESTIGO SOBRE EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

Se evaluó en forma general el porcentaje de germinación de las semillas de maíz, porcentaje de plantas en desarrollo, altura promedio (cm) en cada etapa de crecimiento de las plantas, cantidad de mazorcas y por último una correlación estadística ( prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, complementada con las pruebas paramétricas Anova y comparación múltiple de Duncan ) sobre la producción final de maíz ( peso de mazorca y peso de grano en Kilogramos) como el rendimiento (Ton/Ha) en los diferentes tratamientos.

## **7.5. EFECTO DE LOS BIOABONOS SELECCIONADOS SOBRE EL ESTADO FINAL DEL SUELO**

Con el objeto de evaluar el efecto de los abonos sobre el suelo se realizó el análisis físico y químico de éstos; después de terminada la cosecha, para ello se realizaron las determinaciones planteadas en el numeral 7.3.3. y 7.3.4.; y se comparó el estado inicial con el estado final del suelo de cada parcela.

## **7.6. CORRELACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ABONOS CON LA PRODUCCION DEL CULTIVO Y EL ESTADO FINAL DEL SUELO**

Para ello se realizó una correlación entre los parámetros utilizados para analizar la calidad de los abonos y los análisis físicos y químicos del suelo con respecto a la producción y rendimiento del cultivo de maíz híbrido amarillo (*Zea mays L.*).

## 8. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 8.1. EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

Con el objeto de evaluar la calidad y el grado de madurez de los bioabonos se implementó la metodología que está siendo reglamentada por la NORMA TÉCNICA COLOMBIANA (ICONTEC); los bioabonos analizados fueron los siguientes:

**ABONO 1** : Providencia

**ABONO 2** : Bocashi

**ABONO 3** : Lombricompost

**ABONO 4** : Gallinaza

Se realizaron los análisis físicos y químicos, sus resultados se reportan en la tabla 4.

**Tabla 4. RESULTADOS GENERALES DEL ANÁLISIS DE LOS BIOABONOS**

PARÁMETROS	MUESTRAS			
	BIOABONO 1	BIOABONO 2	BIOABONO 3	BIOABONO 4
	Providencia	Bocashi	Lombricompost	Gallinaza
<b>Propiedades Físicas</b>				
Humedad ( % )	7.45	20.8	22.0	20.6
Densidad ( g / ml )	0.64	0.58	0.57	0.47
Conductividad eléctrica (mS/cm)	74.6	99.1	98.4	99.7
Saturación ( % ) en Base Seca	102.63	342.40	275.61	392.61
<b>Propiedades Químicas</b>				
pH en H <sub>2</sub> O	7.06	8.03	7.38	8.35
Cenizas ( % )	26.79	37.4	39.7	52.8
Perdida por Volatilización ( % )	65.8	45.8	38.3	26.65
Σ Volatilización, Cenizas, Humedad ( % )	100.04	100.0	100.0	100.05
Carbono orgánico ( % )	7.86	13.96	21.51	24.04
Materia orgánica ( % )	13.56	24.08	37.09	41.45
Nitrógeno ( % )	1.54	2.22	2.15	2.62

Relación C/N	5.10	6.28	9.98	9.18
C.I.C. ( meq/100 g )	29.08	94.96	90.50	93.24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ( % )	0.26	3.92	5.41	4.92
K <sub>2</sub> O ( % )	0.88	2.04	1.0	1.30
Σ N,P,K	2.68	8.18	8.56	8.84
CaO ( % )	7.58	4.69	1.14	2.38
MgO ( % )	0.96	0.60	0.34	0.28
Relación Ca/Mg	9.32	9.30	4.10	10.6
S ( % )	0.21	0.25	0.23	0.28
Na ( % )	0.10	0.59	0.72	0.69
Fe ( ppm )	788.4	470.3	580.0	208.9
Mn ( ppm )	407.1	320.0	212.6	210.6
Cu ( ppm )	59.4	42.1	37.0	25.8
Zn ( ppm )	271.4	257.3	160.8	147.0

### 8.1.1. VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS

#### 8.1.1.1. HUMEDAD

El porcentaje de Humedad óptimo en un abono orgánico según la Norma Técnica Colombiana (27) es del 20 al 35%. En el análisis realizado y reportado en la tabla No. 4; se encontró que los bioabonos 2, 3 y 4 presentan un valor que está dentro de este rango, garantizando una estabilidad como bioabonos y evita el fenómeno de la Diestéresis; para el bioabono 1 la humedad está por debajo de este rango y se puede atribuir al bajo contenido de materia orgánica, implicando ya un inconveniente para este tipo de abonos.

#### 8.1.1.2. DENSIDAD

La densidad apropiada para los abonos orgánicos es alrededor de 0.6 g / cc;( Norma Técnica Colombiana). (27) Según los datos reportados en la Tabla No. 4, para los abonos analizados se encontró que todos los bioabonos presentan un valor cercano al óptimo, el bioabono 1 presenta un valor ligeramente superior al óptimo, confirmando nuevamente que este bioabono presenta un valor bajo de materia orgánica. Indicando así que la materia orgánica influye sobre la variable densidad.

### 81.1.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

La norma ICONTEC no reporta un valor de Conductividad Eléctrica pero según análisis realizados en bioabonos como el Bocashi; se encontró una conductividad eléctrica alrededor de 91.0 mS/cm. (35) Según los datos reportados en la tabla No. 4, se observó que los bioabonos 2, 3 y 4 presentan un valor cercano al reportado, con respecto al bioabono 1; obtuvo el menor valor de conductividad eléctrica. Por lo tanto los tres últimos bioabonos presentan mayor contenido de sales solubles atribuido a la alta capacidad de intercambio catiónico presente en ellos, garantizando un suministro apropiado de bases de cambio al suelo de tal manera que en suelos ácidos hace que ocurra un intercambio de bases por el Aluminio Intercambiable presente en la solución, evitando así la toxicidad producida por este elemento, ya que induce a su precipitación al lograr regular el valor de pH. En suelos alcalinos hace que ocurra una retención de sales en exceso impidiendo que pasen a la solución del suelo.

### 8.1.1.4. PORCENTAJE DE SATURACIÓN O CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA

Los resultados se reportan en la tabla 5

Tabla 5. Valoración del Porcentaje de Saturación o capacidad de Retención de Agua para los bioabonos

PARAMETRO		BIOABONOS			
		BIOABONO 1	BIOABONO 2	BIOABONO 3	BIOABONO 4
Saturación (%)	Base Húmeda	95	285	215	311.7
	Base Seca	102.63	342.40	275.61	392.61

Teniendo en cuenta el porcentaje de saturación en base húmeda reportados en la tabla 5, se observa que el bioabono 1 no cumple con la Norma Técnica Colombiana, ya que retiene menos de su peso en agua; lo que se puede atribuir a la deficiencia de materia orgánica, los otros tres bioabonos sí cumplen la norma ya que su retención es mayor de su peso en agua. Para comparar los cuatro bioabonos se utilizó la capacidad de retención de agua en base seca, allí se pudo apreciar que el bioabono 4 retiene mayor agua que los otros bioabonos, pero que los bioabonos 2 y 3 también presentaron una alta retención.

Esta propiedad es importante ya que al aplicarlos al suelo, favorecen la actividad biológica de éste, de tal manera que se favorecen los procesos de mineralización y humificación, así como de suministro de nutrientes a las plantas, sobre todo favorece al suelo en época de sequía, evitando el estrés por falta de agua. La capacidad de retención de agua del bioabono 1 no es tan alta, indicando nuevamente deficiencia desde el punto de vista físico para este bioabono.

De acuerdo a Barreto 2002 (3); la capacidad de retención de agua es inversamente proporcional a la densidad y a su vez está relacionada con la materia orgánica, como se puede apreciar en la tabla No. 4; la menor densidad y la mayor cantidad de materia orgánica la presentó el bioabono 4 y por lo tanto ésta presentó la mayor capacidad de retención de agua, cumpliéndose de esta manera la relación de que a menor densidad hay mayor capacidad de retención de agua

## 8.1.2. VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

### 8.1.2.1. pH

El rango óptimo de pH para un bioabono según la Norma Técnica Colombiana (27) esta en un rango entre 5.0 – 8.5, ésto garantizará la mínima pérdida de Nitrógeno en forma de gas amonio. Según los datos reportados en la tabla No. 4, se encontró que todos los bioabonos presentaron un valor de pH dentro del rango óptimo.

De lo anterior se puede decir en general que el valor de pH de estos bioabonos favorece el desarrollo de los microorganismos para mantener su actividad y permitir que degraden la materia orgánica con el fin de obtener elementos disponibles tanto para el suelo como para la planta.

### 8.1.2.2. PERDIDA POR CALCINACIÓN

Los resultados se reportan en la tabla 6

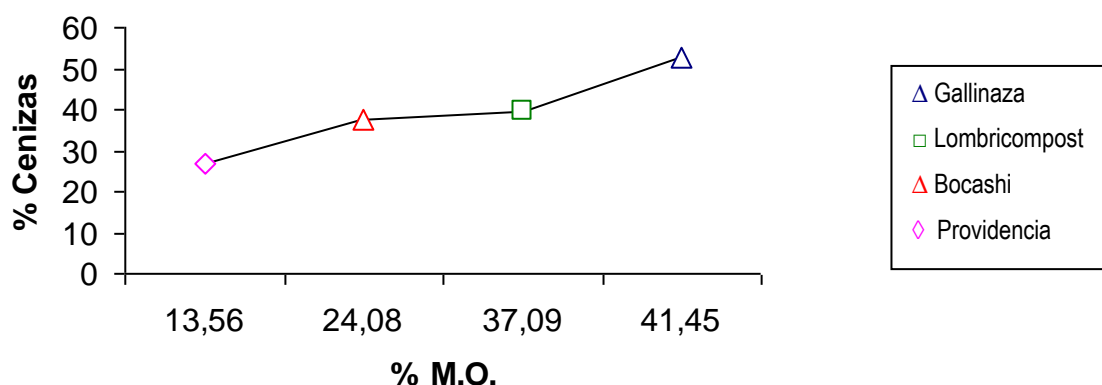
Tabla 6. Valoración de la Pérdida por Calcificación para los bioabonos

PARAMETRO	BIOABONOS			
	BIOABONO 1	BIOABONO 2	BIOABONO 3	BIOABONO 4
Cenizas ( % )	26.79	37.4	39.7	52.8
Perdida por Volatilización ( % )	65.8	45.8	38.3	26.65
Σ Volatilización, Cenizas, Humedad ( % )	100.04	100.0	100.0	100.05

Con el término cenizas, se pretende conocer el contenido de material inorgánico presente en los bioabonos. Sin embargo, dadas las características de los protocolos tradicionales empleados se incluye en la valoración una fracción orgánica que corresponde al carbono orgánico fijo. Se espera que esta variable se relacione en forma inversa con el contenido de materia orgánica volátil.

Como se aprecia en la tabla 6, el bioabono 4 presentó el mayor contenido de cenizas y el bioabono 1 presentó un menor contenido, se puede correlacionar los contenidos de cenizas, con los porcentajes de materia orgánica, ya que se observa en la figura 1, a mayor cantidad de materia orgánica hay mayor porcentaje de cenizas y por lo tanto menor pérdida por volatilización y menor material orgánico volátil, implicando de esta manera un mayor contenido de carbón orgánico fijo que significa presencia de sustancias húmicas estables no volátiles que le confieren a este tipo de bioabonos una estabilidad química, que al llegar al suelo favorecerán la formación de complejos arcillo – húmicos estables y permitirán la formación de un humus apropiado confiriéndole de esta manera una adecuada bioestructura al suelo. Las sustancias húmicas estables presentan una alta retención de minerales por intercambio catiónico, por esto se observa mayor contenido de éstos a mayor porcentaje de Materia Orgánica.

Figura. 1 Correlación entre el contenido de Cenizas y el contenido de Materia Orgánica.





De acuerdo a la Norma técnica Colombiana (27) el valor apropiado de cenizas para un bioabono debe estar en un rango entre 18 – 56,%, según los datos reportados en la tabla No. 6 los cuatro bioabonos cumplieron con este requisito, sin embargo el bioabono 1 presenta el valor más bajo en el porcentaje de cenizas

### **8.1.2.3. MATERIA ORGÁNICA**

De acuerdo a las Normas ICONTEC; un abono orgánico debe tener un valor de materia orgánica del 25%. De acuerdo a los datos obtenidos en la tabla No. 4, El bioabono 2 presenta un valor ligeramente inferior, mientras que el bioabono 1 es muy bajo, indicando un alto grado de mineralización o poca fuente de materia orgánica en su proceso de compostaje.

Si el contenido de materia orgánica es muy bajo, no se puede considerar como un bioabono, este es el caso del abono 1, porque al llegar al suelo no serviría como fuente de energía para los microorganismos de éste y no aportaría como carga microbiana ni enzimática necesaria para el proceso de humificación. Además no retendría suficientes nutrientes porque su Capacidad de Intercambio Cationico sería baja.

En el caso del bioabono 2 se puede complementar con alguna fuente de materia orgánica para llegar al nivel del 25 % ya que su deficiencia es pequeña. Los bioabonos 3 y 4 presentan un valor alto de materia orgánica por lo tanto podrían ser fuente apropiada para un suelo muy meteorizado con bajo nivel de materia orgánica. Sin embargo su aplicación en suelos con alto contenido de materia orgánica puede servir para suministrar una carga microbiana y enzimática que ayude a transformar la materia orgánica acumulada para efectuar un proceso de mineralización y de humificación adecuado.

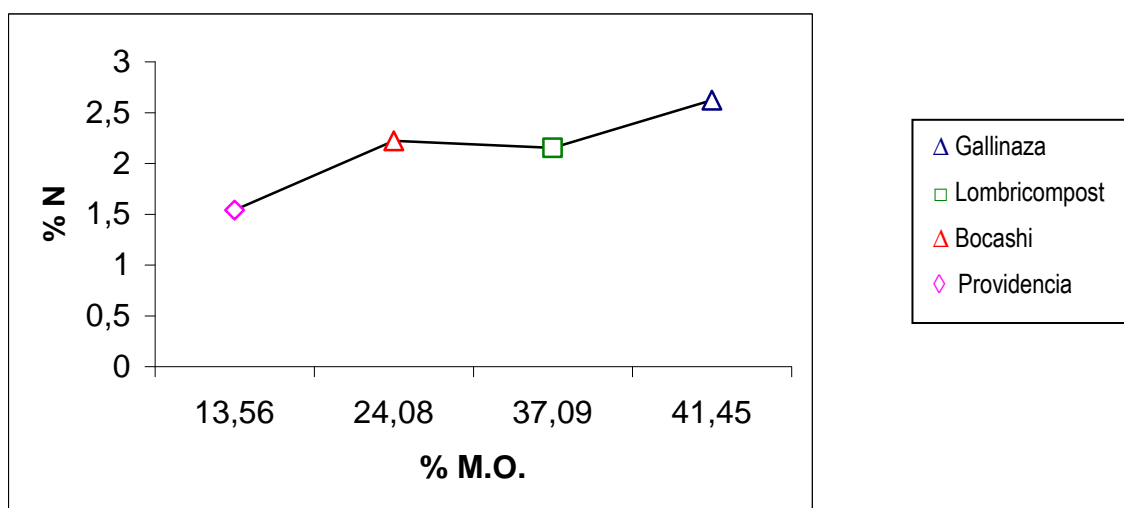
No solamente este parámetro indica la calidad del bioabono, sino que además es necesario evaluar su grado de humificación, con el fin de verificar si ha habido un proceso de biodegradación óptima de la materia orgánica presente en estos bioabonos que garanticen mejorar las condiciones tanto físicas como químicas del suelo.

#### 8.1.2.4. NITRÓGENO

Las Normas ICONTEC que está siendo implementada no estipula un valor óptimo de Nitrógeno, sino que plantea declarar el % Nitrógeno si es mayor de 1 %. Como se aprecia en la figura 2, el contenido de nitrógeno está directamente relacionado con la materia orgánica, de tal forma que a mayor contenido de materia orgánica mayor será en contenido de nitrógeno.

Según Arango (2); el contenido de Nitrógeno en un compost obtenido a partir de flores está entre 1 – 3%. Según los datos reportados en la tabla 4, en general todos los bioabonos están dentro de este rango, sin embargo el bioabono 4 que contiene gallinaza genera más nitrógeno que los demás bioabonos; esto permite deducir que los estiércoles pueden actuar como fuente principal de nitrógeno y que al ser mezclados con otros residuos se mejoran las condiciones.

Figura 2. Correlación entre el contenido Nitrógeno y el contenido de Materia Orgánica



Sin embargo un alto contenido de Nitrógeno no garantiza mejor calidad del bioabono, por eso se debe tener en cuenta la relación C/N que indica si existe un proceso de mineralización o humificación adecuado

Analizando la relación C/N; en la tabla 4 se aprecia que los bioabonos 3 y 4 están dentro del rango óptimo ( 8 – 12 ); mientras que los bioabonos 1 y 2 presentan una relación C/N por debajo del rango, indicando que en estos últimos se produce una liberación de nitrógeno por proceso de denitrificación y una alta mineralización que conduce a pérdida excesiva de Materia Orgánica, esto confirma que es necesario aumentar la Materia orgánica de estos dos bioabonos como se mencionó anteriormente.

#### **8.1.2.5. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO**

La capacidad de intercambio catiónico debe ser mínimo de 30 meq/100g ( Norma Técnica Colombiana ); según los datos reportados en la tabla 4, se encontró que los bioabonos 2, 3 y 4 superan este valor, atribuido al alto contenido de materia orgánica presentes en ellos. A demás cabe resaltar que estos tres bioabonos presentan un porcentaje de humedad y pH óptimos; condiciones ideales que garantizan una alta retención de nutrientes disponibles tanto para el suelo como para las plantas.

Esta alta capacidad de intercambio cationico puede garantizar un suministro apropiado de bases de cambio para el suelo, mejorando las condiciones de suelos ácidos, de tal manera que hace que ocurra un intercambio de bases por el Aluminio intercambiable presente en la solución, evitando así la toxicidad producida por este elemento, ya que induce a su precipitación al lograr regular el valor del pH. En suelos alcalinos, esta alta Capacidad de Intercambio Catiónico presente en estos abonos, lograrían retener por adsorción bases que están en exceso en la solución del suelo, evitando así su toxicidad. Con respecto al bioabono 1, éste presenta una baja capacidad de intercambio catiónico, atribuido al bajo contenido de materia orgánica siendo un inconveniente para aplicarlo al suelo ya que tendría capacidad para retener los nutrientes.

#### **8.1.2.6. CONTENIDO DE CALCIO, MAGNESIO**

Los resultados se reportan en la tabla 7

Tabla 7. Valoración de la Cantidad de Calcio y Magnesio presentes en los bioabonos

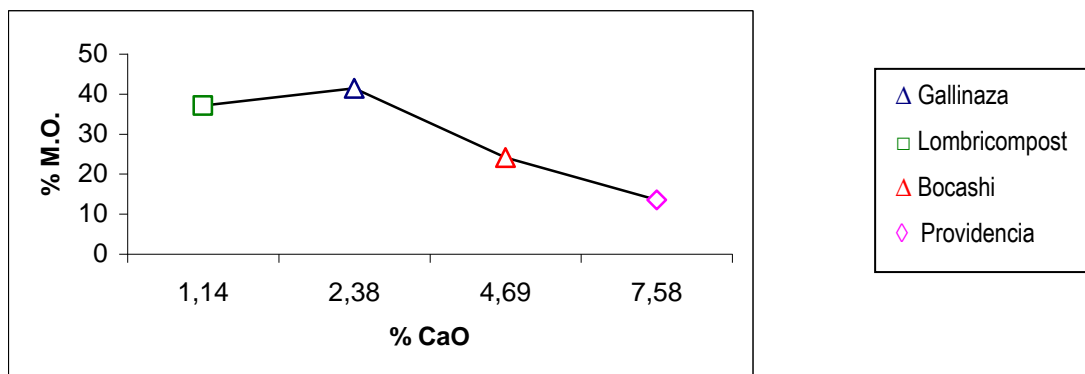
PARAMETRO	BIOABONOS			
	BIOABONO 1	BIOABONO 2	BIOABONO 3	BIOABONO 4
CaO ( % )	7.58	4.69	1.14	2.38
MgO ( % )	0.96	0.60	0.34	0.28
Relación Ca / Mg	9.32	9.30	4.10	10.6

La Norma Técnica Colombiana no reporta un rango específico de Calcio para abonos orgánicos; pero según Arango (2) encontró alrededor del 2% de CaO en abonos de este tipo. Por lo tanto los análisis realizados y reportados en la tabla 7, muestran que el bioabono 1 presenta elevados niveles de Calcio. Igualmente el bioabonos 2 supera el valor encontrado por Arango

Los altos valores se pueden atribuir a que en el proceso de compostación se utiliza como materia prima fuentes de Fosforo y Calcio, tales como la Fosforita Huila, el Calfos o Dolomita que son de lenta mineralización, pero que influyen en el proceso de mineralización de la Materia Orgánica como lo reportan Bravo et al (2000) y Primavesi et al ( 1984), en el sentido de que aumentan los valores de pH por encima de 8.5 y de esta manera las sustancias similares a los ácidos húmicos se convierten en ácidos fúlvicos que son altamente solubles y finalmente se transforman en elementos o moléculas muy pequeñas que se pierden por lixiviación por tanto disminuye el contenido de materia orgánica.

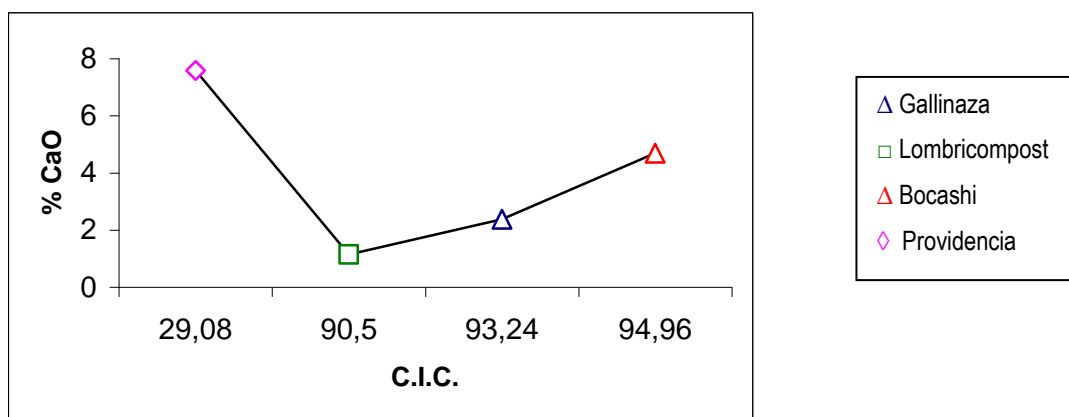
Como se aprecia en la figura 3, el contenido de Calcio está relacionado de manera inversa con el contenido de materia orgánica, es decir a medida que aumenta el contenido de calcio, disminuye el contenido de Materia Orgánica en los bioabonos.

Figura 3. Correlación entre el contenido de Materia orgánica y el contenido de CaO



Por otra parte, se puede apreciar en la figura No. 4 que el contenido de Calcio está directamente relacionado con la C.I.C., donde a medida que aumenta el valor de C.I.C, aumenta el contenido de Calcio. Presentándose una excepción con el bioabono 1, el cual presenta el mayor contenido de Calcio a una menor C.I.C., implicando como se explicó anteriormente que el calcio de este bioabono no está totalmente retenido en forma catiónica por el abono, sino que es probable que aún esté en forma de Fosforita Huila, Dolomita o Calfos; cabe resaltar que este resultado no influye en el pH del bioabono 1, ya que el contenido Calcio presente, no se encuentra totalmente mineralizado.

Figura 4. Correlación entre el contenido de CaO y la Capacidad de Intercambio Catiónico



De igual forma se explica los altos contenidos de magnesio encontrados en los bioabonos 1 y 2, reportados en la tabla 7, atribuidos a la Dolomita utilizada en el proceso de compostación, implicando que no todo ese magnesio está retenido en forma catiónica por las cargas negativas del bioabono, sino que aún está en las formas agregadas, como se deduce de las figuras 5 y 6, donde se observa que el contenido de Magnesio está relacionado de manera inversa con el contenido de cenizas y la C.I.C., se observa en particular que el bioabono 1 presenta el mayor contenido de Magnesio, pero el menor contenido de cenizas y la menor capacidad de intercambio catiónico.

Figura 5. Correlación entre el contenido de MgO y el contenido de Cenizas.

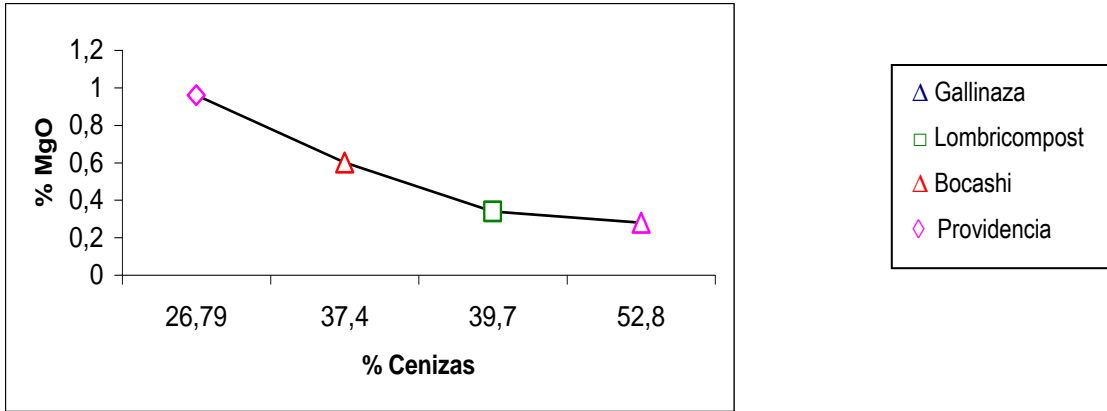
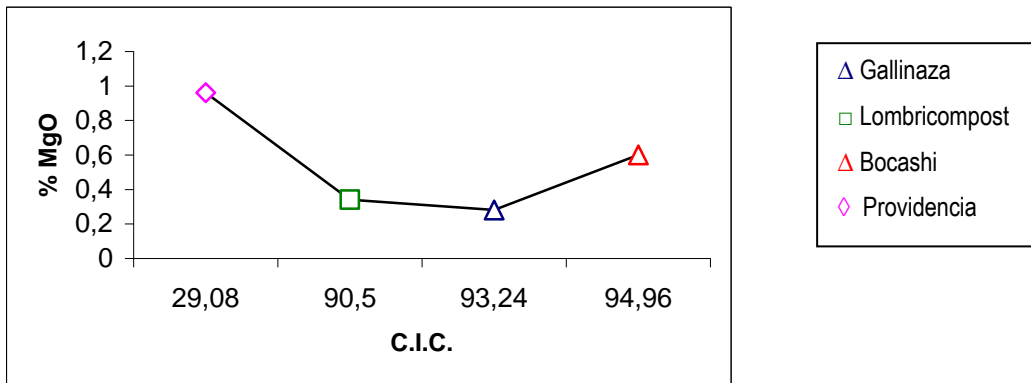


Figura 6. Correlación entre el contenido de MgO y la Capacidad de intercambio Catiónico.



### 8.1.2.7. POTASIO

Los resultados se reportan en la tabla 8

Tabla 8. Valoración del Porcentaje de Potasio para los bioabonos

PARAMETRO	BIOABONOS			
	BIOABONO 1	BIOABONO 2	BIOABONO 3	BIOABONO 4
K <sub>2</sub> O (%)	0.88	2.04	1.0	1.30

La norma ICONTEC no reporta un valor mínimo de potasio, plantea que este valor se reporte si es mayor del 1 %. Por otra parte el contenido de Potasio para un bioabono propuesto por la asociación Alemana de Sustancias Húmicas, está dentro del rango de 1.2 – 3.6 %  $K_2O$ , según los resultados obtenidos en la tabla 8, los bioabonos 2 y 4 están dentro del rango óptimo, indicando que pueden ser fuente de este nutriente para el suelo. Con respecto al bioabono 1 su valor está por debajo del rango óptimo; lo que significa deficiencia de este elemento y por lo tanto no puede ser considerado como fuente de este nutriente. El bioabono 3, presenta un valor ligeramente inferior a este rango, por lo tanto no aportaría la cantidad suficiente de este nutriente cuando se aplique al suelo, pero sí impediría que se pierda fácilmente por lixiviación o que sea adsorbido sobre las arcillas.

En las figuras 7 y 8 se pueden apreciar las relaciones que existen entre el contenido de Potasio y el contenido de cenizas y la capacidad de Intercambio catiónico respectivamente. Se observa entonces que el contenido de Potasio está directamente relacionado con la Capacidad de Intercambio Cationico, donde a mayor C.I.C, mayor será el contenido de Potasio. En cuanto al contenido de Cenizas también se aprecia en forma general que a mayor contenido de Cenizas hay mayor contenido de potasio, con la excepción del bioabono 2 que presenta el mayor contenido de Potasio a pesar de que no tiene el mayor contenido de cenizas, pero sí presenta el mayor valor de capacidad de Intercambio Cationico. Esto se puede atribuir a que en la preparación de este bioabono se utiliza como fuente de humedad, efluentes de biodigestores que presentan altos contenidos de este elemento y que tiene la capacidad de retención de éste, como lo reporta Bravo et al ( 4 )

Figura 7. Correlación entre el contenido de  $K_2O$  y el contenido de Cenizas

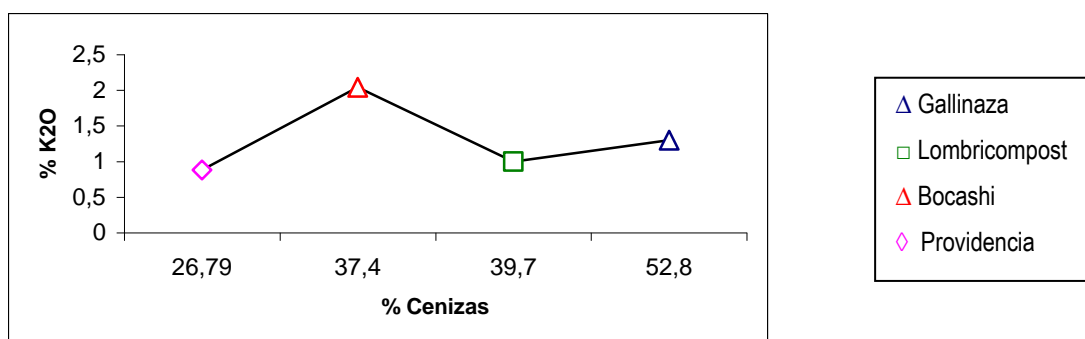
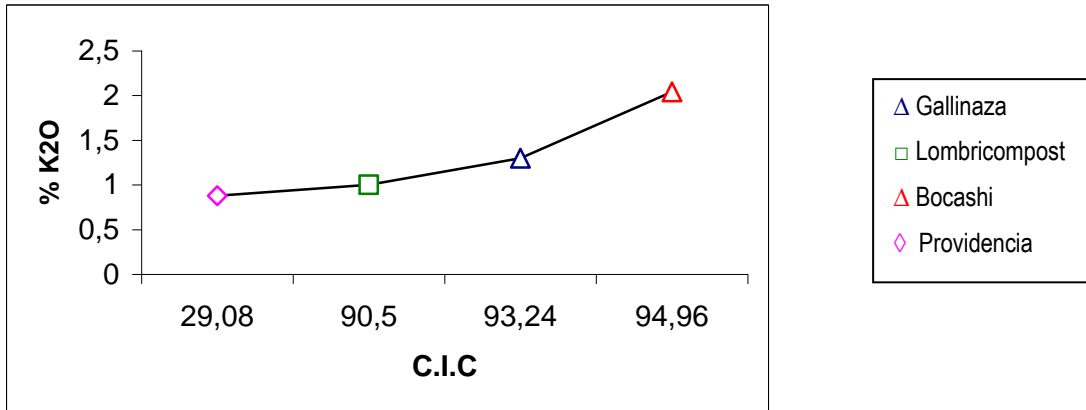


Figura 8. Correlación entre el contenido de  $K_2O$  y la Capacidad de Intercambio catiónico



#### 8.1.2.8. SODIO

Los niveles de Sodio en los cuatro bioabonos según la tabla No. 4; están por debajo de 1%, factor importante puesto que no aportarían salinidad al suelo. Según las figuras 9 y 10, se observa que el contenido de Sodio está directamente relacionado con el contenido de cenizas y la capacidad de intercambio catiónico, es decir a medida que aumenta el contenido de cenizas, aumentará el contenido de Sodio en los bioabonos. Igualmente pasa con la CIC ya que a medida que aumenta la CIC, hay mayor cantidad de Sodio, como es de esperarse, implicando una retención por adsorción de este elemento sobre el coloide orgánico.

Figura 9. Correlación entre el contenido de Sodio y el contenido de Cenizas.

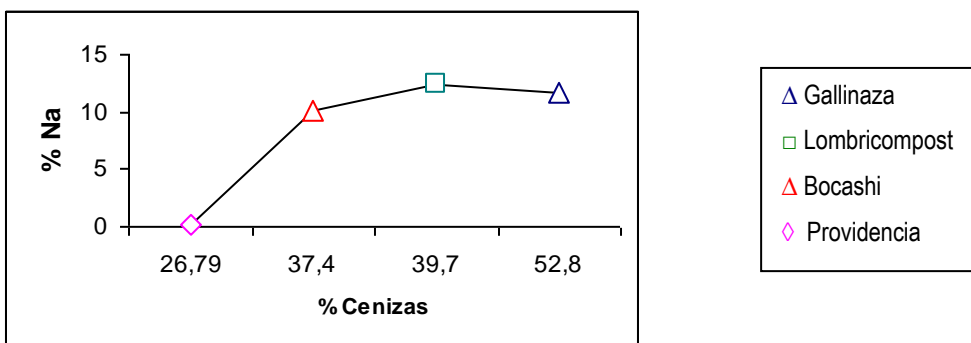
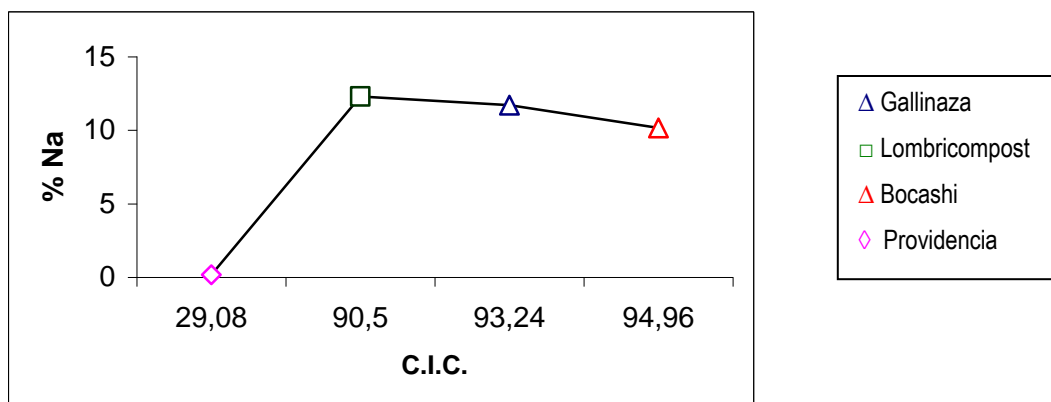




Figura 10. Correlación entre la Capacidad de Intercambio catiónico y el contenido de Sodio



#### 8.1.2.9. FÓSFORO

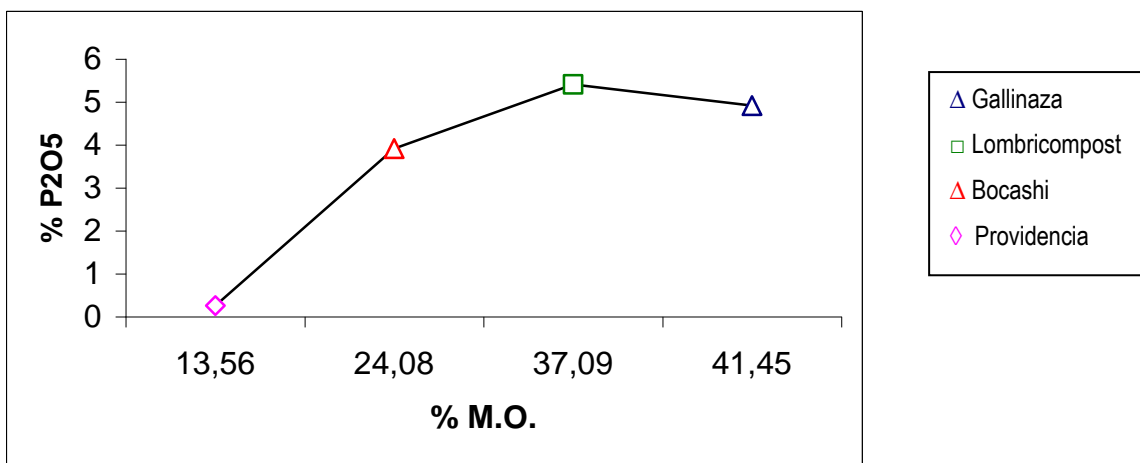
Según los datos reportados en la tabla 4, se encontró que los bioabonos 2, 3 y 4 presentan un alto contenido de fósforo, valores que sobrepasan el 2% ( Norma Técnica Colombiana ). Asumiendo así que estos bioabonos pueden servir como fuente de fósforo para un suelo, atribuible probablemente a la materia orgánica humificada que presenta sustancias con moléculas que contienen este elemento tales como la fitina. Al llegar al suelo estos abonos impiden que el Aluminio atrape el Fósforo y lo precipite.

En particular el bioabono 3 presenta mayor disponibilidad de Fósforo, se observa que el lombricompost ejerce un efecto de control en la disponibilidad, importante para que el Fósforo no forme otros compuestos, sino que la planta lo asimile directamente evitando así pérdidas de este nutriente. Con respecto al bioabono 1, presenta un contenido de este macroelemento muy inferior al valor óptimo; indicando así que no puede ser fuente de este nutriente para el suelo.

Según la figura 11 se puede decir que el contenido de Fósforo está directamente relacionado con la cantidad de materia orgánica, ya que a mayor porcentaje de materia orgánica, mayor será el contenido de Fósforo, con excepción del bioabono 3 que a pesar de tener menor materia orgánica que el bioabono 4, presenta mayor contenido de Fósforo, indicando que la Lombriz Roja californiana

hace una contribución significativa en la degradación de compuestos orgánicos como la fitina, permitiendo su transformación y por lo tanto su aporte al bioabono para que sirva como fuente de este nutriente, esto confirma lo reportado en Bravo et al (1998)

Figura 11. Correlación entre el contenido de  $P_2O_5$  y el contenido de Materia Orgánica.



#### 8.1.2.10. SUMATORIA DEL CONTENIDO DE MACROELEMENTOS

Los resultados se reportan en la tabla 9

Tabla 9 Sumatoria del Contenido de macroelementos en los bioabonos

PARAMETRO	BIOABONOS			
	BIOABONO 1	BIOABONO 2	BIOABONO 3	BIOABONO 4
$\sum N, P, K (\%)$	2.68	8.18	8.56	8.84

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana, los valores por separado de estos elementos no se consideran, sino la sumatoria, que debe ser alrededor de 10.0. Según los datos reportados en la tabla 9, los bioabonos 2, 3 y 4 presentan una sumatoria cercana a 10; indicando que estos bioabonos pueden considerarse como fuente de macronutrientes para el suelo. El Nitrógeno y el Fósforo se pueden atribuir probablemente a los altos valores de materia orgánica presentes en estos bioabonos, el Potasio por su parte puede atribuirse a los altos valores de Capacidad de Intercambio Catiónico, tal como se mencionó anteriormente.

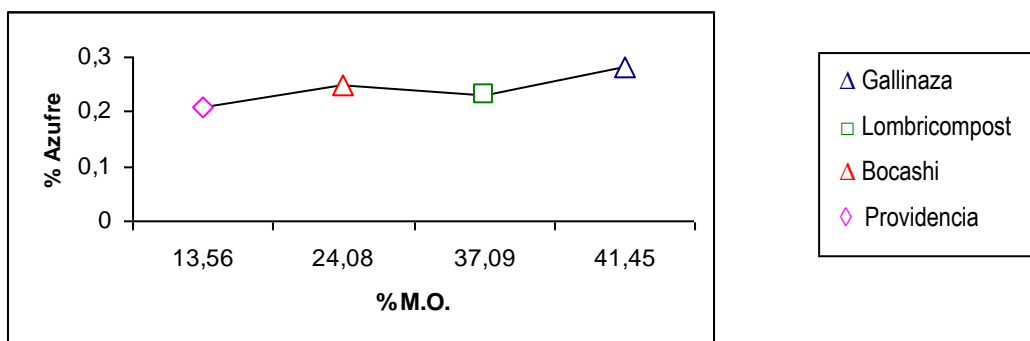
En cambio el bioabono 1 presenta una sumatoria muy baja, por lo tanto no puede considerarse como fuente de estos elementos y se explica por su bajo contenido de materia orgánica y su baja capacidad de intercambio catiónico.

### 8.1.2.11. CONTENIDO DE AZUFRE

La Norma Técnica Colombiana no establece un parámetro para este elemento en un abono orgánico, pero de acuerdo a los datos reportados por Arango (2); un bioabono obtenido en procesos de compostación similares presenta un valor de 0.13 % de Azufre. Según los datos registrados en la tabla No. 4, todos los bioabonos presentan valores superiores al encontrado por Arango, siendo un aporte importante sobre todo para suelos ácidos donde este nutriente es fácilmente adsorbido en forma aniónica y por lo tanto deficiente para los cultivos. Por lo tanto, los cuatro abonos se pueden considerar como fuente de Azufre para el suelo.

Los nutrientes Azufre, Fósforo y Nitrógeno, en abonos orgánicos provienen principalmente de la Materia Orgánica, en la figura 12; se aprecia que generalmente al aumentar el contenido de Materia Orgánica hay tendencia a incrementar el contenido de Azufre, aunque no existe una diferencia notoria entre el contenido de azufre de los cuatro bioabonos, significando que las moléculas que aportan este nutriente a los bioabonos que generalmente son proteínas, presentan el mismo grado de condensación en los cuatro bioabonos.

Figura 12. Correlación entre el contenido de Azufre y el contenido de materia orgánica.



### 8.1.2.12. MICROELEMENTOS

La NORMA TECNICA COLOMBIANA, no reporta un requerimiento numérico en microelementos, pero según Kiell (17), el contenido de hierro en un bioabono debe ser de 1000 ppm. Según los resultados obtenidos y reportados en la tabla No. 4, todos los abonos están por debajo de este valor, implicando que no aportan suficiente hierro como fuente de nutriente para el suelo, esto se atribuye probablemente a que los materiales con los que se prepararon estos bioabonos son deficientes en hierro, por lo tanto se deben formular con una fuente de este elemento para servir como fuente de este nutriente.

Según las figuras 13 y 14, se observa que el contenido de cenizas como de materia orgánica están relacionadas de manera inversa con el contenido de Hierro; a mayor contenido de cenizas y materia orgánica menor es la concentración de hierro en los bioabonos, implicando probablemente una quelatación fuerte de este micronutriente por parte de la Materia Orgánica, formando uniones fuertes de tipo organomineral que son los que le dan estabilidad al humus.

Figura 13. Correlación entre la concentración de Hierro y el contenido de Cenizas.

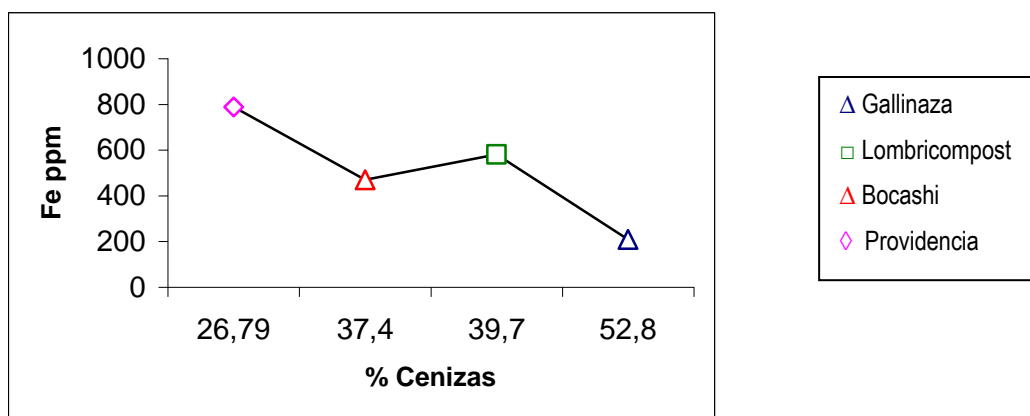
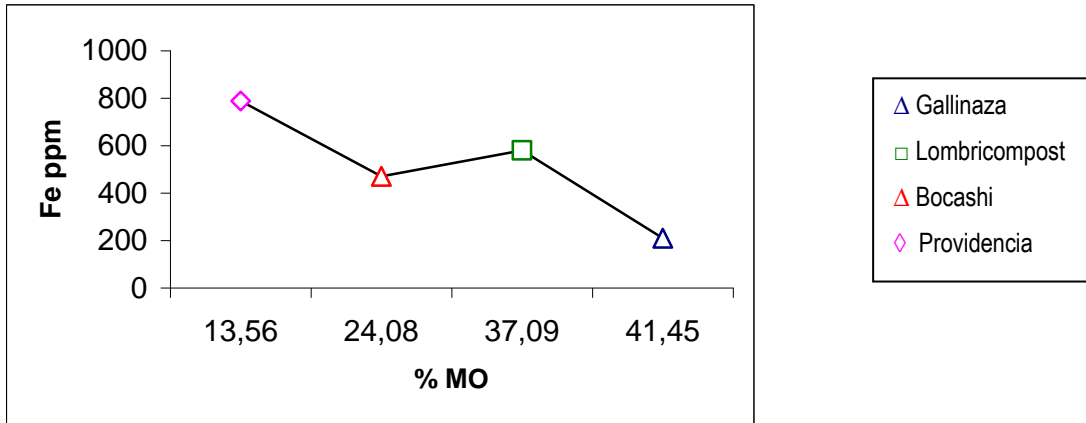


Figura 14. Correlación entre la concentración de Hierro y el contenido de materia orgánica.



Por otra parte, el contenido de Manganeseo en un bioabono de acuerdo a Kiell ( 17 ), debe estar alrededor de 2000 ppm. Según los resultados obtenidos y reportados en la tabla No. 4, todos los abonos presentan deficiencia de este micronutriente, implicando que no aportan suficiente Manganeseo. Según las figuras 15 y 16, se observa que el contenido de cenizas como de materia orgánica están relacionadas de manera negativa con el contenido de Manganeseo; a mayor contenido de cenizas y materia orgánica menor es la concentración de Manganeseo en los bioabonos, indicando nuevamente que hay una fuerte quelatación por parte de la Materia orgánica, volviendolo indisponible tanto para las plantas como para el suelo, esto misma relación la reporta Guerrero et al (1980)

Figura 15. Correlación entre la concentración de Manganeseo y el contenido de Cenizas

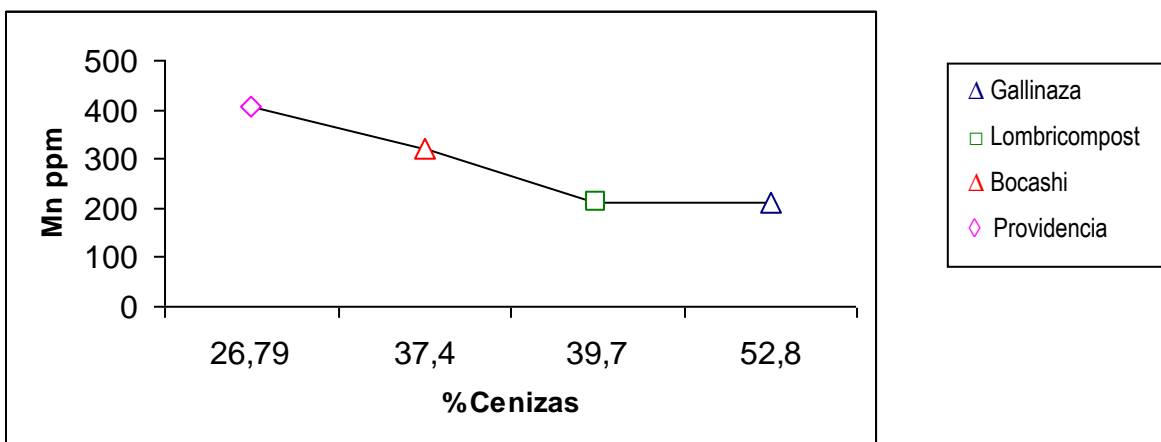
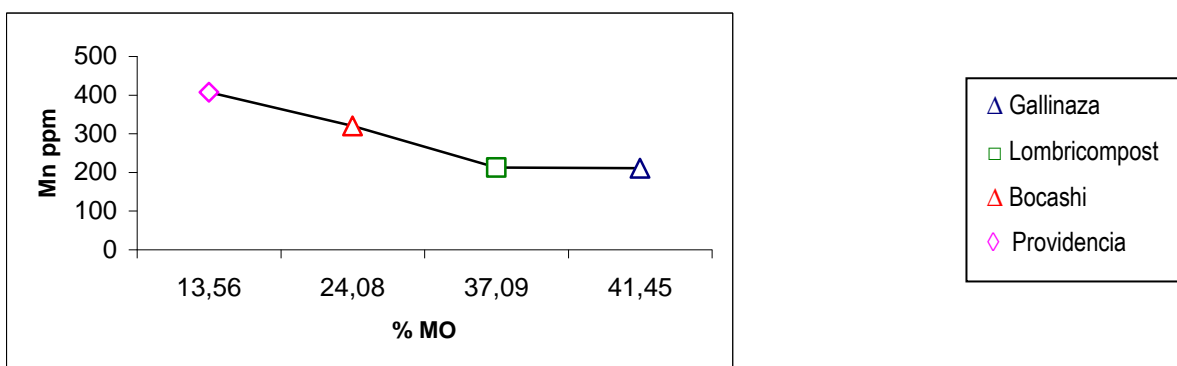


Figura 16. Correlación entre la concentración de Manganeso y el contenido de materia Orgánica.



La NORMA TECNICA COLOMBIANA y la Asociación Alemana de Sustancias Húmicas, recomiendan que la concentración de Cobre sea mínima de 140 ppm; pero según Kiell (17) la concentración de este elemento en un bioabono debe estar alrededor de 500ppm. Con respecto al Zinc, la Asociación Alemana de Sustancias Húmicas recomienda que la concentración de este elemento sea al rededor de 233 ppm y según Kiell la concentración debe ser de 500 ppm. Según los datos reportados en la tabla No. 4, para Cobre; los cuatro bioabonos presentan valores inferiores a los reportados anteriormente, indicando que éstos no presentan ningún nivel de toxicidad al suelo y a la planta, pero esto no indica que sean una buena fuente de este micronutriente ya que los valores encontrados son inferiores de los valores reportados.

Según las figuras 17 y 18, se observa que el contenido de cenizas como de materia orgánica están relacionadas de manera inversa con el contenido de Cobre; a mayor contenido de cenizas y materia orgánica menor es la concentración de Cobre en los bioabonos.

Figura 17. Correlación entre la concentración de Cobre y el contenido de Cenizas

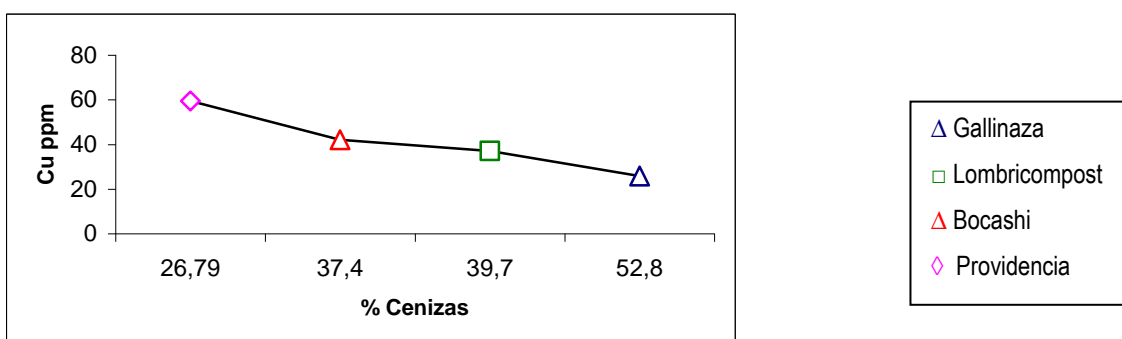
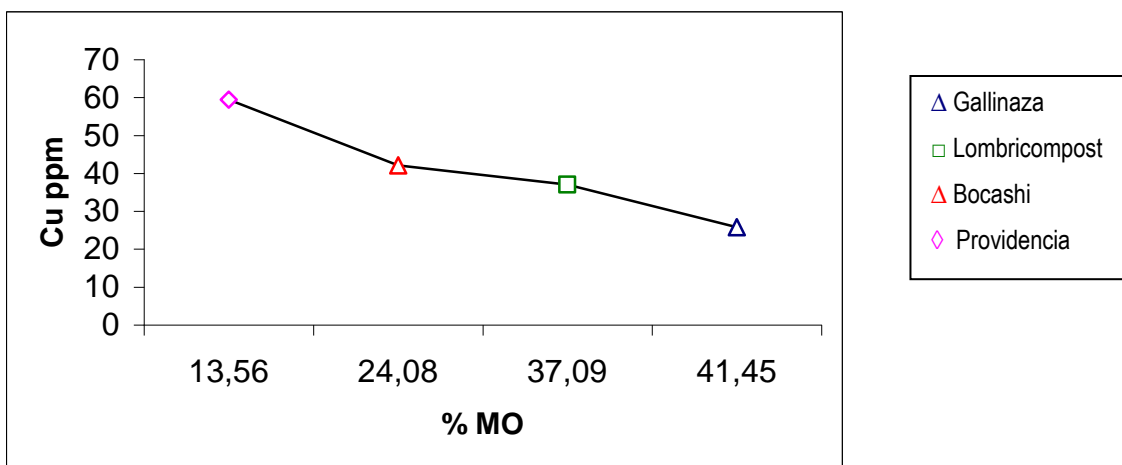


Figura 18. Correlación entre la concentración de Cobre y el Contenido de Materia orgánica.



Por otra parte los datos reportados en la tabla No. 4 para el micronutriente Zinc, se encontró que los abonos 1 y 2 presentan un valor cercano al reportado por la Asociación Alemana de Sustancias Húmicas, mientras que los abonos 3 y 4 están por debajo de éste. Según las figuras 19 y 20, se observa que el contenido de cenizas como de materia orgánica están relacionadas de manera inversa con el contenido de Zinc; a mayor contenido de cenizas y materia orgánica menor es la concentración de Zinc en los bioabonos, indicando nuevamente una probable quelatación de estos micronutrientes por parte de la materia Orgánica.

Según estudios realizados por Boyd et al (6) demuestran que el cobre forma un complejo bien estable con las sustancias húmicas, del tipo  $\text{Cu-O-C(O)-ácidos húmicos}$ , esta fuerte unión es mayor a mayor pH, por ello este tipo de abonos retienen fuertemente este elemento, de igual forma la disponibilidad del Cinc; el cual es menor al aumentar el valor de pH.

Figura 19. Correlación entre la concentración de Zinc y el contenido de Cenizas

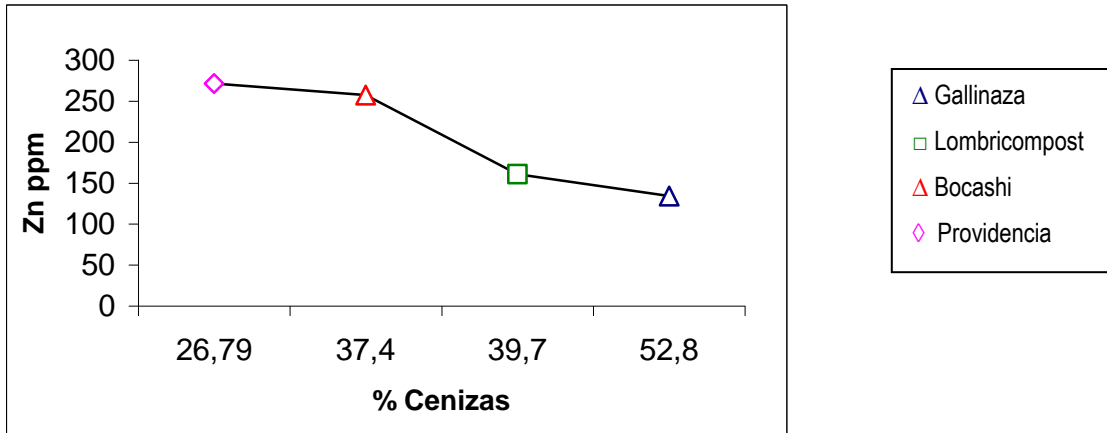
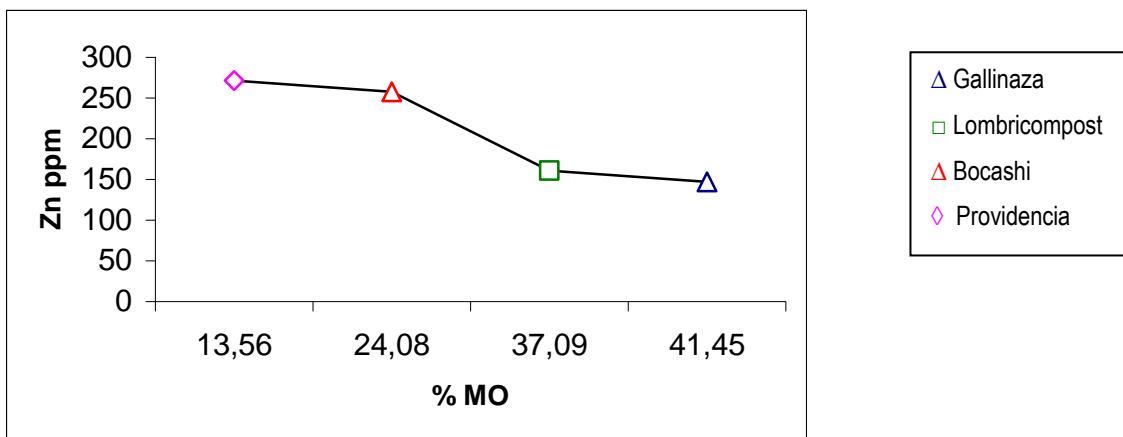


Figura 20. Correlación entre la concentración de Zinc y el contenido de Materia orgánica



## 8.2. CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN HÚMICA EN LOS BIOABONOS

Con el objeto de evaluar el grado de humificación de los cuatro bioabonos, se implementó la metodología que está siendo reglamentada por la NORMA TECNICA COLOMBIANA, que comprende la determinación de carbono en cada una de las fracciones obtenidas mediante la extracción alcalina de las sustancias húmicas. Las fracciones comprenden el Extracto Húmico total (EHT), sustancias similares a ácidos húmicos y Sustancias similares a ácidos Fúlvicos



El Extracto Húmico Total (EHT); se define como el contenido de carbono total extraíble en medio alcalino, las sustancias similares a ácidos húmicos son insolubles en medio ácido, mientras que las sustancias similares a ácidos fúlvicos son solubles tanto en medio ácido como en medio básico, por eso se separan las dos fases mediante tratamiento (posterior a la extracción), con solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a pH = 2.0. El grado de humificación se evaluó mediante el índice (HR<sub>1</sub>) reportado por Arango ( 2 ) Inbar ( 29 ), y mediante la relación %C FNH / % C AH + % C AF. Los resultados se reportan en la tabla 10

Tabla 10. Distribución del Porcentaje de Las Fracciones Húmicas en los Bioabonos

PARAMETROS	BIOABONOS			
	BIOABONO 1	BIOABONO 2	BIOABONO 3	BIOABONO 4
	Providencia	Bocashi	Gallinaza	Lombrocompost
% Carbono EHT	0.080	27.30	24.70	23.02
% Carbono Total Producido	10.74	40.59	35.90	34.87
% Carbono AH	-	3.04	3.28	3.46
% Carbono FF	-	24.42	22.98	19.84
HR <sub>1</sub> ( AH / FF )	-	0.12	0.14	0.17
° Humificación	-	0.52	0.48	0.42

### 8.2.1. CONTENIDO DE CARBONO EN CADA UNA DE LAS FRACCIONES

A cada una de las fracciones se les determinó su porcentaje de carbono con el objeto de evaluar el grado de humificación para cada bioabono, fundamental para determinar si éstos tienen la capacidad de suministrar los nutrientes necesarios tanto para el suelo como para las plantas.

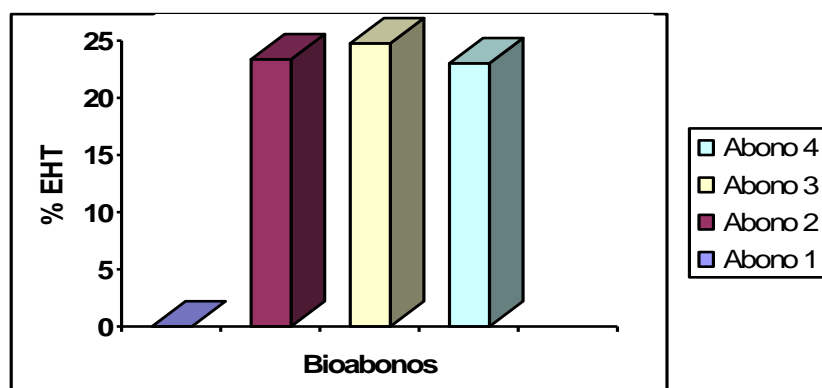
#### 8.2.1.1. DETERMINACIÓN DEL %CARBONO DEL EXTRACTO HUMICO TOTAL PARA CADA BIOABONO

La NORMA TECNICA COLOMBIANA establece un valor mínimo de 30 % Carbono en el Extracto Húmico Total para un abono orgánico y Según Inbar. et al (29) se ha encontrado igualmente que en un abono orgánico el contenido de carbono está alrededor del 30 %, de acuerdo a los datos de la tabla No. 10, el bioabono 1 presenta un valor muy bajo con respecto al valor reportado pero los tres últimos bioabonos presentan valores cercanos a los establecidos por La NORMA TECNICA

COLOMBIANA y por Inbar. Esto no quiere decir que todo el carbono evaluado en el extracto húmico total corresponda al carbono de los ácidos húmicos (no purificado) y a la fracción fúlvica. Sino también probablemente a carbono perteneciente a moléculas como carbohidratos, proteínas, péptidos, ácidos nucleicos, grasas, etc; que no son ácidos húmicos, ni ácidos fúlvicos pero que por mineralización pueden llegar a serlo y que es posible que hayan pasado en la fracción de la materia orgánica humificada por uniones débiles con la fracción mineral.

Según la figura No. 21, se observa que hay una mayor actividad biológica que garantizará un mayor grado de transformación de la materia orgánica en los abonos 2, 3 y 4. En particular se observa que hay mayor cantidad de carbono en el Extracto Húmico Total en el bioabono 2 aunque no hay una diferencia significativa con respecto a los bioabonos 2 y 4.

Figura 21. Porcentaje de Carbono del EHT para los bioabonos

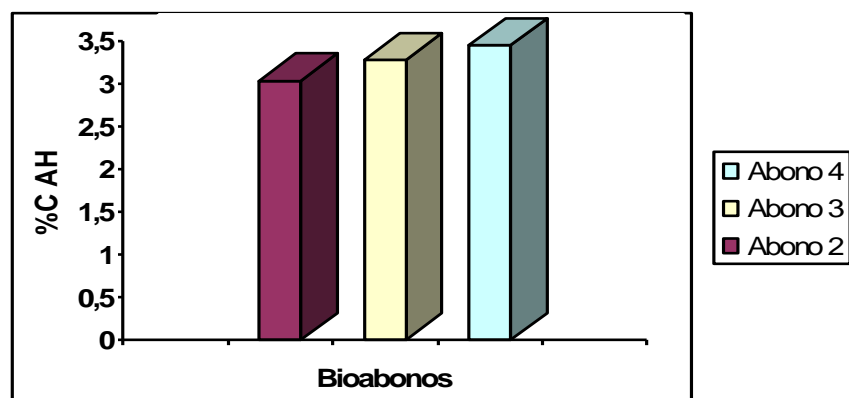


Se puede decir que el uso de los tres últimos bioabonos favorezcan las condiciones físicas del suelo, aumentando probablemente la capacidad de éste para retener humedad, como el mejoramiento de la aireación del suelo, mejorando así su composición química. Con respecto al bioabono 1, éste no alcanza una óptima biotransformación, por lo tanto no garantiza un correcto proceso de humificación de la materia orgánica indispensable para que como abono aporte un mejoramiento tanto físico como químico al suelo, indicando que ha sido completamente mineralizado.

### 8.2.1.2. DETERMINACIÓN DEL %CARBONO DE LOS ACIDOS HUMICOS PARA CADA BIOABONO

La NOMRA TECNICA COLOMBIANA no establece un parámetro para el %Carbono de los ácidos húmicos en un abono orgánico pero Según Orozco (29), un abono orgánico debe tener alrededor de 2 a 4 % Carbono con respecto a los ácidos húmicos. Se observa entonces en la tabla 10 que los últimos tres bioabonos cumplen con este parámetro, indicando así que estos bioabonos presentan una formación de moléculas altamente estables que se encuentran fuertemente unidas a la fracción mineral garantizando probablemente un mejor índice de humificación. Según la figura 22, se observa que el bioabono 1 no presenta un valor de %C AH probablemente al bajo contenido de carbono en el EHT ( 0.080 %C ); indicando así que este bioabono no garantiza un grado de madurez óptimo lo que indica que la mayoría de sus compuestos orgánicos están sin humificar. En general los resultados obtenidos en la tabla 10 y figura 22, indican que los biabonos 2, 3 y 4 de los que provienen estos ácidos húmicos han sufrido aparentemente un buen proceso de transformación de la materia orgánica.

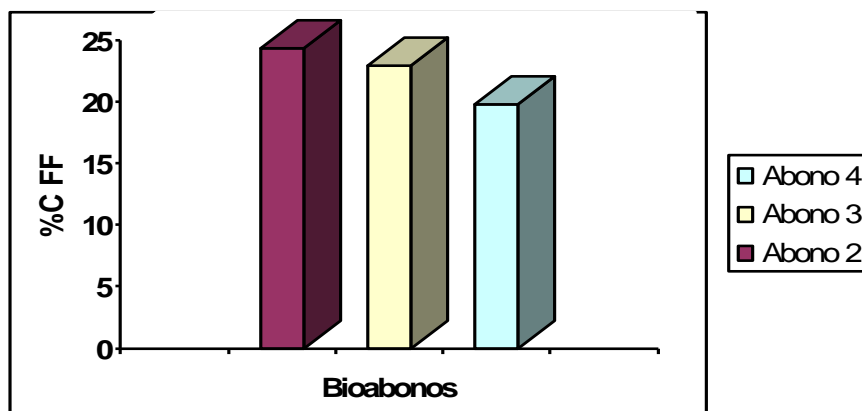
Figura 22. Porcentaje de Carbono de AH para los Bioabonos



### 8.3.1.3. DETERMINACION DEL %CARBONO DE LA FRACCIÓN FÚLVICA PARA CADA BIOABONO

Según la figura 23, se observa que el bioabono 1 no presenta sustancias fúlvicas probablemente al bajo contenido de carbono en el extracto Humico Total, con respecto al bioabono 2, éste presenta el mayor contenido de ácidos fulvicos ( no purificados ) ; aunque no hay una diferencia significativa con respecto a los bioabonos 2 y 3. Se podría decir entonces que los ácidos fulvicos no purificados se están polimerizando para formar los ácidos humicos por aumento de condensación y volumen de los núcleos aromáticos y disminución de las cadenas alifáticas.

Figura 23. Porcentaje de Carbono de FF para los Bioabonos

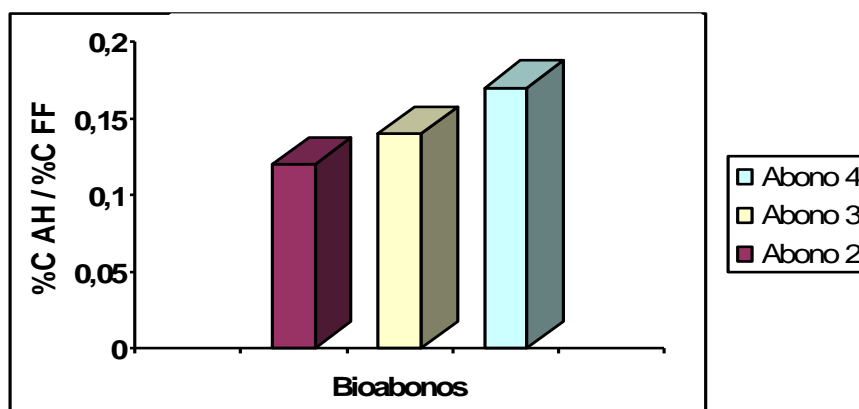


### 8.2.1.4. DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE HUMIFICACIÓN ( $H_{R1}$ )

Con el objeto de medir el grado de humificación de los cuatro bioabonos, se determinó el índice de Humificación ( $H_{R1}$ ) que es la relación entre el % Carbono de ácidos húmicos y el % Carbono de la Fracción Fúlvica, reportado por Arango ( 2 ), Inbar ( 29 ).

La NORMA TECNICA COLOMBIANA establece valores cercanos a 0.32 en el Índice de Humificación para compost de ganado vacuno pero según Requena et al (29) reporta valores de índice de humificación para un abono orgánico menores de 0.2. Según los datos reportados en la tabla 10 y figura 24, se observa que el bioabono 4 presenta el mayor índice de humificación ( $H_{R1}$ ) comparado con los demás bioabonos. Sin embargo los valores del Índice de Humificación para los tres últimos bioabonos están por debajo de los reportados anteriormente, indicando así que estos tres bioabonos presentan mayor contenido de ácidos fúlvicos no purificados, es decir que la humificación aún es incipiente. Sin embargo el Bioabono 4 presenta mayor índice de humificación, es decir que en éste, el proceso de humificación éste ha sido mayor.

Figura 24. Índice de Humificación ( $H_{R1}$ ) para los bioabonos



#### 8.2.1.5. DETERMINACION DEL GRADO DE HUMIFICACION PARA CADA BIOABONO

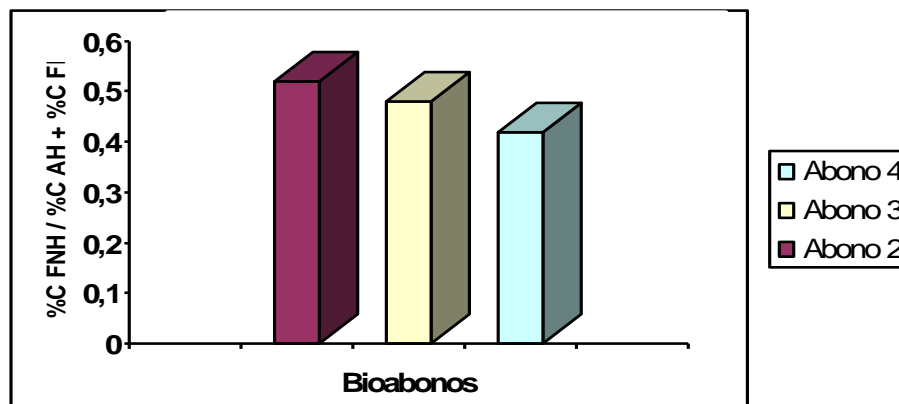
El grado de Humificación se determinó mediante la relación %Carbono de la Fracción no Humificada / % Carbono de los ácidos Húmicos + % Carbono de la Fracción Fúlvica ( no purificada ), con el objeto de evaluar la calidad de los cuatro abonos orgánicos.

Según los datos reportados en la tabla No. 10 y observando la figura 25 se puede deducir que el bioabono 2 presenta el mayor grado de humificación comparado con los dos abonos restantes.

Según Jenés (29), un abono orgánico debe presentar un ° Humificación menor de 1. Por lo tanto los tres bioabonos cumplen con este parámetro. Se puede entonces considerar que los tres últimos bioabonos están en la capacidad de transformar los minerales insolubles y adsorber los nutrientes orgánicos solubles, reteniéndolos e impidiendo que se pierdan por lavado, originando además una liberación lenta de nutrientes.

De acuerdo al análisis anterior se puede deducir que el Bioabono 1 (Providencia) no se puede considerar como un abono orgánico ya que no cumple con los parámetros requeridos para ello. Con base en los resultados de las pruebas físicas y químicas; como la caracterización de la Fracción Húmica se puede decir que los otros tres bioabonos (Bocashi, Gallinaza y Lombricompost) si se consideran como abonos orgánicos.

Gráfica No. 25. Grado de humificación para los bioabonos



#### 8.4. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS ABONOS SELECCIONADOS

De acuerdo a los resultados anteriores, se descartó el bioabono 1 (providencia) en la evaluación agronómica por no cumplir con ninguno de los parámetros requeridos, por no considerarse como abono orgánico. Con el objeto de evaluar agronómicamente los tres abonos seleccionados, se

realizó inicialmente un diagnóstico de la finca “AMARANTO” ubicada en el municipio de Cajibío, departamento del Cauca.

#### 8.4.1. DIAGNOSTICO GENERAL DE LA FINCA “AMARANTO”

Al hacer el recorrido, se encuentran 6 unidades de muestreo bien diferenciadas, en cada unidad se tomaron 6 submuestras para formar una muestra compuesta correspondiente a cada unidad de muestreo. Las 6 unidades de muestreo se representan de la siguiente manera:

**ZONA 1:** Guayabo parte baja

**ZONA 2 :** Relleno parte alta

**ZONA 3 .** Ariete

**ZONA 4 :** Guayabo parte alta

**ZONA 5 :** Relleno parte baja

**ZONA 6:** Terreno para Ganado

**Tabla 11. RESULTADOS GENERALES PARA EL ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS DE SUELO**

PARAMETROS	SUELOS					
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6
	Guayabo parte Baja	Relleno parte Alta	Ariete	Guayabo parte Alta	Relleno parte Baja	Terreno de Ganado
Humedad ( % )	18.9	15.4	18.0	16.8	16.3	17.0
Ph en H <sub>2</sub> O	5.21	5.18	5.27	5.29	5.23	5.47
Textura	F.A.	F.A.	F.A.	F.A.	F.A.	F.A.
Densidad (g/ml)	2.24	1.98	2.00	2.06	2.14	2.31
Carbono orgánico (%)	8.12	8.10	7.50	8.30	8.63	6.17
Materia orgánica ( % )	14.0	14.0	12.9	14.3	15.0	10.6
Nitrógeno ( % )	0.62	0.74	0.66	0.68	0.83	0.84
Relación C/N	13.1	10.8	11.3	12.2	10.4	7.31
C.I.C. ( meq/100 g )	38.6	40.3	40.8	38.8	37.6	37.1
Fosforo ( ppm )	2.60	3.22	2.72	2.98	2.87	1.00
Azufre ( ppm )	2.82	3.37	2.82	2.28	2.82	1.18
Ca ( meq/100g )	1.94	1.72	2.06	2.28	2.04	2.34
Mg ( meq/100g )	0.55	0.52	0.57	0.60	0.57	0.66
Relación Ca/Mg	3.51	3.30	3.61	3.80	3.58	3.54

K ( meq/100g )	0.76	0.69	0.79	0.65	0.60	0.94
Na ( meq/100g )	0.25	0.24	0.23	0.22	0.24	0.26
Fe ( ppm )	4.14	4.26	3.72	4.16	3.86	3.72
Mn ( ppm )	2.32	2.44	2.44	2.56	2.56	2.43
Cu ( ppm )	0.53	0.42	0.64	0.53	0.42	0.53
Zn ( ppm )	1.70	2.00	2.63	1.85	1.62	1.85

### 8.3.2. VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS UNIDADES DE MUESTREO

#### 8.3.2.1. HUMEDAD

El porcentaje de humedad de un suelo en general depende de la intensidad y duración de lluvias, del sitio de ubicación, de sus características físicas y de condiciones climáticas. Para clasificar los suelos, según su textura el porcentaje de humedad adecuado es aproximadamente el 18%; por encima son suelos arcillosos y por debajo de este valor son suelos arenosos. Las arcillas y la Materia orgánica son los constituyentes del suelo que retienen mayor cantidad de agua.

De acuerdo a la tabla 11, se puede decir que todas las zonas presentan valores de humedad cercanos al óptimo. Las zonas 1 y 3 presentan un porcentaje de humedad superior al de las zonas 2, 4, 5 y 6. Por lo tanto es posible que para las zonas 1 y 3 el agua se deposite, reteniéndose en la bioestructura del suelo. Con respecto a la zona 2 presentan el porcentaje de humedad más bajo comparado con las demás zonas, ya que es posible que por ubicarse en zona alta cierta cantidad de agua tienda a escurrirse hacia partes bajas del terreno, sin embargo a pesar de su ubicación se observó una alta retención de humedad.

En particular; al comparar la zona 1 que presenta un alto porcentaje de humedad y menor proporción de arcilla en su bioestructura comparada que la zona 2; la cual presenta menor porcentaje de humedad y mayor porcentaje de arcilla, pero ambas zonas presentan igual contenido de materia orgánica, esta diferencia en el valor de humedad se puede atribuir al sitio de donde se tomaron las muestras; ya que la zona 1 pertenece al sitio denominado guayabo parte baja y la zona 2 pertenece al relleno parte alta. Según el Diagrama Representativo de la Ubicación del Muestreo de la Finca "AMARANTO"



Con respecto a la zona 6, a pesar de que no presenta ningún tipo de cultivos, por el contrario es un sitio de descanso de ganado con presencia de pastos y con escasa sombra, presenta un porcentaje de humedad alto. Indicando así una buena retención de agua, y condiciones normales de drenaje externo.

La humedad presente en estos suelos se puede atribuir mayoritariamente al alto contenido de materia orgánica encontrada en ellos, ya que la materia orgánica retiene 20 veces su peso en agua. Sin embargo es importante tener en cuenta que los valores de humedad encontrados experimentalmente, pueden ser afectados por condiciones climáticas, debido a que éstas proporcionan en gran parte el agua que cae sobre el suelo.

Cabe resaltar que las muestras de suelo se tomaron en época de verano (marzo 24 de 2003) y aún así los suelos presentan facilidad de drenaje y deposición de agua dentro de su bioestructura, indicando que se trata de suelos aptos para cultivo.

### **8.3.2.2. DENSIDAD**

La densidad real es el peso de las partículas sólidas del suelo relacionadas con el volumen que ocupan, sin tener en cuenta su organización en el suelo, es decir sin involucrar el volumen en el espacio ocupado por los poros, se deduce entonces su dependencia de la composición mineral del suelo y del contenido de algunos sólidos especiales en él como la materia orgánica y los óxidos de hierro.

Tabla 12. **Clasificación de la Densidad de acuerdo a la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.** (22)

Densidad ( g / cc )	Nivel
2.3 – 2.5	bajo
2.6 – 2.8	Medio
Mayor 2.8	alto

Según los resultados reportados en la tabla 11 y de acuerdo a la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, en general las seis zonas presentan un valor bajo de densidad, atribuido al alto contenido de materia orgánica o probablemente a la presencia de alófanos que producen baja densidad y acidez al suelo, esto se puede comprobar con el pH de estos suelos que en general es bajo.

### 8.3.2.3. TEXTURA

La parte sólida del suelo está constituida por partículas de dimensiones variables, desde las más pequeñas que se encuentran en estado coloidal, a las más gruesas que se presentan como granos de arena, gravas o bloques. La textura depende en gran parte del suministro de nutrientes, es por esto que el abastecimiento de agua y la circulación de aire se considera un factor básico.

Según la tabla 11, las muestras de suelo analizadas, presentan en general una textura **FRANCO-ARENOSA**; determinado por el método de Bouyoucos, donde se favorece el laboreo del suelo y una aireación adecuada que no va a permitir encharcamiento a pesar de que hay buena retención de humedad.

Todas las muestras analizadas favorecen la actividad agrícola ya que poseen la proporción adecuada de partículas, de modo que retiene suficiente humedad para que las raíces no se sequen y al mismo tiempo permita que el exceso de agua se filtre y en ella el aire circule libremente y permita a los microorganismos agregar nutrientes al suelo.

Tabla No. 13. Clasificación de las Zonas de Muestreo según su Textura

PARAMETROS	SUELOS					
	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4	ZONA 5	ZONA 6
	Guayabo parte Baja	Relleno parte Alta	Ariete	Guayabo parte Alta	Relleno parte Baja	Terreno de Ganado
Arena ( % )	58.8	63.92	58.60	59.30	62.7	63.03
Arcilla ( % )	14.5	18.60	15.60	18.71	14.91	12.80
Limos ( % )	26.7	17.48	26.34	22.0	22.39	24.17

Según la tabla No. 13, todas las muestras de suelo presentan valores similares de arena, se observa alguna diferencia en el contenido de arcillas siendo ligeramente superior en las zonas 2 y 4. Teniendo en cuenta este parámetro todas las muestras analizadas son aptas para los cultivos.

### 8.3.3. VALORACIÓN DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS

#### 8.3.3.1. pH

El valor de pH es un dato de gran importancia para determinar la productividad del suelo y tipo de plantas que pueden desarrollarse en el mismo, ya que regula los procesos de disociación de la mayoría de los compuestos que necesitan las plantas para alimentarse. Los mejores suelos para el cultivo son aquellos que tienen valores de pH entre 6.5 – 7.5. Sin embargo, las necesidades de los cultivos no son absolutas, pudiendo variar cada uno entre límites de pH bastante amplios, variables según la naturaleza del suelo y el clima.

Tabla 14. **Clasificación de los Suelos según los Valores de pH**

pH	Clase
4.0 - 4.5	Acidez extrema
4.5 – 5.0	Acidez muy fuerte
5.0 – 5.5	Acidez fuerte
5.5 – 6.0	Acidez media
6.0 – 6.5	Acidez suave
6.5 – 7.0	Acidez muy suave
7.0 – 8.0	Alcalinidad suave
8.0 – 8.5	Alcalinidad alta

Según los resultados reportados en la tablas 11 y los datos reportados en la tabla 14, se muestra claramente que los suelos analizados en general se clasifican en suelos fuertemente ácidos, aunque el pH de la zona 6 se acerca a una acidez media. Aún así, estos suelos presentan sobre su complejo; más iones H<sup>+</sup> que cationes minerales. La acidez en las muestras de suelo se puede atribuir a los altos niveles de materia orgánica encontrados y probablemente a la presencia de aluminio intercambiable y/o de alófanos que son aluminosilicatos no cristalinos constituidos principalmente por Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.SiO<sub>2</sub> originado de arcillas de suelos derivados de cenizas volcánicas.

Como el suelo es fuertemente ácido se espera que presente deficiencia de bases de cambio (Ca, Mg y K); así como de Fósforo, Boro; etc. En el caso del Fósforo, éste puede ser adsorbido aniónicamente como puede ser sustituido isomórficamente o precipitado en forma de compuesto de Aluminio o Hierro. En General, teóricamente se analiza que la absorción de las bases por las raíces de las plantas es reducido a pH bajo implicando un bajo crecimiento de las raíces y una baja producción de cultivos. Teniendo en cuenta el valor de pH, la unidad más adecuada para cultivar sería la muestra correspondiente a la zona 6, pero con respecto a los otros parámetros presentaría dificultades, por lo tanto todas las zonas tienen problemas para cualquier cultivo.

### 8.3.3.2. MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica está constituida por los compuestos de origen biológico que se encuentran en el suelo. Los resultados relacionados en la tabla 11; revelan que las seis muestras de suelo presentan un alto contenido de carbono orgánico fácilmente oxidable, por tanto de materia orgánica, de acuerdo a la clasificación reportada en la tabla 15, estos valores altos indican que la materia orgánica no se mineraliza rápidamente y que se acumulan capas sucesivas sin un adecuado proceso de humificación y que por ello conlleva a una fuerte acidez en el suelo. De otra parte, la fuerte acidez impide un adecuado desarrollo de los microorganismos del suelo y por lo tanto no permite una adecuada transformación de la materia orgánica en el suelo.

Teniendo en cuenta los resultados de la tabla 11, y los datos de la tabla 15; la zona 6 obtuvo el valor más bajo de materia orgánica comparado con los resultados de las otras zonas y a vez el valor más alto de pH, confirmando la influencia recíproca entre las dos propiedades.

Tabla 15. **Niveles Críticos de Materia Orgánica (40)**

% MO	% C	Interpretación
< 2	< 1.2	Muy bajos
2 – 5	1.2 – 2.5	Bajos
5 – 8	2.5 -4.6	Medios*
8 – 15	4.6 – 8.7	Altos*
> 15	> 8.7	Muy altos

\* niveles más adecuados para cualquier cultivo

A medida que se inicia el proceso de humificación, caracterizado por una polimerización y condensación de algunos de los compuestos de materia orgánica, se establece una disminución de la acidez del suelo ya que disminuyen los grupos carboxílicos de este material.

En general se trata de suelos **FRANCO-ARENOSOS**, este tipo de suelos favorece la formación de complejos arcillo – húmicos que le dan estabilidad al suelo y no permiten erosión, además de que pueden formar una bioestructura adecuada, al mejorar las condiciones de acidez.

La materia orgánica puede ser reflejada a través de su color, así, suelos con alta materia orgánica son oscuros; en el caso de las zonas 2 y 4 el suelo muestreado es de color café claro y a pesar de que presenta un alto contenido de materia orgánica, por lo tanto para un análisis de materia orgánica de un suelo en general no se debe basar únicamente en el tono de éste ya que otros componentes pueden aportar a la formación de un tono oscuro, tales como los óxidos de hierro.

### 8.3.3.3. NITRÓGENO

La mayoría del nitrógeno mineral proviene de la mineralización de la materia orgánica, que a su vez requiere de óptimas propiedades físicas, químicas y biológicas para la formación de un adecuado complejo arcillo-húmico capaz de retener el nitrógeno. De acuerdo con el contenido de materia orgánica, se puede calcular empíricamente cuanto nitrógeno aporta un suelo. Sin embargo el problema está en que la mineralización no siempre es la misma, pues depende de la temperatura y la altitud de la zona donde se encuentre el suelo en estudio, además de otras propiedades como la textura, la humedad, la acidez entre otras.

Tabla 16. **Estimativo del Nitrógeno Total en suelos de acuerdo con el Clima y la Altitud en Colombia.** (40)

Clima	Altitud	N <sub>total</sub> (%)		
		Bajo	Medio	Alto
Frio	Alta	< 0.25	0.25 – 0.50	> 0.50
Medio	Media	< 0.15	0.15 – 0.25	> 0.25
Cálido	Baja	< 0.10	0.10 – 0.20	> 0.20

Tabla 17. **Clasificación de Suelos según Relación C/N.** (40)

Relación C/N	Interpretación
< 15	Liberación N
15 - 20	Medio
> 20	Inmovilización N
10 - 12	Óptimo para suelo agrícola

De acuerdo a los resultados relacionados en la tabla 11 y con base en las tablas No. 16 y 17; la cantidad de nitrógeno total para las muestras de suelo analizadas, en general es alta, basada en la altitud de aproximadamente 1750 n.s.n.m., con una temperatura entre 18 – 20 °C, que pertenece a un clima tropical de montaña frío. En particular para la zona 6, se presenta el mayor porcentaje de nitrógeno total comparado con las otras zonas, cabe resaltar que esta zona en particular es un terreno de pastaje para ganado, encontrándose estiércol, pero esto no significa que el nitrógeno presente sea disponible para las plantas, por eso la necesidad de calcular la relación C/N.

Esta relación C/N, da una idea de los procesos que están regulando el estado del nitrógeno en el suelo. Con base en la tabla No. 17; todas las zonas presentan una relación C/N óptima con excepción de la zona 6; la cual tiene una relación de 7.31; valor que comparado con las demás zonas es el más bajo y que esta por debajo del valor óptimo (10-12); lo que implica mayor contenido de nitrógeno, significando que éste no puede ser fácilmente transformado por medio de la mineralización en amonio o nitratos, disponibles para las plantas y por el contrario se produce entonces liberación notoria de nitrógeno por proceso de denitrificación, además indica una baja fuente de energía para los microorganismos del suelo, así como una alta mineralización, y pérdida progresiva de Materia Orgánica con posible pérdida de bioestructura. Por otra parte, la zona 1 contiene un valor ligeramente superior al óptimo, indicando baja mineralización de la materia orgánica, inmovilización de Nitrógeno por parte de los microorganismos para su neosíntesis y por lo tanto deficiencia de este elemento para los cultivos.

#### 8.3.3.4. CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO

La capacidad de intercambio catiónico es una propiedad muy importante, ya que gracias a ésta, la fase coloidal del suelo puede retener cationes presentes en la solución externa, estableciendo un intercambio entre las dos fases, mejorando por lo general las condiciones del suelo, debido a que pueden intercambiar  $Al^{3+}$  o  $H^+$  por las bases de cambio como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$  o  $K^+$ , elevando el pH del suelo de tal forma que el aluminio presente en él, no ocasione daño y a la vez incrementando la cantidad de materia orgánica humificada y mejorando la calidad del suelo.

La capacidad de intercambio catiónico determinada por medio de la saturación con acetato de amonio a pH = 7 y reportada en la tabla No. 11, indica que para todas las zonas es alta, atribuible al alto contenido de materia orgánica y en menor proporción al contenido de arcillas encontrados en estos suelos; esto es importante ya que implica una alta retención de nutrientes en condiciones apropiadas

#### 8.3.3.5. BASES DE CAMBIO

De acuerdo con la tabla 11 y en base a los datos reportados en la tabla 18, se deduce en general que las seis zonas presentan un valor bajo de bases de cambio, como se comprueba con los niveles de calcio y magnesio de todas las zonas los cuales son bajos, aún cuando la relación Ca/Mg se encuentra en un rango normal. Estos niveles bajos son atribuidos a la fuerte acidez que presentan estos suelos, donde se presenta lixiviación de estas bases o a las continuas extracciones sin reposición.

Tabla 18. Niveles de Disponibilidad de Bases de Cambio en el Suelo (41)

Elemento	Interpretación ( meq/100 g)		
	Bajo	Medio	Alto
$Ca^{2+}$	< 3	3 - 6	> 6
$Mg^{2+}$	< 1.5	1.5 – 2.5	> 2.5
$K^+$	< 0.2	0.2 – 0.4	> 0.4
$Na^+$	Su contenido debe ser menor de 1 meq/100g suelo		

Sin embargo los contenidos de potasio son altos; atribuibles al tipo de arcillas presentes en estos suelos, que permiten que el potasio se adhiera a ellas y al complejo coloidal del humus evitando que se pierda fácilmente por lixiviación. Con respecto al nivel de sodio, en general es bajo; como era de esperarse debido a la fuerte acidez.

### 8.3.3.6. FÓSFORO

La presencia de fósforo en el suelo es de gran importancia porque éste es un macro elemento indispensable para el metabolismo de las plantas. De acuerdo con los análisis realizados (Tabla No. 11) y con los valores teóricos de disponibilidad de Fósforo reportados en la tabla No 19, se deduce que todas las muestras de suelo presentan un valor muy bajo del macronutriente fósforo. En general estos valores se pueden atribuir a la fuerte acidez de estos suelos que ocasiona una adsorción del fósforo sobre la fase coloidal del suelo o formación de posibles compuestos insolubles con el aluminio o el hierro o sustitución isomórfica con silicatos de arcillas.

Tabla 19. **Niveles de Disponibilidad de P según Bray II ( 40 )**

Disponibilidad	Nivel Crítico ( ppm )
Bajo	< 20
Medio	20 – 30
Alto	> 30

A demás según los resultados anteriores; los valores de pH y materia orgánica no son los más favorables para una óptima concentración de este nutriente. En el caso del pH de estos suelos en general presentan un carácter fuertemente ácido el cual influye sobre el contenido de materia orgánica que en estos casos es alta.

Estos valores de materia orgánica son reflejo de una actividad biológica baja que provoca su acumulación, debido a que parte de la materia orgánica se encuentra sin procesar no presenta gran cantidad de ácidos húmicos capaces de liberar el fósforo fijado en las arcillas. Si hay deficiencia de Fósforo es probable que haya también deficiencia de Azúfre, ya que éste sufre el mismo proceso de adsorción, y además una deficiencia de éste revela la ausencia del primer elemento, ya que no se



tiene la energía requerida ( ATP) para la reducción del azufre, limitando la disponibilidad en el suelo. Es probable además que debido a la alta acumulación de materia orgánica, el Fósforo esté en forma de compuesto orgánico, no disponible tal como la fitina.

#### **8.3.3.7. AZUFRE**

En el suelo, los contenidos de azufre total se encuentran en su mayoría como azufre orgánico (aminoácidos y proteínas) y mineral (sulfuros y sulfatos), la proporción relativa depende del clima y las propiedades tanto químicas como físicas del suelo.

Según la tabla No. 11, en la determinación de azufre para las muestras de suelo en general; se encontró que los niveles de éste son bajos, de acuerdo a los niveles críticos reportados para un suelo fértil, que es de 6 – 12 ppm (Silva, 2000) por lo que no es probable que el azufre en el suelo este en forma de sulfuro porque su textura **FRANCO ARENOSA** implica una buena aireación lo cual impide la reducción del azufre, que está en forma de  $SO_4^{=}$  disponible; por su bajo valor encontrado en todas las muestras, por lo tanto es probable que el azufre esté en forma de compuestos orgánicos no disponible para las plantas. Tales como aminoácidos o proteínas ( polipéptidos ).

El comportamiento de este elemento en el suelo es controlado a demás por el pH, la materia orgánica entre otros. En estas zonas hay acumulación de materia orgánica por lo tanto sus niveles son altos y presentan altos niveles de acidez indicando que no hay actividad biológica para la transformación del azufre de orgánico a mineral.

#### **8.3.3.8. MICROELEMENTOS**

Los microelementos al igual que todos los otros elementos son necesarios tanto para el suelo como para las plantas, pero en menor cantidad, sin embargo la deficiencia de alguno de ellos puede afectar simultáneamente el rendimiento del cultivo de acuerdo a la ley del mínimo de Liebig. Según los resultados reportados en la tabla 11 y los reportados en la tabla 20, en general se encontró deficiencia de todos los micronutrientes Fe, Mn, Cu y Zn; atribuible al alto contenido de materia

orgánica que quelata fuertemente estos micronutrientes sin dejarlos disponibles en la solución del suelo para la asimilación de las plantas o a las continuas extracciones sin reposición.

Tabla 20. Niveles de Disponibilidad de Micronutrientes en el Suelo (40)

Micronutriente	Disponibilidad (ppm)
Fe	50 - 100
Mn	25 - 50
Cu	5 - 10
Zn	5 - 20

#### 8.4 ELECCIÓN DEL ÁREA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO

De acuerdo al análisis anterior, se seleccionó la zona 6 para realizar el ensayo agronómico, ya que es la que presenta mayor dificultad para labores agrícolas, debido a que su relación C/N es muy baja, presentando muy alto contenido de Nitrógeno que puede conducir a antagonismos con los otros macronutrientes, además presenta el valor más bajo en Fósforo y Azufre; macronutrientes muy importantes para el cultivo de Maíz. De otra parte presenta un valor muy alto de Potasio que conduce a la relación  $(Ca + Mg)/K$  más baja, implicando de esta manera una fuerte deficiencia de Ca y Mg en cualquier momento. Además presenta valores muy bajos de microelementos. Cabe resaltar además que el lote escogido para realizar el ensayo; es un sitio de descanso de ganado con presencia de pastos y con escasa sombra y no presenta ningún tipo de cultivos.



Demarcación del Terreno seleccionado para el cultivo de maíz

#### **8.4.1. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LOS TRES BIOABONOS FRENTE A UN FERTILIZANTE QUÍMICO Y A UN TESTIGO SOBRE EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE MAÍZ**

Con el objeto de evaluar la eficacia agronómica de los tres abonos orgánicos seleccionados, se estableció un ensayo agronómico en un cultivo de maíz híbrido amarillo “**El Colorao**”; con un diseño estadístico de bloques al azar, con el fin de valorar si hay diferencia significativa entre los tres abonos orgánicos Lombricompost, Gallinaza y Bocashi sobre la producción de maíz (rendimiento en Ton/Ha) y sobre su efecto en el suelo, frente a un fertilizante químico (10:30:10) utilizado normalmente para este cultivo. Las dosis utilizadas son las más recomendadas dentro del agro regional como se aprecia en la tabla 21

Tabla 21. Distribución de los cinco tratamientos con sus respectivas dosis

Tratamiento	Abono	Dosis
1	Lombricompost	100 g / sitio
2	Gallinaza	100 g / sitio
3	Fertilizante 10:30:10	10 g / sitio
4	Bocashi	100 g / sitio
5	Testigo	-

#### 8.4.1.1 DISEÑO DEL TERRENO PARA LA SIEMBRA DEL MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO “El Colorao”

Se estableció un diseño experimental de bloques completos con cinco tratamientos y tres repeticiones por tratamiento, en un arreglo completamente al azar como se observa en el diagrama 2. Se sembrarán 40 sitios por cada tratamiento y en cada sitio se sembraron 3 semillas de maíz híbrido amarillo “El Colorao”, con el propósito de seleccionar posteriormente las dos mejores plántulas por sitio, para un área total por tratamiento de 27 m<sup>2</sup> y un área total de 135 m<sup>2</sup>

Diagrama No. 2. Ensayo de Cinco Tratamientos en Bloques Completos al Azar.

##### Bloque I

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

##### Bloque II

5	4	1	2	3
---	---	---	---	---

##### Bloque III

4	3	2	5	1
---	---	---	---	---

#### 8.4.1.2. EVALUACIÓN DE LAS DIFERENTES ETAPAS DE DESARROLLO DEL CULTIVO DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO “El Colorao” EN CADA TRATAMIENTO

Se evaluó en forma general tanto la germinación, desarrollo y producción del cultivo de maíz híbrido amarillo en cada tratamiento, los resultados se reportan en los anexo 2, 3, 4, 5 y 6.

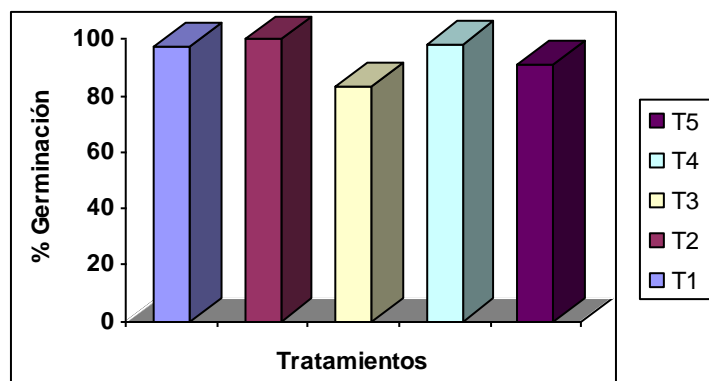
##### 8.4.1.2.1. EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE MAÍZ A LOS 12 DÍAS

FECHA ( SIEMBRA ) : **Junio 23 de 2003**

FECHA ( EVALUACION ) : **Julio 5 de 2003**

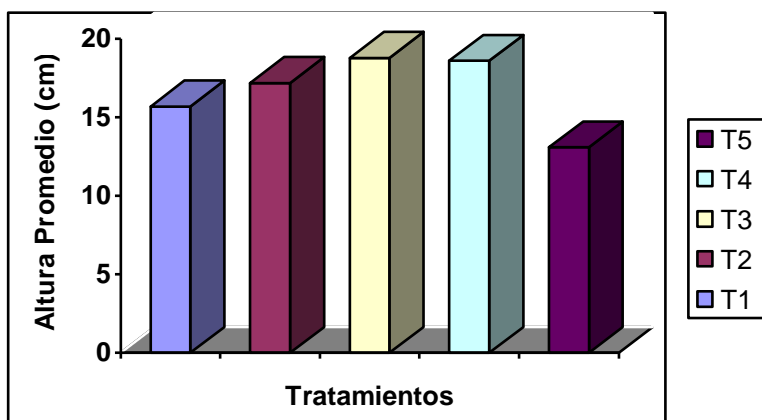
Se realizó la evaluación del comportamiento de las plántulas en la etapa de germinación en este caso a los 12 días de sembrado el maíz, teniéndose en cuenta por lo general que a los 6 días de una siembra, las semillas de maíz empiezan a germinar. Los resultados se reportarán en el anexo 1 y figura 26. , se puede deducir que en todos los tratamientos, germinaron más del 50% de las semillas por sitio, siendo el tratamiento T2 el de mayor porcentaje de germinación, aunque no presenta diferencia significativa con respecto a los tratamientos T1 y T4. Cabe resaltar que el tratamiento T3 obtuvo el menor porcentaje de germinación con respecto a los demás tratamientos incluyendo el Tratamiento testigo ( T5), probablemente debido a que las fuentes de nutrientes de este fertilizante son solubles y pueden afectar la semilla por la fuerte acidez que se produce alrededor del sitio de aplicación, en forma inmediata quemando de esta manera la mayoría de las semillas, corroborando así el efecto negativo de los fertilizantes químicos.

Figura 26 Porcentaje de Germinación de las Semillas de Maíz



Igualmente se realizó la evaluación del crecimiento y desarrollo de las raíces, el tallo y las hojas a los 12 días de germinadas las semillas de maíz, se seleccionaron algunas plántulas por tratamiento y se midió la altura promedio de éstas, datos reportados en el anexo 1, observándose desde ya el buen desarrollo ejercido por el aporte nutricional tanto de los tres abonos, especialmente el Bocashi (T4) como del fertilizante químico (T3), frente al testigo (T5), resultados que se aprecian en la figura 27. Es importante mencionar que el aporte nutricional de un buen bioabono garantiza desde un principio un buen metabolismo de las plantas ( fuertes, resistentes y sanas ). Cabe resaltar que a tan solo 12 días de sembrado el maíz, se empieza a notar la presencia de gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) en los tratamientos T2 y T4, por este motivo se recomendó fumigar con un insecticida sistemático en este caso LORSBAN; de aplicación foliar a todos los tratamientos. Cabe resaltar que este tipo de insecticida se degrada fácilmente, por lo que su estado de retención no dura más de 15 días en el cultivo, tiempo suficiente para combatir la presencia del gusano cogollero.

Figura 27. Altura promedio de las Plántulas por Tratamiento



#### 8.4.1.2.2. EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO ( DESARROLLO ) DEL CULTIVO DE MAÍZ A LOS 28 DÍAS

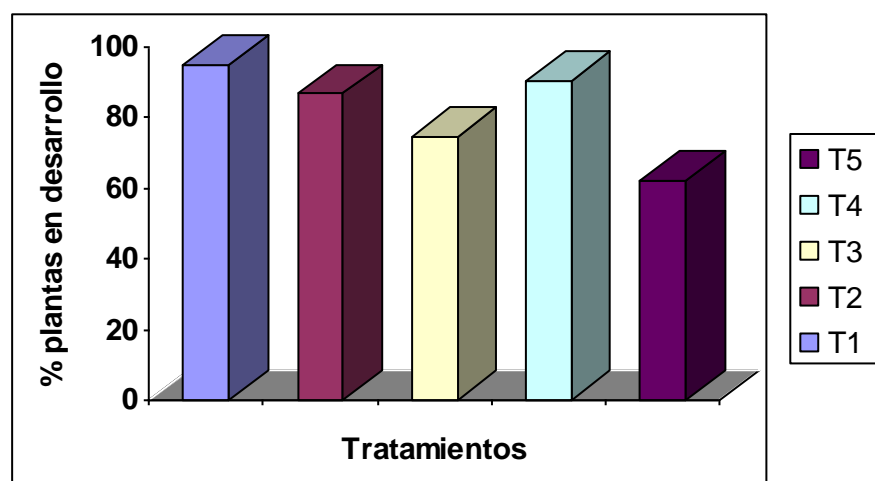
FECHA ( SIEMBRA ) : Junio 23 de 2003

FECHA ( EVALUACION ) : Julio 21 de 2003

Como se observa en el anexo 2, se realizó la evaluación del crecimiento de las plantas en cada tratamiento, a los 28 días de sembrado el maíz, teniéndose en cuenta que se sembraron 3 semillas por sitio y eran 40 sitios por tratamiento en cada bloque, por lo tanto debieron germinar 120 plántulas por tratamiento. Partiendo de esta cantidad; se evaluó el porcentaje de plantas en

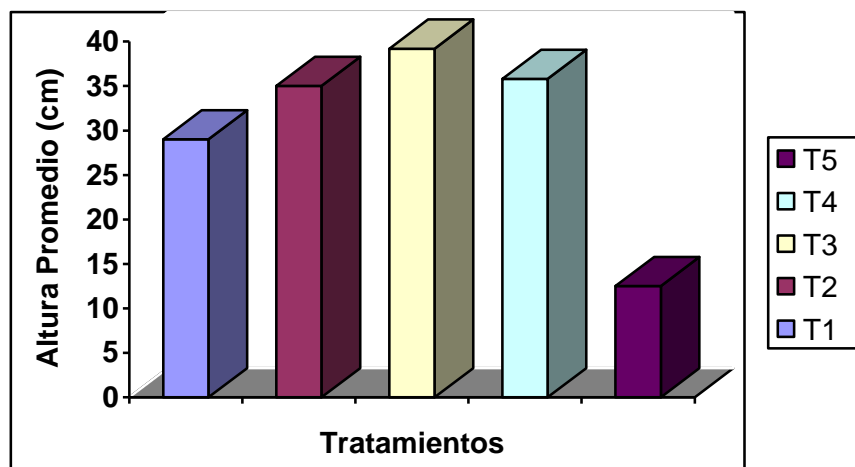
crecimiento por cada tratamiento, como se aprecia en la figura 28. , se deduce entonces que los tratamiento T1, T2 y T4 obtuvieron el mayor porcentaje de plantas en desarrollo comparados con los demás tratamientos. Esta evaluación indica la viabilidad de las semillas y el poder que ejerce sobre ellas tanto los bioabonos aplicados como el fertilizante químico.

Figura 28. Porcentaje de Plantas en Desarrollo a los 28 días



Con respecto a la altura se observa en la figura 29 que la mayor altura promedio se presentó en el tratamiento T3 (Químico 10:30:10) indicando que este fertilizante es soluble y es absorbido inmediatamente por las raíces, reflejado esto en el mayor crecimiento de las plantas, cabe anotar que en este tratamiento se obtuvo el menor número de plántulas con respecto a los tratamiento T1, T2 y T4, ya que no hubo una competencia nutricional de las raíces en el suelo desde un principio para este tratamiento. Posteriormente se realizó el proceso de raleo para cada tratamiento, se descartaron las plantas que presentaron un retraso en su crecimiento.

Figura 29. Altura promedio de las Plantas a los 28 días



#### 8.4.1.2.3. EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS A LOS 59 DÍAS

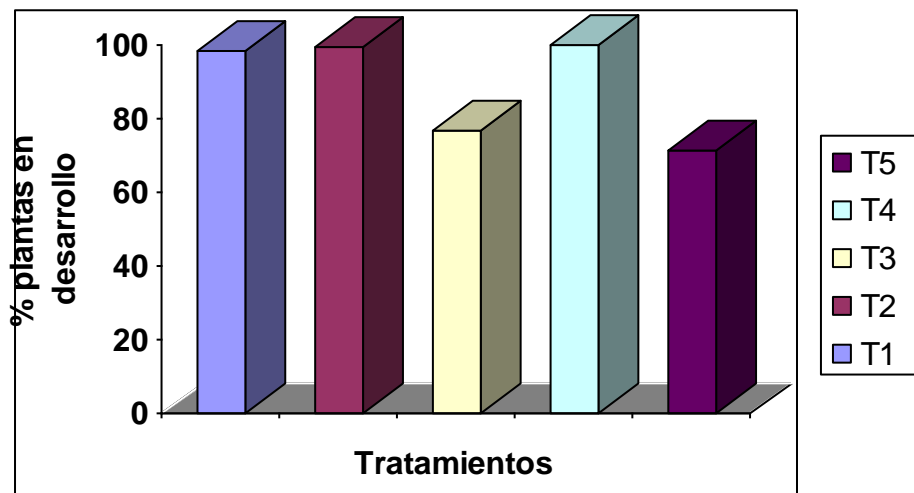
FECHA ( SIEMBRA ) : Junio 23 de 2003

FECHA ( EVALUACION ) : Agosto 20 de 2003

Como se observa en el anexo 3, se realizó la evaluación del crecimiento de las plantas en cada tratamiento, a los 59 días de sembrado el maíz, teniendo en cuenta que se realizó el proceso de raleo a los 28 días para cada tratamiento; desechando una planta por sitio, por lo tanto debieron desarrollarse 80 plantas por sitio en cada tratamiento. Partiendo de esta cantidad; se evaluó el porcentaje de plantas en crecimiento; observándose en la figura 30, a esta fecha, que los tratamientos T1, T2 y T4; obtuvieron los más altos porcentajes de plantas en desarrollo, esto es el reflejo del buen aporte nutricional de los bioabonos Lombrocompost, Gallinaza y Bocashi respectivamente hacia las plantas a esta fecha.

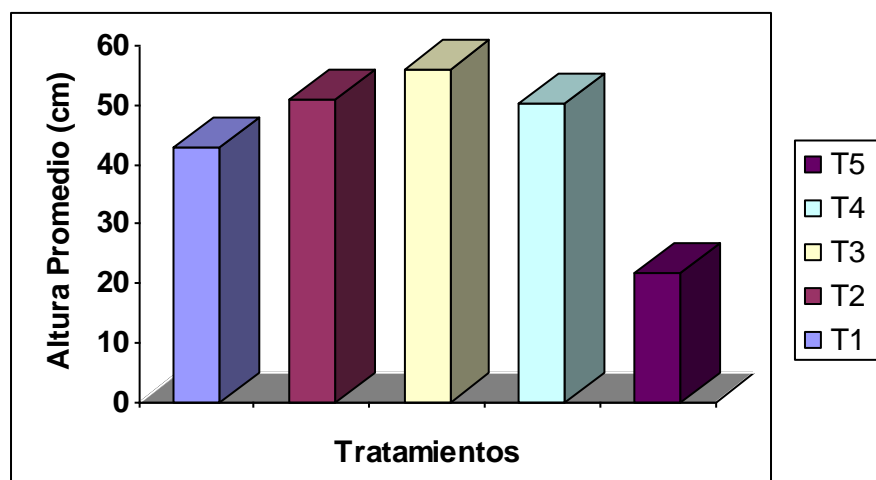


Figura 30. Porcentaje de Plantas en Desarrollo a los 56 días



Con respecto a la altura se observó en la figura 31 que la mayor altura promedio se presentó en el tratamiento T3 (Químico 10:30:10) con respecto a los demás tratamientos, cabe resaltar que en este tratamiento se obtuvo el menor porcentaje de plantas en desarrollo, ya que como se nombró anteriormente, no hubo una competencia nutricional de las raíces en el suelo desde un principio para este tratamiento. Sin embargo observando la figura 31, a esta fecha, los tratamientos T1, T2 y T4 obtuvieron un valor de altura promedio alto con respecto al T5 (Testigo), a pesar de que hay una competencia nutricional de las raíces de las plantas en cada uno de estos tres tratamientos, reflejado en el alto porcentaje de plantas en desarrollo reportado en la gráfica anterior, se puede deducir entonces que los bioabonos aplicados desde un principio hasta esta fecha garantizan el aporte necesario de nutrientes para las plantas en crecimiento.

Figura 31. Altura promedio de las Plantas a los 56 días



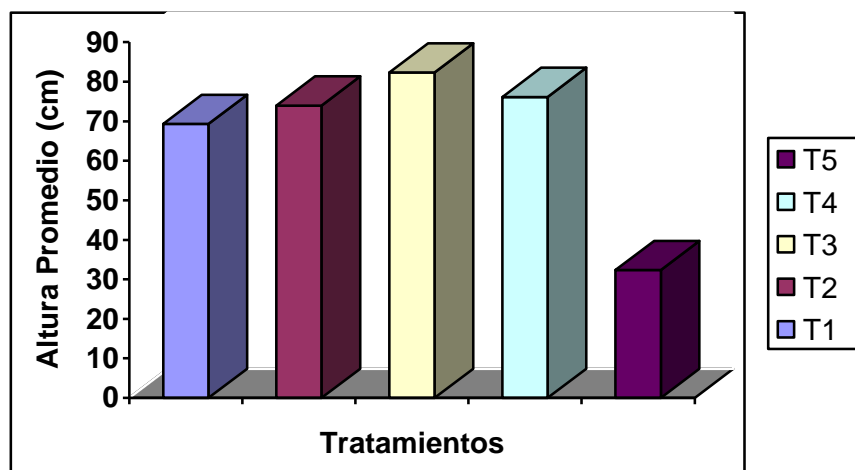
#### 8.4.1.2.4. EVALUACIÓN EN LA ETAPA DE FLORACIÓN ( ESPIGA ) DEL CULTIVO DE MAÍZ

FECHA ( SIEMBRA ) : Junio 23 de 2003

FECHA ( EVALUACION ) : Septiembre 9 de 2003

Analizando la figura 32, se obtuvo que la mayor altura promedio en la etapa de floración a los 77 días de sembrado el maíz, se presentó en el tratamiento T3 (Químico 10:30:10) con respecto a los demás tratamientos, indicando asimilación inmediata de nutrientes solubles, sin embargo se observó que a esta fecha, los tratamiento T1, T2 y T4 obtuvieron un valor de altura promedio alto con respecto al T5 (Testigo), indicando así que todos los tratamientos excepto el T5 (Testigo); siguen contribuyendo con los nutrientes necesarios por las plantas de maíz en la etapa de floración para su buen desarrollo; como era de esperarse.

Figura 32. Altura promedio de las Plantas a los 77 días



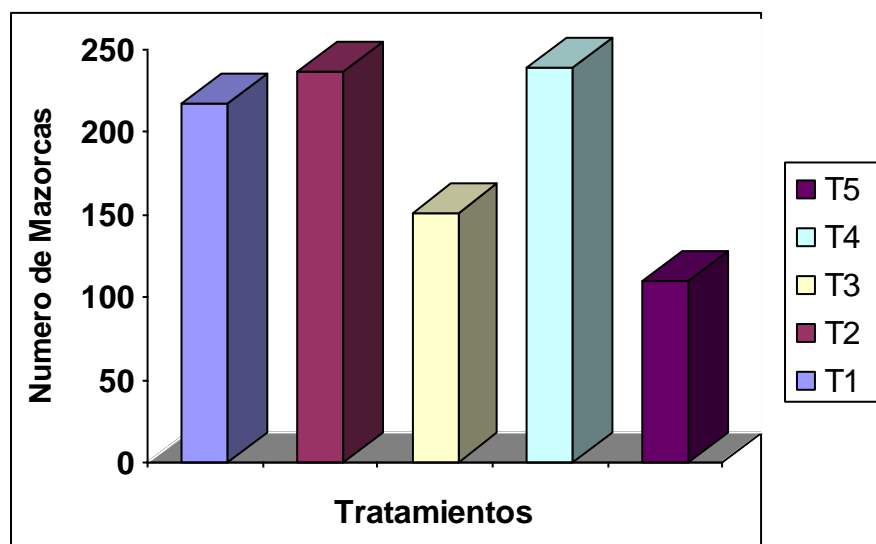
#### 8.4.1.2.5. EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE MAZORCAS EN FORMACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ A LOS 97 DÍAS

FECHA ( SIEMBRA ) : Junio 23 de 2003

FECHA ( EVALUACION ) : Septiembre 29 de 2003

Analizando la figura 33, se deduce que los tratamientos T2 y T4 presentaron la mayor cantidad de mazorcas en formación a los 97 días de sembrado el maíz, aunque no presentan diferencia significativa con respecto al tratamiento T1, pero sí con respecto a los demás tratamientos. Sin embargo cabe resaltar que en el tratamiento T3 se obtuvo un menor número de mazorcas pero de buena calidad ya que presentaban un buen tamaño tanto de mazorca como de grano como un tono de color característico del maíz híbrido amarillo. En el caso del tratamiento T5 se obtuvo la menor cantidad de mazorcas, las cuales presentaban retraso reflejado en el tamaño de ellas como deficiencia de nutrientes por la decoloración del grano.

Figura 33. Cantidad de mazorcas en formación a los 97 días.



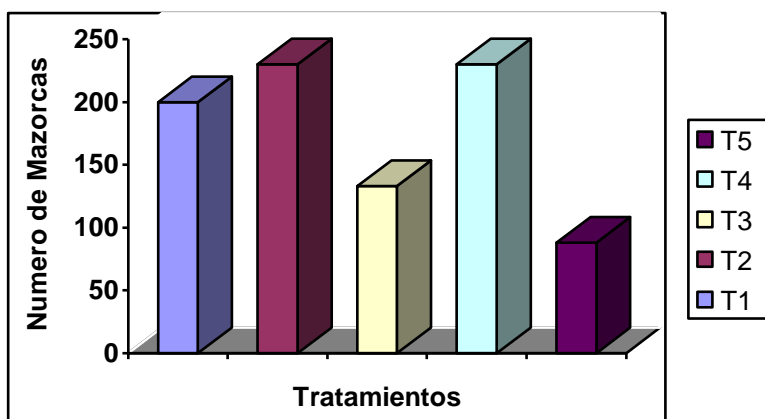
#### 8.4.1.2.6. EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE MAZORCAS FORMADAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ A LOS 113 DÍAS

FECHA ( SIEMBRA ) : Junio 23 de 2003

FECHA ( EVALUACION ) : Octubre 16 de 2003

Analizando la figura 34, se observa que los tratamientos T1, T2 y T4 presentaron la mayor cantidad de mazorcas formadas a los 113 días de sembrado el maíz, con respecto a los tratamiento T3 y el testigo (T5) como era de esperarse, de acuerdo a lo analizado anteriormente, se puede deducir entonces que los bioabonos Lombricompost, Gallinaza y Bocashi garantizan posteriormente una mayor producción de maíz .

Figura 34. Cantidad de mazorcas formadas a los 113 días.



#### 8.4.1.2.7. EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ HÍBRIDO AMARILLO A LOS 133 DÍAS

FECHA ( SIEMBRA ) : Junio 23 de 2003

FECHA ( EVALUACION ) : Noviembre 5 de 2003

Se aplicó un modelo estadístico para validar los resultados de la producción de maíz, en donde se considero el orden inicial para cada uno de los tratamientos:

T1 : Suelo + 100 g/sitio de Lombricompost

T2 : Suelo + 100 g/sitio de Galinaza

T3 : Suelo + 10 g/sitio de 10:30:10

T4 : Suelo + 100 g/sitio de Bocashi

T5 : Suelo Testigo

Los resultados se reportan en el anexo 7 sobre la producción de maíz ( peso de mazorca y peso de grano en Kilogramos por tratamiento ); en los diferentes tratamientos se analizaron básicamente con la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, complementada con las pruebas paramétricas Anova y comparación múltiple de Duncan. En el anexo 7 se reportan los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis y de la prueba paramétrica Anova; en donde el peso de la mazorca

(Kg) y del grano (Kg) se consideran como variables dependientes y los cinco tratamientos se consideran como variables independientes. Para la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis y la prueba paramétrica Anova; en el anexo 7 se observa una alta significancia (  $p = 0.000$ ) para las variables dependientes peso de mazorca y peso de grano. (  $p < 0.05$  en donde  $p$  es la significancia estadística calculada mediante la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis y la prueba paramétrica Anova ). Indicando así que hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo tanto se aplica la prueba de Duncan para determinar entre cuales variables independientes hay diferencia significativa.

En la tabla 22, se reportan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan; en donde el peso de la mazorca (Kg) y del grano (Kg) se consideran como variables dependientes y los cinco tratamientos se consideran como variables independientes. Se observa entonces en esta tabla que para el peso de mazorca, el tratamiento de mayor producción fue el T4 (peso mazorca = 2,0245 Kg ); peso que fue significativamente más altos que el resto de los tratamientos. Le sigue a nivel de producción el T2 ( peso mazorca = 1,6903 Kg ); y éste a su vez es significativamente mayor que los tratamientos T1 (peso mazorca = 1,3944 Kg) y T3 (peso mazorca = 1,3557 Kg) entre los cuales no hay diferencia significativa, indicando que es lo mismo producir maíz con fertilizante químico que con lombicompost. La menor producción se obtiene en el T5 (peso mazorca = 1,0188 Kg) como era de esperarse con el tratamiento testigo, siendo significativamente inferior comparado con los demás tratamientos.

Tabla 22. Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variable independiente peso de Mazorca (Kg/Tratamiento)

**PESO MAZORCAS**

Duncan<sup>a,b</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05			
		1	2	3	4
Testigo	78	1,0188			
Químico	116		1,3557		
Lombicompost	186		1,3944		
Gallinaza	215			1,6903	
Bocashi	204				2,0245
Sig.		1,000	,502	1,000	1,000

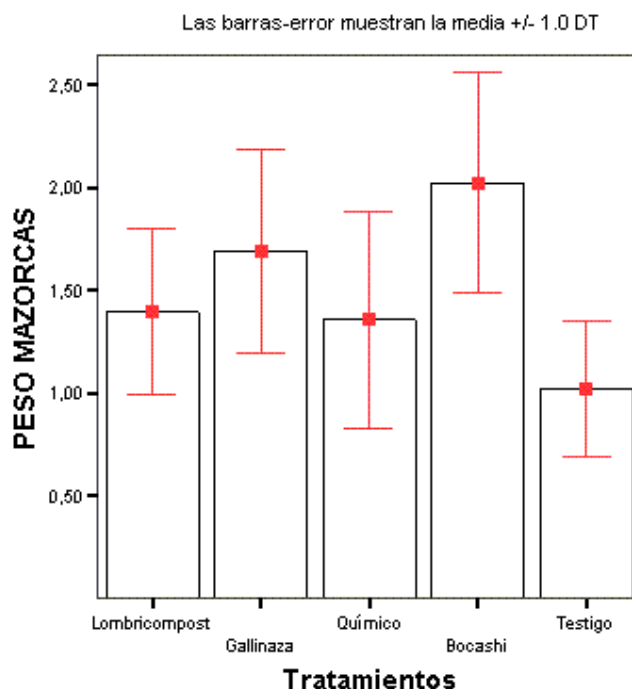
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa tamaño de la muestra de la media armónica = 137,473.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error del tipo I no están garantizados.

Lo anterior se ve reflejado en la figura 35, en donde se aprecia nuevamente que la mayor producción de mazorcas (Kg) se obtiene en el T2 y T4 pero hay una diferencia significativa entre ellos, le siguen los tratamientos T1 y T3 entre los cuales no hay diferencia significativa, pero si son significativamente mayores comparados con el T5.

Figura 35. Peso de Mazorcas (Kg/Tratamiento)



En el caso de la variable dependiente peso del grano (Kg), en la tabla 23 se encuentran de igual manera que el mayor peso de grano se obtiene en el T4 (1,5475 Kg) que es significativamente mayor que el T2 (1,2056 Kg) y éste a su vez es significativamente mayor que los tratamientos T1 (0,9186 Kg) y T3 (0,8762 Kg) entre los cuales no hay diferencia significativa, la menor producción de grano se obtiene en el T5 (0,5835 Kg), siendo significativamente inferior comparado con los demás tratamientos.

Tabla 23. Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variable independiente peso de grano (Kg/Tratamiento)

**PESO GRANO**

Duncan<sup>a,b</sup>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05			
		1	2	3	4
Testigo	78	,5835			
Químico	116		,8762		
Lombricompost	186		,9186		
Gallinaza	215			1,2056	
Bocashi	204				1,5475
Sig.		1,000	,303	1,000	1,000

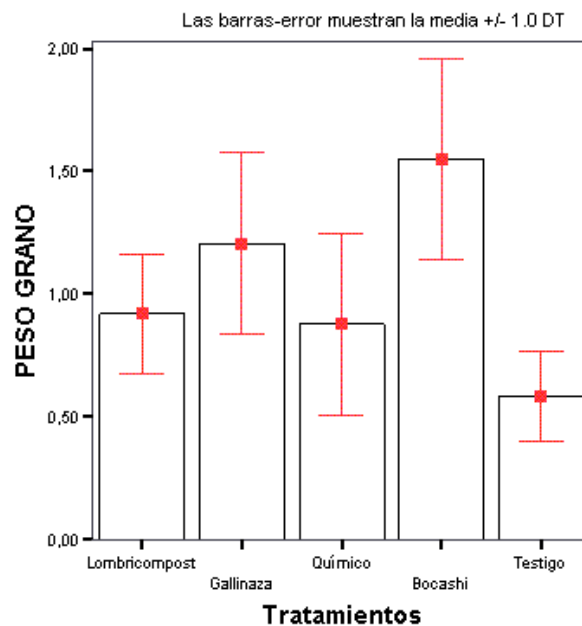
Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa tamaño de la muestra de la media armónica = 137,473.

b. Los tamaños de los grupos no son iguales. Se utilizará la media armónica de los tamaños de los grupos. Los niveles de error del tipo I no están garantizados.

Lo anterior se ve reflejado en la figura 36, en donde se aprecia nuevamente que la mayor producción de grano (Kg) se obtiene en el T2 y T4 pero hay una diferencia significativa entre ellos, le siguen los tratamientos T1 y T3 entre los cuales no hay diferencia significativa, pero si son significativamente mayores comparados con el T5.

Figura 36. Peso de grano (Kg/Tratamiento)





Los datos del rendimiento (Ton/Ha) en la producción de maíz en los diferentes tratamientos se analizaron igualmente con la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, complementada con las pruebas paramétricas Anova y comparación múltiple de Duncan. En anexo 8 se reportan los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis y de la prueba paramétrica Anova; en donde el rendimiento(Ton/Ha) se considera como variable dependiente y los cinco tratamientos se consideran como variables independientes. Para la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis y la prueba paramétrica Anova; en el anexo 8 se observa una alta significancia (  $p = 0.000$ ) para la variable dependiente rendimiento ( sí  $p < 0.05$  por lo tanto  $p$  es la significancia estadística, calculada mediante la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis y la prueba paramétrica Anova ), indicando así que hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo tanto se aplica la prueba de Duncan para determinar entre cuales variables independientes hay diferencia significativa, los datos se reportan en el anexo 8.

En la tabla 24 se reportan los resultados de la prueba de comparación múltiple de Duncan; en donde el rendimiento (Ton/Ha) se considera como variable dependiente y los cinco tratamientos se consideran como variables independientes. Se observa entonces en la tabla 24, que los tratamientos de mayor rendimiento son el T2 (rendimiento = 6,5533 Ton/Ha) y el T4 (rendimiento = 7,2600 Ton/Ha) entre los cuales no hay diferencia significativa: indicado así que se puede sustituir la gallinaza que es adquirida comercialmente a costos relativamente altos por el bioabono Bocashi, el cual es preparado con materiales propios de la finca, a costos inferiores, y los materiales utilizados para su elaboración son desechos de las mismas cosechas, con la ventaja de que se aprovechan residuos que pueden causar por sí solos contaminación ambiental y que al ser transformados adecuadamente se convierten en un insumo útil para la producción agropecuaria.

Con respecto al T1 (rendimiento = 4,5200 Ton/Ha) y T3 (rendimiento = 3,7300 Ton/Ha), no se encuentra diferencia significativa entre ellos pero comparados con los dos tratamiento anterior; su rendimiento es significativamente inferior, por lo tanto se clasifican en el segundo grupo a nivel de rendimiento. Indicando así que el bioabono lombricompost tiene los nutrientes en forma disponible de igual forma que lo tiene el fertilizante químico. El menor rendimiento se obtiene en el T5 (rendimiento = 1,3533 Ton/Ha) como era de esperarse con el tratamiento testigo, siendo significativamente inferior comparado con los demás tratamientos.

Tabla 24. Prueba de comparación múltiple de Duncan para la variable independiente de Rendimiento (Ton/THa)

**RENDIMIENTO (T/Ha)**

Duncan<sup>a</sup>

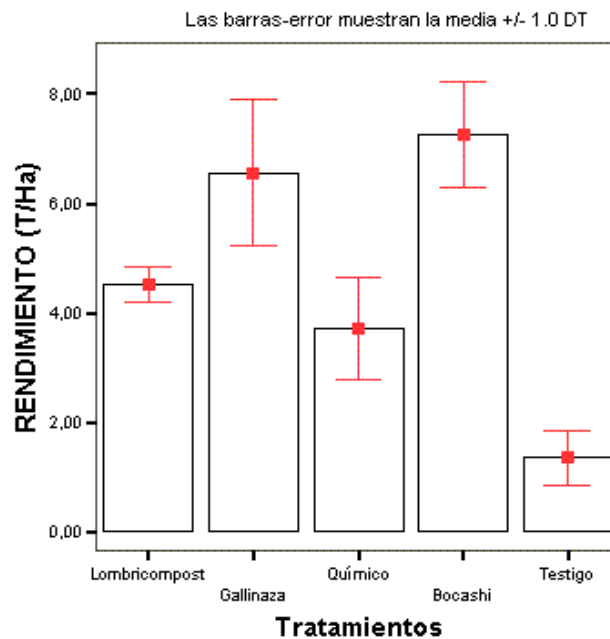
Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05		
		1	2	3
Testigo	3	1,3533		
Químico	3		3,7300	
Lombricompost	3		4,5200	
Gallinaza	3			6,5533
Bocashi	3			7,2600
Sig.		1,000	,301	,352

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa tamaño de la muestra de la media armónica = 3,000.

Lo anterior se ve reflejado en la gráfica 37, en donde se aprecia nuevamente que el mayor rendimiento se obtiene en el T2 y T4 pero hay una diferencia significativa entre ellos, le siguen los tratamientos T1 y T3 entre los cuales no hay diferencia significativa, pero si son significativamente mayores comparados con el T5.

Figura 37. Rendimiento (T/Ha) en la producción de maíz.



De acuerdo a los datos de rendimiento en grano (4.70 Ton/Ha) obtenidos con la variedad de maíz blanco Ica V.354 en la zona de ladera del sur del departamento del Cauca (11) con los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se observa que con el T1 se obtuvo un rendimiento de 4.5200 Ton/Ha para la variedad de maíz amarillo ICA V.305, acercándose al valor de rendimiento reportado por Corpoica; encontrándose que con los tratamientos T2 y T4 se obtuvo un rendimiento de 6.5533 Ton/Ha y 7.2600 Ton/Ha respectivamente; superando esta producción.

Comparando los datos de rendimiento en grano ( 5.54 – 6.30 Ton/Ha) obtenidos con la misma variedad de maíz amarillo ICA V.305 en la zona cafetera central de Colombia – CENICAFE (11) y con los resultados obtenidos en este trabajo de investigación, se observa igualmente que los tratamientos T2 y T4 se obtuvieron respectivamente un 10% y 22% por encima del rendimiento reportado por Cenicafé. El hecho de que el bioabono Bocashi logre superar a los demás bioabonos en rendimiento, se debe a sus propiedades químicas y no solamente a su poder nutricional, ya que como se mencionó anteriormente, este abono presenta un contenido nutricional muy similar al bioabono gallinaza y lombricompost, los supera únicamente en cuanto a micronutrientes Calcio, en Magnesio y en Capacidad de Intercambio Catiónico, pero es superior en cuanto al grado de humificación, indicando así que la forma como están los nutrientes en el bioabono influyen en la fertilización, ya que un alto grado de humificación implica una mayor retención de nutrientes y liberación de acuerdo a las necesidades del cultivo, y de acuerdo al principio de Le Chatelier, estos nutrientes se van suministrando a la solución a medida que la planta los va absorbiendo y su contenido va disminuyendo en la solución del suelo; si el grado de humificación disminuye, quiere decir que aumenta el contenido de ácidos fúlvicos en donde se solubilizan los nutrientes rápidamente y al pasar a la solución del suelo se pueden perder fácilmente por lixiviación o por adsorción en el caso del fósforo. Igualmente ocurre en el caso de la gallinaza en la cual se encontró también un mayor grado de humificación que en el caso del lombricompost. Sin embargo el lombricompost presenta un menor contenido de Potasio que es fundamental para la formación del grano en el maíz, ya que influye en el metabolismo de carbohidratos, también presenta menor contenido de Calcio y de Magnesio que el Bocashi. A pesar de que el lombricompost no presenta diferencia significativa en el rendimiento comparado con el fertilizante químico, se observa que su producción es mejor.

Todo lo anterior conlleva a concluir que los abonos orgánicos con buen estado de humificación y bien formulados superan la producción de cultivos de maíz con respecto a los fertilizantes químicos en suelos ácidos, en donde hay una alta deficiencia de Fósforo, Calcio, Magnesio y microelementos que se pierden por lavado debido a la fuerte acidez, o por adsorción sobre las arcillas del suelo en el caso del Fósforo y el Potasio.

## 8.5. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL ESTADO FINAL DEL SUELO

Después de realizada la cosecha de maíz, se procedió a tomar 5 unidades de muestreo, en cada unidad se tomaron 3 submuestras para formar una muestra compuesta correspondiente a cada unidad de muestreo. Las 5 unidades de muestreo se representaron de la siguiente manera:

**Inicial** : Suelo antes del ensayo

**Tratamiento 1** : Suelo + 100g de Lombricompost

**Tratamiento 2** : Suelo + 100g de Gallinaza

**Tratamiento 3** : Suelo + 10g de Fertilizante 10:30:10

**Tratamiento 4** : Suelo + 100g de Bocashi

**Tratamiento 5** : Suelo Testigo

**Tabla 25. RESULTADOS GENERALES SOBRE EL ESTADO FINAL DEL SUELO DONDE SE REALIZO EL CULTIVO DE MAÍZ**

PARAMETROS	TRATAMIENTOS					
	INICIAL	TTO <sub>1</sub>	TTO <sub>2</sub>	TTO <sub>3</sub>	TTO <sub>4</sub>	TTO <sub>5</sub>
pH en H <sub>2</sub> O	5.47	5.63	5.57	5.70	5.77	5.50
Carbono orgánico ( % )	6.17	9.42	10.8	6.32	9.82	6.44
Materia orgánica ( % )	10.6	16.2	18.60	10.9	17.0	11.1
Nitrógeno ( % )	0.84	0.75	0.69	0.91	0.78	0.60
C.I.C. ( meq/100 g )	37.1	45.0	46.7	41.0	49.0	38.2
P ( ppm )	1.00	3.36	3.94	3.26	3.66	1.12
S ( ppm )	1.18	4.24	4.44	3.95	4.37	1.74
Ca ( meq/100g )	2.34	2.60	3.0	2.40	3.0	2.11
Mg ( meq/100g )	0.66	0.92	0.97	0.74	0.82	0.60
Relación Ca/Mg	3.54	2.82	3.09	3.24	3.66	4.00
K ( meq/100g )	0.94	1.34	0.97	1.08	1.38	0.98

Na ( meq/100g )	0.26	0.25	0.25	0.30	0.30	0.26
Fe ( ppm )	3.72	4.13	4.38	3.70	4.00	3.84
Cu ( ppm )	0.53	0.53	0.64	0.53	0.64	0.52
Mn ( ppm )	2.43	3.98	2.66	2.54	2.54	2.54
Zn ( ppm )	1.85	1.79	1.87	1.56	1.72	2.10

### 8.5.1. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL pH DE SUELO DESPUÉS DE LA COSECHA DE MAIZ

Se comparó el pH inicial frente al valor de pH después de realizado el ensayo para analizar los efectos de los bioabonos aplicados en el suelo. Según los datos reportados en la tabla No. 25, inicialmente el suelo presentó un valor de pH 5.47, valor que se acerca a una acidez media y por debajo del rango adecuado para el cultivo de maíz ( 5.5 – 7.5 ), Según ANA PRIMAVESI 1982; que puede inducir a una indisponibilidad de Fósforo y otros nutrientes como se encontró en esta investigación. Al finalizar el cultivo, se aprecia un incremento en el valor del pH para todos los tratamientos a excepción del tratamiento TTO<sub>5</sub>, donde no se aprecia una diferencia significativa comparado con el pH inicial del suelo, pero si con los demás tratamiento.

El mayor incremento en el valor de pH lo produce el TTO<sub>4</sub>, (Tratamiento con Bocashi), este incremento es debido probablemente al aporte de bases de cambio ya que este bioabono presentó la mayor capacidad de Intercambio Catiónico, En general se puede decir que los abonos aplicados incluyendo el fertilizante; regulan de manera significativa la acidez del suelo, mejorándolo, el incremento del pH en el suelo se le puede atribuir además a los valores de pH de los bioabonos analizados y a la capacidad buffer que ellos tiene. En el caso del suelo tratado con fertilizante químico, se observa también un incremento considerable en el valor de pH que probablemente al incremento de bases de cambio.

### 8.5.2. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

Según los datos reportados en la tabla 25, el contenido inicial de Materia Orgánica fue de 10.6%, valor que se encuentra dentro del rango adecuado ( 8 – 15 % ) para cualquier cultivo, según Silva, 1980, al finalizar el cultivo de maíz, se aprecia un incremento en el contenido de Materia Orgánica

para todos los tratamientos a excepción de los tratamientos TTO<sub>3</sub> y TTO<sub>5</sub>, donde no se aprecia una diferencia significativa entre ellos pero si con los demás tratamiento, observándose claramente que en estos dos últimos tratamientos no hay ningún aporte de materia orgánica al suelo como era de esperarse.

Según los datos reportados en la tabla 25, el mayor incremento en el porcentaje de materia orgánica lo produce el TTO<sub>2</sub> pero en general los tratamientos TTO<sub>1</sub>, TTO<sub>2</sub> y TTO<sub>4</sub>, no presentan una diferencia significativa entre ellos pero si comparándolos con el contenido inicial de Materia Orgánica en el suelo. Este incremento en el porcentaje de Materia Orgánica se puede atribuir a los abonos orgánicos aplicados (Lombricompost, Gallinaza y Bocashi), comprobando así que la materia orgánica proveniente de los bioabonos ejerce un efecto benéfico sobre las propiedades químicas del suelo.

### **8.5.3. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE NITRÓGENO EN EL SUELO**

De acuerdo a los resultados reportados en la tabla 25, inicialmente el suelo presentó 0.84% de Nitrógeno, valor que es superior al valor normal (0.4%) para un suelo fértil en las condiciones de altura y clima de esta región, por lo tanto este suelo inicialmente es rico en Nitrógeno. Al finalizar el cultivo se aprecia que el contenido de este elemento disminuye en los tratamientos efectuados con abonos orgánicos, pero que se incrementa en el suelo tratado con fertilizante químico, indicando que no era necesario aplicar una fuente de este nutriente al suelo, que los abonos orgánicos regulan su suministro al suelo de tal forma que lo retienen dentro de sus moléculas de hùmus puesto que en la solución hay suficiente Nitrógeno para el cultivo y por el principio de Le Chatelier, no deja que haya desplazamiento hacia dicha solución, mientras que el fertilizante químico no tiene esta propiedad puesto que todo el Nitrógeno presente en él, es soluble y pasa a la solución, produciendo exceso en ellos y es posible que cause desequilibrios de otros nutrientes tales como Fósforo o Cobre por las relaciones antagónicas que hay entre ellos y es por esto que probablemente producen menor rendimiento en la producción. También la mayor altura de las plantas en este tratamiento se atribuye al exceso de Nitrógeno. El menor contenido lo presentó el suelo testigo, puesto que allí no hubo una fuente adicional de Nitrógeno, pero aún sigue quedando un nivel alto, indicando nuevamente que no era necesario aplicar una fuente de este nutriente.

Es posible también que ese contenido alto de Nitrógeno que se sigue presentando después de la cosecha se atribuye a la urea que se aplicó después de sembrado el maíz, indicando nuevamente que no era necesario su aplicación.

#### **8.5.4. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN EL SUELO**

De acuerdo a los resultados reportados en la tabla 25, inicialmente el suelo presentó una Capacidad de Intercambio Catiónico de 37.1 meq/100g, al finalizar el cultivo se aprecia un incremento en todos los tratamientos. El incremento en el tratamiento TTO<sub>5</sub> no es significativo.

El incremento en la Capacidad de Intercambio Catiónico en el caso de los Tratamiento TTO<sub>1</sub>, TTO<sub>2</sub> y TTO<sub>4</sub> es producto del incremento de nutrientes como Potasio, Calcio y Magnesio intercambiables, provenientes de los abonos Lombricompost, Galinaza y Bocashi, así como el incremento en el valor de pH. En el caso del tratamiento TTO<sub>3</sub>, se puede atribuir al incremento en el valor de pH.

#### **8.5.5. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE LAS BASES DE CAMBIO EN EL SUELO**

Con base a los resultados reportados en la tabla 25, el contenido inicial de Calcio está por debajo del rango óptimo; (Silva, 2000) después de aplicar los bioabonos, se encontró que todos los tratamientos presentan un incremento en la concentración de Calcio a excepción del tratamiento TTO<sub>5</sub> debido a que el cultivo de maíz implantado tomó directamente el Calcio que aporta el suelo para su desarrollo. El mayor incremento lo presentaron los tratamiento TTO<sub>2</sub> y TTO<sub>4</sub> indicando que tanto la gallinaza como el Bocashi aportan Calcio no solamente al cultivo, sino que dejan el suelo en condiciones adecuadas con respecto a este nutriente.

El Lombricompost y el Fertilizante químico logran probablemente suplir la deficiencia de Calcio al cultivo, puesto que no se observan síntomas visuales de deficiencia, pero no suplen suficientemente al suelo de este elemento, indicando así nuevamente la ventaja de los dos primeros bioabonos.

Por otra parte y con base a los resultados reportados en la tabla 25, inicialmente se presentó una fuerte deficiencia de Magnesio en el suelo, ya que su nivel es inferior al óptimo reportado por Silva (2000), después de la cosecha; se observa un incremento en los suelos tratados con Lombricompost, Gallinaza y Bocashi y un ligero incremento en el suelo tratado con fertilizante químico. Los anterior indica que los abonos orgánicos regulan las propiedades químicas del suelo de tal manera que logran mejorar la disposición de este nutriente, no solo para la absorción de la planta sino para la solución del suelo, debido a que se produce un incremento en la Capacidad de Intercambio Catiónico que permite una adsorción superficial de este nutriente impidiendo pérdidas por lavado.

Sin embargo se sigue presentando deficiencia para un próximo cultivo, siendo esto más marcado en el suelo tratado con fertilizante químico, indicando nuevamente que los abonos orgánicos debido a su composición; suministran adecuadamente nutrientes a las plantas y mejoran propiedades del suelo. Como es de esperarse el suelo testigo presentó menor contenido de Magnesio después del cultivo.

Por otra parte y con base a los resultados reportados en la tabla 25, el contenido inicial de Potasio es superior al rango óptimo (Silva, 2000) típico de este tipo de suelos por el apreciable contenido de arcillas. Después de la cosecha se observó un apreciable incremento en los suelos tratados con Bocashi, Lombricompost y Fertilizante químico, debido al aporte que hacen estos abonos no solo a la planta sino a la solución del suelo. En el caso del Bocashi como se encontró anteriormente, este bioabono es una fuente de este nutriente, el Lombricompost a pesar de no tener suficiente Potasio en su composición, el hecho de que su Materia orgánica logre incrementar la Capacidad de Intercambio Catiónico hace que se retenga este elemento sin pérdida por lixiviación. El fertilizante químico en su composición presenta una fuente soluble de este elemento.

Los suelos tratados con Gallinaza presentan un ligero incremento pero no el esperado por su composición, debido a que su proceso de humificación no es suficiente y por lo tanto al llegar al suelo se pierde fácilmente el Potasio.



Con respecto al contenido de Sodio, y de acuerdo a los datos reportados en la tabla 25, no se aprecia diferencia significativa entre los diferentes tratamientos comparados con el contenido de Sodio antes del ensayo, debido lógicamente a que estos suelos son ácidos.

#### **8.5.6. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE FÓSFORO EN EL SUELO**

El Fósforo es un componente de todas las enzimas involucradas en el transporte de energía, en los procesos de fosforilación, fotosíntesis respiración, síntesis y descomposición de proteínas carbohidratos y grasas. Además el Fósforo ayuda a la formación de raíces así como a la formación y maduración de frutos en este caso de maíz, esto se ve reflejado en la cosecha ya que nivel de producción de maíz en el caso de los tratamiento T<sub>2</sub> y T<sub>4</sub> presentaron el mayor rendimiento (Ton/Ha) a nivel de producción. Inicialmente se presentó una severa deficiencia de este nutriente en el suelo; al finalizar el cultivo se notó un ligero incremento de Fósforo en los suelos tratados con abonos orgánicos y en menor proporción con el fertilizante químico, lo que indica que las plantas tomaron el Fósforo para su desarrollo y los abonos orgánicos hicieron el aporte necesario para dicho desarrollo, pero en el caso del fertilizante químico, el aporte no fue suficiente puesto que se notó síntomas visuales de deficiencia en el cultivo.

También se podría deducir que los abonos orgánicos logran regular las propiedades químicas del suelo de tal manera que se impide que el Fósforo que ellos suministran a la solución sea absorbido por la fase coloidal. Sin embargo también se puede deducir que con esta única aplicación no se logra corregir totalmente la deficiencia de Fósforo en el suelo y que por lo tanto es necesario seguir con la aplicación de dichos abonos, tanto que logren mejorar considerablemente todas las propiedades químicas de este suelo.

#### **8.5.7. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE AZUFRE EN EL SUELO**

Con base en el análisis reportado en la tabla 25 inicialmente el suelo presentó una concentración de 1.18ppm de Azufre indicando una deficiencia de este macronutriente en el suelo, al finalizar el ensayo se aprecia que todos los tratamientos presentan un incremento en la concentración de Azufre, sin embargo sigue existiendo deficiencia en todos los casos, se puede deducir entonces que

los abonos orgánicos sobre todo logran suplir la deficiencia de este nutriente a las plantas y que el hecho de producir un efecto positivo sobre el pH del suelo, logran que el elemento absorbido en el suelo debido a la fuerte acidez sea capaz de liberarse y por esto aumenta su concentración, lo mismo pasa con el fertilizante químico pero su efecto es mucho menor, confirmando nuevamente la importancia de la materia orgánica en buen estado de transformación para el suelo. Con respecto al suelo testigo, no se aprecia un incremento, ya que no hay diferencia significativa en el contenido de Azufre con respecto al valor inicial en el suelo.

#### **8.5.8. EFECTO DE LOS BIOABONOS SOBRE EL CONTENIDO DE MICROELEMENTOS EN EL SUELO**

Según los datos reportados en la tabla No. 25, se observa inicialmente que el suelo presenta deficiencia de todos los micronutrientes, después del cultivo; los suelos tratados con abonos orgánicos presentan un ligero incremento en el contenido de Hierro, Manganeso y Cobre a pesar de que los abonos orgánicos no tienen suficiente contenido de micronutrientes, su efecto sobre el mejoramiento de las propiedades químicas del suelo hace que se logre suministrar estos elementos al cultivo y a la solución del suelo. Se observa que en los suelos tratados con Lombricompost y Bocashi, su contenido es menor, indicando que el aporte fue únicamente para las plantas, pero no a la solución del suelo o que puede haber quelatación de estos elementos por la Materia orgánica de estos bioabonos.

#### **8.6. CORRELACION DE LA CALIDAD DE LOS ABONOS CON LA PRODUCCION DEL CULTIVO DE MAIZ HIBRIDO AMARILLO “*El Colorao*”.**

Según los datos obtenidos en las tablas No.4 y No.10 el bioabono Providencia no cumplió con los parámetros requeridos para catalogarlo como abono orgánico ya que presentó deficiencia de materia orgánica y un valor muy bajo en el porcentaje de Carbono en el Extracto Húmico Total, fundamental para determinar su grado de humificación, indicando un alto grado de mineralización, inconveniente para obtener una óptima biotransformación que garantice un correcto proceso de humificación de la materia orgánica indispensable para que como bioabono aporte un mejoramiento tanto físico como químico al suelo. Por esta razón el bioabono Providencia no se tuvo en cuenta en la evaluación agronómica sobre el cultivo de Maíz híbrido amarillo.

Los bioabonos Bocashi, Gallinaza y Lombrocompost están en la capacidad de transformar los minerales insolubles y adsorber los nutrientes orgánicos solubles, reteniéndolos e impidiendo que se pierdan por lavado, originando además una liberación lenta de nutrientes, por lo tanto los tres bioabonos presentaron mejores condiciones tanto físicas como químicas que garantizan mejorar las condiciones del suelo, como era de esperarse ya que en los tres casos se cumple con los parámetros requeridos tanto en el índice de húmificación como en el grado de humificación,

Al aplicar los bioabonos Bocashi , Gallinaza y Lombricompost al suelo, según la estadística realizada con la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis, complementada con las pruebas paramétricas Anova y comparación múltiple de Duncan se encontró que a nivel de producción ( peso de mazorca y peso de grano en Kilogramos) que el suelo tratado con Gallinaza y el suelo tratado con Bocashi presentaron una mayor producción, diferencia significativa con respecto a los suelos tratados con Lombricompost y con Fertilizante 10:30:10 entre los cuales no hay diferencia significativa, indicando que es lo mismo producir maíz con fertilizante químico que con lombicompost. Con respecto al rendimiento, se encontró igualmente que el suelo tratado con Gallinaza y el suelo tratado con Bocashi obtuvieron respectivamente un 10% y 22% por encima del rendimiento reportado por Cenicafé diferencia significativa con respecto a los suelos tratados con Lombricompost y con Fertilizante 10:30:10.

## CONCLUSIONES

- Se logró implementar la metodología que está siendo reglamentada por la Norma Técnica Colombiana para evaluar la calidad y el grado de madurez de los abonos orgánicos.
- El abono providencia no cumple con los parámetros requeridos para catalogarlo como abono orgánico de acuerdo a las Norma Técnica Colombiana (ICONTEC); mientras que los abonos Bocashi , Gallinaza y Lombricompost.; si cumplen con dichos parámetros y por esto se catalogan como abonos orgánicos.
- Los bioabonos Lombricompost, Gallinaza y Bocashi incluyendo el Providencia presentan un valor óptimo de pH que ayudan a mejorar el pH de suelos ácidos aptos para el cultivo.
- El Bioabono Bocashi se puede considerar fuente de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, y Azufre. El bioabono Gallinaza se puede considerar fuente de Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio y Azufre. Mientras que el bioabono Lombricompost se considera como fuente de Nitrógeno, Fósforo y Azufre.
- Los bioabonos Lombricompost, Gallinaza y Bocashi presentan deficiencia de Hierro, manganeso, Cobre y Zinc, pero aún así estos abonos orgánicos suministran las cantidades necesarios de microelementos indispensables para que el cultivo de maíz pueda desarrollarse.

- Inicialmente el suelo seleccionado para la evaluación agronómica de los abonos presenta una acidez fuerte, como deficiencia de Fósforo, Calcio, Magnesio, Azufre y de micronutrientes ( Hierro, manganeso, Cobre y Zinc); presenta además niveles suficientes de Nitrógeno y Potasio.
- Después de realizada la cosecha, los abonos orgánicos Lombricompost, Gallinaza y Bocashi lograron incrementar el valor del pH en el suelo a niveles adecuados para un cultivo de maíz.
- El nivel de Nitrógeno presente en este suelo es suficiente para el cultivo de maíz, no es necesario aplicar fuentes de este nutriente y el que se presente después de la cosecha sigue siendo suficiente para otro cultivo.
- Los abonos orgánicos aplicados, siguen manteniendo niveles altos de Potasio en el suelo.
- La Gallinaza y el Bocashi logran suplir niveles suficientes de Calcio al cultivo y permiten mantener un nivel óptimo en el suelo; el Lombricompost también logra suplir la deficiencia de este elemento al cultivo, pero no logra mantener el nivel normal Calcio en el suelo.
- Los abonos orgánicos permiten suplir los requerimiento de Magnesio al cultivo, incrementando el nivel de este elemento en el suelo, pero no hasta un nivel normal.

- La aplicación de abonos orgánicos no solamente corrigen deficiencias en su sitio de aplicación sino que logra adecuar un área circundante en cuanto a sus efectos sobre las propiedades físicas y químicas y por ende debe corregir o mejorar sus propiedades biológicas.
- Los abonos orgánicos con un buen proceso de humificación y bien formulados superan la producción de cultivos de maíz con respecto a los fertilizantes químicos en suelos ácidos, en donde hay una alta deficiencia de Fósforo, Calcio, Magnesio y microelementos que se pierden por lavado debido a la fuerte acidez o por adsorción en el caso del Fósforo.
- Según el tratamiento estadístico, se puede sustituir el abono gallinaza por el bioabono Bocashi para un cultivo de maíz, ya que a nivel de rendimiento (Ton/Ha), no se presenta diferencia significativa, cabe resaltar que en la elaboración del Bocashi se reutilizan desechos de las mismas cosechas, con la ventaja de que se aprovechan residuos que pueden causar por sí solos contaminación ambiental y que al ser transformados adecuadamente se convierten en un insumo útil para la producción agropecuaria.
- Según los análisis realizados; los tratamientos con Bocashi y Gallinaza obtuvieron un 10% y 22% respectivamente; por encima del rendimiento reportado por Cenicafé a nivel de producción de Maíz.
- Tanto el bioabono Lombricompost como el fertilizante químico 10:30:10, contienen los nutrientes disponibles de igual forma que se puede sustituir el fertilizante químico por un abono orgánico en este caso el lombricompost para obtener rendimientos cercanos a los reportados por Cenicafé.

## BIBLIOGRAFIA

1. AUSTIN T. George. Manual de Procesos Químicos en la Industria. Editorial Mc Graw – Hill. Primera Edición en Español. Tomo II. U.S.A. 1988.. pp 559 – 563.
2. ARANGO Gloria. Sustancias Húmicas formadas durante la compostación de Residuos de Cosecha. En: Suelos Ecuatoriales. Colombia. Volumen 24. Junio de 1999.
3. BARRETO R. Jairo, Materiales Orgánicos utilizados como Fertilizantes o Acondicionadores de Suelos. Conferencia presentada en el Seminario “Materiales Orgánicos en la Agricultura”. Sociendad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Antioquia. Medellín, Marzo 27 y 28. 2003. pp 1-10.
4. BRAVO R; Isabel. GIRALDO, Efrén. Manual de Prácticas de Química Agrícola. Universidad del Cauca. Facultad de Ciencias Naturales, Exactas y de la Educación. Departamento de Química. Popayá Cauca. 2002 pp 2 – 7, 20 – 32, 42 – 73
5. BRAVO, Isabel. GIRALDO, Efrén. GARCES, Paula. Biotransformación de algunos Residuos Agroindustriales y Evaluación de su Proceso de Humificación. En: Suelos Ecuatoriales. Colombia. Vol 31. No. 2. Diciembre de 2001. pp 146 – 151
6. BOID S.A; SOMMERS, L E.; NELSON D W.. Cooper (II) and iron (III) complexation by the carboxylate group of humic acidos. Soil Science Soc. 1981. pp 395.
7. CAMERON, R.S, B.K. Thornton, R.S Swift. And A.M. Posner. 1972. Molecular weight and shape of humic acid from sedimentation and diffusion measurements on fractionated extracts. J. Soil Sci. 23. pp 394-408.

8. COREY, R. 1973. Factors Affecting the availability of nutrients to plants. In: Soil testing and Plant Analysis, Soil Science of America INC, Madison Wisconsin, U.S.A. pp: 23-25.
9. CUADERNOS AVICOLAS 11. "Producción de Compost en la Industria Avícola". Grupo interdisciplinario de estudios moleculares GIEM. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales Universidad de Antioquia. FENAVI. Fondo Nacional Avícola FONAV. Bogotá Noviembre 2000.
10. DE LEON Carlos. Disponibilidad de Recursos Genéticos de Maíz en Colombia. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional del Valle del Cauca. Palmira Valle del Cauca. Septiembre 2001. pp 139-147
11. Folleto: Maíz Funk's G-5423 "El Colorao". Novartis Agro Latinoamericano Norte S.A. Bogotá, D.C., Colombia. 2000. pp 4 - 7.
12. GARCIA Alvaro. Manejo Productivo de Suelos para Cultivos de Alto Rendimientos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional del Valle del Cauca. Palmira. 2001. pp 63 – 75.
13. GONZALES F. Alvaro. Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos. Quinta edición. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Subdirección Agrológica. Bogotá D.E., 1990. pp 173 – 176
14. GOMEZ, Jairo A. Fertilidad de los Suelos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1980. pp 307-309
15. GUERRERO R. Ricardo, Eficiencia de la Fertilización en la Agricultura de Colombia. Conferencia presentada en el Seminario "Manejo Productivo de Suelos para Cultivos de Alto Rendimiento. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo". Comité Regional del Valle del Cauca. Palmira, Septiembre 27 y 28. 2001. pp 129.



16. GUERRERO. Ricardo, Fertilidad del Suelo- Diagnóstico y control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1980. pp 142.
17. KIELL Edgar José. Fertilizantes organominerales. Ed Diracicaba. 1993.
18. LABRADOR, M. J. 1996. La materia orgánica en los agroecosistemas. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ediciones Mundi-Prensa. pp 174.
19. LEON S. Luis A, Las Propiedades Químicas de los Suelos y su Efecto sobre la Disponibilidad de los Nutrientes para las Plantas. Trabajo presentado durante el Seminario “ Manejo Productivo de Suelos para Cultivos de Alto Rendimiento”. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional del Valle del Cauca. Palmira , Septiembre 27 y 28. 2001. pp 51.
20. LOPEZ R. Arthemo, y otros. “El Colorao”, Un Maíz para Intercalar con Zonas y Nuevas Siembras de Café. Cenicafé. Programa de Investigación Científica. Manizales. 2000. pp 1-6.
21. LORA S. Rodrigo, Factores que Afectan la Disponibilidad de los Nutrientes para las Plantas. Fertilidad de Suelos. Diagnostico y Control. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 1980. pp 85 – 97.
22. MONTOYA y Otros. Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para Riego. 2da Ed. 1998.
23. MOORE, D.P. 1972. Mechanisms of Micronutrient uptake by Plants. In: Micro nutrients in Agriculture. Soil. Scie. Soc. of America Inc. Madison. V Visc. U.S.A. pp: 171 – 198.
24. MOSER, M. A. 1996. Estiércol de cerdo: recolección, tratamiento y uso como fertilizante para cultivos. Porcicultura Colombiana. No 41, En. - Feb. pp 11-19.

25. MUÑOZ, A. R. 1994. Los abonos orgánicos y su uso en la agricultura. En: Fertilidad de suelos. Diagnóstico y Control. Francisco Silva Mojica (ed.). Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Bogotá. pp 293-304.
26. MUÑOZ G. Gaby M. Trabajo de Grado: Evaluación de la retención de aluminio por dos Fuentes de Materia Orgánica y su Correlación con el grado de Humificación. Universidad del Cauca, FACENED, Departamento de Química. Popayán. 2003.
27. NORMA TECNICA COLOMBIANA (ICONTEC). Parámetros a caracterizar (%) en peso y otros requerimientos para abonos orgánicos, organominerales y enmiendas orgánicas. Memorias. Seminario. Medellín; Marzo 28, 28 y 29 . 2003.
28. OLSEN, S.R. 1972. Micronutrient interactions. In: Micronutrients in Agriculture: Soil- Si. Soc. of America Inc. Madison. Wisc. U.S.A. pp: 243-264.
29. OROZCO Hernando y otros. Residuos Orgánicos. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 2da Ed. Medellín Colombia. 1998.
30. PLANAS, Antoni Correlación de Variables fisico-químicas en el Proceso de Compostaje y su Impacto en Programas de Fertilización. Conferencia presentada en el Seminario "Materiales Orgánicos en la Agricultura". Sociendad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Comité Regional de Antioquia. Medellín, Marzo 27 y 28. 2003. pp 1 – 10.
31. PRIMAVESI Ana. Manejo Ecológico del Suelo. 5ta Ed. El Ateneo. Sao Paulo Brasil. 1984.
32. RANKIN, R. L. 1993. An economic evaluation of two waste management systems - A relative profitability study comparing slurry tank-injection systems to lagoon-irrigation systems. Thesis, Master of Science in Veterinary Medical Scince, University of Illinois, Urbana-Champaign. pp 99 .

33. RAMIREZ C. Gustavo, Agricultura Orgánica, Fungicidas, Abonos Orgánicos y Caldos Microbianos. Tercera Edición Corregida. Buga Valle. 1998. pp 13.
34. RESTREPO H Fransisco. Manejo de Residuos Sdólidos e el Suroeste Antioqueño. Seminario Materiales Orgánicos en la Agricultura. Sociedad Colombiana del Suelo. 27 y 28 de Marzo 2003. pp7-9.
35. RESTREPO Jairo. Abonos Orgánicos Fermentados. Experiencia de Agricultores en Centroamérica y Brasil. San José de Costa Rica. Corporación Educativa para el Desarrollo Costarricense (EDECO). 1996
36. RUIZ, O. 2000, Estudio Cinético de la Oxidación de Carbones a bajas Temperaturas. Obtención de Acidos Húmicos Regenerados. Tesis de grado. Magister en Ciencia y Técnica del Carbón. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Sede Medellín
37. SEGARRA, J. 1983. Utilización y manejo de los lodos de aguas residuales urbanas con fines agrícolas. En: Suelos Ecuatoriales, Revista de la Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. XIII, No. 1, pp 151-173.
38. SEQUI, P., NOBILI, M., LEITA, L., and CERCIGNANI, G. 1986. A new Index of humification. Agrochimica. 30. pp 175-179
39. SEYMOUR, John. El Horticultor Autosuficiente. Guía Práctica Ilustrada para la Vida en el Campo. Editorial Blume. 1998. Barcelona... pp 17
40. SILVA Francisco. Fertilidad de Suelos "Diagnóstico y Control". Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Cap XI. Santa fé de Bogotá Colombia. 1980. pp 115, 156, 167, 179, 188

41. SILVA Francisco. Fundamentos para la Interpretación de Análisis de Suelos, Plantas y Aguas para Riego. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 3ra Ed. Santa fé de Bogotá Colombia. 2000.
42. STEVENSON, F. J. y E. T. ELLIOT. 1989. Methodologies for assessing the quantity and quality of soil organic matter. En : Coleman, D. C., M. Oades y G. Uehara (eds.), Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii USA. pp 173-199.
43. SUELOS ECUATORIALES. Revista de la sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Volumen 30 No.2 Diciembre 2000. pp 125-127
44. VEENHUIZEN, M.A., ECKERT, D.J., ELDER K., JOHNSON J., F.L. WILLIAM, K.M. MANEL, G. SCHNITKEY. 1992. Ohio Livestock manure & wastewater management guide. The Ohio State University, USA. pp79
45. ZUCCONI, F.; FORTE, M.; BERTOLDI M.; AND MONACO, A. 1981. Biological Evaluation of Compost Maturity. BioCycle. July-August. pp 27-29.
46. Manual para extensionistas, promotores y productores del campo. Salud del Suelo. Available from Internet. [www.ppathw3.cals.cornell.edu/ipmweb/chapter7.pdf](http://www.ppathw3.cals.cornell.edu/ipmweb/chapter7.pdf)

# ANEXO

## **ANEXO 1**

### **EVALUACIÓN DEL PORCENTAJE DE GERMINACIÓN DE LAS SEMILLAS DE MAÍZ A LOS 12 DÍAS**

## **ANEXO 2**

### **EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO ( DESARROLLO ) DEL CULTIVO DE MAÍZ A LOS 28 DÍAS**

## **ANEXO 3**

### **EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE LAS PLANTAS A LOS 59 DÍAS**



## **ANEXO 4**

### **EVALUACIÓN EN LA ETAPA DE FLORACIÓN ( EPIGA ) DEL CULTIVO DE MAÍZ**

## **ANEXO 5**

### **EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE MAZORCAS EN FORMACIÓN EN EL CULTIVO DE MAÍZ A LOS 97 DÍAS**

## **ANEXO 6**

### **EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE MAZORCAS FORMADAS EN EL CULTIVO DE MAÍZ A LOS 113 DÍAS**

## ANEXO 7

### EVALUACIÓN DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ A NIVEL DE MAZORCAS (Kg/Tratamiento) y GRANO (Kg/Tratamiento)

#### Pruebas no paramétricas Prueba de Kruskal-Wallis

##### Estadísticos de contraste<sup>a,b</sup>

	PESO MAZORCAS	PESO GRANO
Chi-cuadrado	254,040	376,683
gl	4	4
Sig. asintót.	,000	,000

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Tratamientos

#### Un factor

##### Descriptivos

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo	
					Límite inferior	Límite superior			
PESO MAZORCAS	Lombricompost	186	1,3944	,4029	2,955E-02	1,3361	1,4527	1,01	2,27
	Gallinaza	215	1,6903	,4969	3,389E-02	1,6235	1,7571	1,10	2,55
	Químico	116	1,3557	,5271	4,894E-02	1,2587	1,4526	,80	2,14
	Bocashi	204	2,0245	,5371	3,761E-02	1,9504	2,0987	1,10	2,63
	Testigo	78	1,0188	,3305	3,742E-02	,9443	1,0934	,60	1,64
Total	799	1,5926	,5723	2,025E-02	1,5529	1,6324	,60	2,63	
PESO GRANO	Lombricompost	186	,9186	,2416	1,771E-02	,8837	,9536	,68	1,57
	Gallinaza	215	1,2056	,3703	2,525E-02	1,1559	1,2554	,79	1,99
	Químico	116	,8762	,3673	3,410E-02	,8087	,9438	,49	1,53
	Bocashi	204	1,5475	,4106	2,875E-02	1,4909	1,6042	,53	1,99
	Testigo	78	,5835	,1861	2,108E-02	,5415	,6254	,37	,92
Total	799	1,1175	,4592	1,625E-02	1,0857	1,1494	,37	1,99	

##### ANOVA

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.	
PESO MAZORCAS	Inter-grupos	79,603	4	19,901	86,912	,000
	Intra-grupos	181,806	794	,229		
	Total	261,409	798			
PESO GRANO	Inter-grupos	75,755	4	18,939	162,495	,000
	Intra-grupos	92,541	794	,117		
	Total	168,297	798			

#### Pruebas post hoc Subconjuntos homogéneos

## ANEXO 8

### RENDIMIENTO DE LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ (Ton/Ha)

#### Pruebas no paramétricas Prueba de Kruskal-Wallis

Estadísticos de contraste<sup>a,b</sup>

	RENDIMIENTO (T/Ha)
Chi-cuadrado	12,760
gl	4
Sig. asintót.	,013

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Tratamientos

#### Un factor

##### Descriptivos

RENDIMIENTO (T/Ha)

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Lombricompost	3	4,5200	,3118	,1800	3,7455	5,2945	4,16	4,70
Gallinaza	3	6,5533	1,3332	,7697	3,2415	9,8652	5,17	7,83
Químico	3	3,7300	,9338	,5391	1,4104	6,0496	2,66	4,38
Bocashi	3	7,2600	,9708	,5605	4,8485	9,6715	6,66	8,38
Testigo	3	1,3533	,4965	,2867	,1199	2,5868	,78	1,64
Total	15	4,6833	2,3045	,5950	3,4071	5,9595	,78	8,38

##### ANOVA

RENDIMIENTO (T/Ha)

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	66,482	4	16,620	21,116	,000
Intra-grupos	7,871	10	,787		
Total	74,353	14			

#### Pruebas post hoc Subconjuntos homogéneos

# FOTOS



Suelo tratado con bioabono Gallinaza



Tratamiento Testigo



Desarrollo del cultivo de Maíz en el Suelo tratado con bioabono Bocashi



Deficiencia de Fósforo en el tratamiento Testigo





Producción de Maíz en el tratamiento con Lombricompost



Evaluación del crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz