

**EVALUACION AGRONOMICA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO, DEL  
USO DE COMPOST A BASE DE LODOS PRODUCIDOS EN LA PTAR (CALI) EN  
SUELOS DE LOS MUNICIPIOS DE BUENAVENTURA Y CANDELARIA**

**DIANA CECILIA MENA GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD DEL PACIFICO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS  
AGRONOMÍA DEL TRÓPICO HÚMEDO  
BUENAVENTURA  
2007**

**EVALUACION AGRONOMICA BAJO CONDICIONES DE INVERNADERO, DEL  
USO DE COMPOST A BASE DE LODOS PRODUCIDOS EN LA PTAR (CALI) EN  
SUELOS DE LOS MUNICIPIOS DE BUENAVENTURA Y CANDELARIA**

**DIANA CECILIA MENA GUTIÉRREZ**

**Trabajo de grado como requisito para optar el título de  
AGRONOMO DEL TRÓPICO HÚMEDO**

**DIRECTOR**

**LUÍS ALFREDO LEÓN SARMIENTO Ph. D.**

**ASESOR**

**CARLOS MEDINA I. A.**

**UNIVERSIDAD DEL PACIFICO  
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS  
AGRONOMIA DEL TROPICO HUMEDO  
BUENAVENTURA**

**2007**

**2**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del presidente de jurado**

---

**Firma del jurado**

---

**Firma del jurado**

**Ciudad y fecha**

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresar agradecimiento a:

A la Universidad del Pacifico por la oportunidad de formarme académica, profesional y éticamente.

A Luís Alfredo León Sarmiento, Ph.D exdirector del Programa de Agronomía y Director de trabajo de grado. Por su colaboración, esmero, apoyo y formación académica durante la ejecución del trabajo.

A Carlos Medina I.A. Asesor del trabajo de grado por su valiosa dedicación durante la formación académica. Desvelo y apoyo en la realización de este valioso trabajo que le dará un aporte a la agricultura en el Pacifico Colombiano.

A los Docentes del Programa de Agronomía de la Universidad del Pacifico por transmitir sus valiosos conocimiento y experiencias durante el proceso formación académica. En especial al docente Alberto Ruiz Alonzo, Estadístico por sus asesorias, Mirna Mosquera, Física por su orientación y apoyo, José Antonio Rubiano por su colaboración y esmero, Ana Teresa Mosquera por su orietacion y apoyo.

A mis compañeros Sofía Caicedo Betancourt, Maria del Pilar Lerma, Carmen Yadilfa Grueso Rengifo, Ferley Mosquera Gamboa y Edilberth Mosquera, Por su apoyo y colaboración durante la formación académica.

A Jaime García Ms.C. por su colaboración.

## **DEDICATORIA**

Le ofrezco este aporte a la agricultura a:

A Dios por guardarme y permitirme  
cumplir una meta más de mi vida.

A mis padres Fancy Gutiérrez y Milton  
Mena por su amor, desvelo, colaboración,  
apoyo, tolerancia y comprensión durante  
mi formación ética y profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	15
1. JUSTIFICACION.....	16
2. OBGETIVOS.....	19
2.1. General.....	19
2.2. Específicos.....	19
3. REVISION DE LITERATURA.....	20
3.1 MARCO REFERENCIAL.....	20
3.1.1. Marco de antecedentes.....	20
3.2. CONTAMINACION POR AGUAS RESIDUALES Y LODOS.....	21
3.2.1. El problema de las aguas residuales.....	21
4. LODOS.....	24
4.1. LODOS RESULTANTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	24
4.1.1. Características de los lodos.....	24
4.2. TIPOS DE LODOS.....	24
4.3. DESTINO DE LOS LODOS.....	25
4.4. USO DE LODO RESIDUAL EN LOS SUELOS AGRICOLAS.....	26

4.5.	PROBLEMA DE LOS LODOS.....	28
4.6.	TRATAMIENTO DE LOS LODOS.....	30
5.	MATERIA ORGANICA.....	31
5.1.	DESCOMPOSICION DE LA MATERIA ORGANICA.....	32
5.2.	BENEFICIOS DE LA MATERIA ORGANICA.....	34
6.	COMPOST.....	35
6.1.	PROCESO DE COMPOSTAJE.....	35
6.2	CARACTERISTICAS DE LOS COMPOSTABLES.....	36
6.3.	FACTORES DE CONTROL DEL PROCESO.....	38
6.3.1.	Composición de la materia orgánica.....	38
6.3.2.	Temperatura.....	39
6.3.3.	Humedad.....	39
6.3.4.	Aireación.....	40
6.3.5.	Relación C/N.....	40
6.3.6.	Valor del pH.....	40
6.4.	FASES DEL PROCESO.....	40
6.4.1.	Fase de latencia.....	41
6.4.2.	Fase de crecimiento o mesofílica.....	42
6.4.3.	Fase termofílica.....	42
6.4.4.	Fase de maduración o crecimiento.....	42

7.	MATERIALES Y METODO.....	43
7.1.	LOCALIZACION.....	43
7.2.	SUELOS.....	43
7.3.	MATERIAL EXPERIMENTAL.....	44
7.4.	MATERIAL VEGETAL.....	46
7.5.	METODOLOGIA.....	47
8.	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	49
8.1.	DESCRIPCION DE LOS TRATAMIENTOS.....	49
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
9.1.	PARAMETROS DE EVALUACION DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	50
9.1.1.	Temperatura.....	50
9.1.2.	Humedad.....	50
9.1.3.	pH.....	51
9.1.4.	Altura.....	51
9.1.5.	Contenido Nutricional del Compost a base de Biosolido.....	51
9.2.	ANALISIS DE PESO DE MATERIA SECA (suelo de Buchitolo).....	52
9.3.	ANALISIS DE PESO DE MATERIA SECA (suelo del Campus).....	53
9.4.	ALTURA DE LA PLANTA.....	54
9.4.1.	Altura VS Tiempo – Suelo de Buchitolo.....	55

9.4.2.	Altura VS Tiempo – Suelo Campos.....	55
9.5.	ANALISIS COMPARATIVO CONTENIDO DE MATERIA SECA SEGÚN TRATAMIENTO.....	56
9.6.	ANALISIS ALTURA DE LA PLANTA.....	57
10.	CONCLUSION.....	59
11.	RECOMENDACIÓN.....	60
	BIBLIOGRAFIA.....	61
	ANEXO.....	64

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Organismos en lodo y posibles enfermedades.....	29
Tabla 2. Condiciones ambientales que regulan la descomposición de la materia Orgánica.....	33
Tabla 3. Composición media y relación C/N de algunos materiales orgánicos compostables.....	37
Tabla 4. Análisis de materiales orgánicos.....	44
Tabla 5. Requerimiento nutricional de la lechuga.....	46
Tabla 6. Peso del material vegetal seco por tratamiento.....	52
Tabla 7. Peso del material vegetal seco por tratamiento.....	53
Tabla 8. Altura final de la planta por tratamiento (suelo de Buchitolo).....	54
Tabla 9. Altura final de la planta por tratamiento (suelo del Campus).....	54
Tabla 10. Altura de la planta vs. tiempo.....	54
Tabla 11. pH de los tratamientos suelo de Buchitolo.....	58
Tabla 12. pH de los tratamientos suelo de Campus.....	58

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
Anexo A. Reporte de resultados de análisis de suelos.....	64
Anexo B. Metodología aplicada.....	65
Anexo C. Valores límites en metales pesados.....	65
Anexo D. Desarrollo de la temperatura del compost a través del tiempo.....	66
Anexo E. Desarrollo de la altura del compost a través del tiempo.....	67
Anexo F. ANOVA de un factor peso de materia seca suelo de Buchitolo.....	68
Anexo G. ANOVA de un factor peso de materia seca suelo de Campus.....	69
Anexo H. Modelo de regresión lineal suelo de Buchitolo.....	70
Anexo I. Modelo de regresión lineal suelo de Campus.....	72
Anexo J. Peso de materia seca (dispersión).....	74
Anexo K. Tasa de cambio promedio de la altura según tratamientos suelo Buchitolo y Suelo Campus.....	75

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
Figura 1. Análisis comparativo altura final de la planta según tratamiento y tipo de suelo.....	56
Figura 2. Análisis comparativo contenido de materia seca según tratamiento y tipo de suelo.....	57

## RESUMEN

Con el ánimo de buscar soluciones a la problemática que enfrenta actualmente el país y el mundo, debido a la alta contaminación ambiental producida por el hombre, se optó por evaluar, bajo condiciones de invernadero, un compost a base de biosólidos (lodo de aguas residuales de la PTAR), utilizando la lechuga romana (*Lactuca sativa*) como planta indicadora, para observar el efecto sobre su desarrollo, peso húmedo y peso seco. Se utilizaron dos suelos del Valle de Cauca; un suelo ligeramente ácido (Buchitolo) con condiciones adecuadas para el crecimiento de la mayoría de los cultivos debido a su buena disponibilidad de nutrientes y un suelo ácido (Campus), con una concentración de aluminio por encima de los límites normales (0,5meq/100), los cuales se mezclaron en proporciones suelo: compost 3:1, 2:1, 1:1. Se incluyeron tratamientos adicionales: de abono mineral y testigo con los suelos del Campus y Buchitolo respectivamente.

Durante el proceso de evaluación del compost, las plantas del suelo de Buchitolo que presentaron un mayor desarrollo fueron los tratamientos (Mineral, Buchitolo) y la relación 3:1; los de menor rendimiento fueron los tratamientos 2:1 y 1:1. En cuanto al suelo del Campus el tratamiento mineral dio el de mejor desarrollo, al igual que las relaciones 3:1 y 2:1. El desarrollo más bajo fue el testigo Campus.

En suelos ligeramente ácidos y con un alto grado de fertilidad (Buchitolo), la adición del compost a base de lodo disminuyó notablemente el desarrollo de la Lechuga Romana cuando se adicionaron altas proporciones de dicho producto (suelo: compost 1:1). En suelos muy ácidos (Campus), el rendimiento de las plantas fue mayor cuando se ensayaron dosis bajas y medias del compost (relaciones suelo: compost: 2:1 y 3:1)

## SUMMARY

With the spirit of search solution to the problematical that confront the country and the world, due to the high pollution environment produced for the man, it was close to evaluate, in condition of green house, a compost to base of biosolids (mud of residue water of the PTAR), using the Lettuce Roman (Lactuca sativa) as a plant indicative, to observe the effect about its development, moist weight and dry weight. There were used two soils in Valle of Cauca; a soil slightly acid (Buchitolo) with adequate conditions for the growth of majority of the cultivation due to its good available of nutrients and an acid soil (Campus), with a concentration of aluminium over the normal limits (0.5 meq/100), which were mixed in proportions soil: compost 3:1, 2:1, 1:1. There were included additional: of mineral fertilizer and witness with soil of Campus and Buchitolo respectively.

During the process of evaluation of compost, the plants of soil of Buchitolo that presented a major development were the treatments mineral, witness Buchitolo and the relation 3:1 the minor efficiency were the treatments 2:1 and 1:1 about the soil of Campus the mineral treatment gave the of better development equal that the relation 3:1 and 2:1. The more low development were the witness Campus.

In slightly acid soil and with a high degree of fertility (Buchitolo), the addition of compost to base of mud decreased notably the development of the Lettuce Roman when there were added high proportions of that product (soil : compost 1:1). In soil very acid (Campus), the efficiency of the plants were major when tried low dose and half of compost (relation soil : compost: 2:1 and 3:1).

## INTRODUCCION

En la actualidad, el país y el mundo enfrentan muchos desbalances ambientales debido a la alta contaminación que se genera por las grandes cantidades de desechos producidas por las diversas actividades humanas, desechos que en su gran mayoría son vertidos a los ríos, acuíferos, al mar y/o a rellenos sanitarios. Las aguas contaminadas causan graves perjuicios a los seres directamente relacionados con ella y, como consecuencia, al medio ambiente circundante. El volumen y grado de contaminación varía según las circunstancias locales (se estima una producción media de unos 150-200 litros por habitante y día, en zonas rurales). Además de las sustancias inorgánicas (tierra, arena, sal), las aguas residuales urbanas contienen restos orgánicos putrescibles de origen diverso (legumbres, frutas, pan, restos de carne, grasas, jabón, papel, etc.), junto con las deyecciones humanas. Estas últimas se producen a razón de unos ciento treinta gramos diarios por persona, además de la orina (de 1,2 a 1,4 litros al día). Dependiendo de la relación caudal del río/vertidos, estos se depositan enseguida o son arrastrados y reducidos a pequeñas partículas (Muñoz. 2000).

El Municipio de Buenaventura está produciendo entre 150 – 180 toneladas diarias de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), residuos que son llevados hasta el relleno sanitario, sin un manejo y/o clasificación adecuados. Otros residuos (15 – 20 toneladas) se vierten a los ríos, acuíferos, baja mares y/o focos clandestinos (Lucumi, 2006)<sup>1</sup>.

Este municipio no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales como tal, sino con tres estaciones de bombeo de las cuales, sólo una se encuentra funcionando, aproximadamente en un treinta por ciento. En la actualidad, Hidropacífico, que es la entidad encargada de dichas instalaciones, está en el proceso de construcción de tres nuevas estaciones de bombeo; cuya función es bombear o sacar el agua residual hacia la bahía y/o algunos esteros que la entidad tiene identificados.

---

<sup>1</sup> ENTREVISTA con Jorge Lucumí Londoño. Administrador de procesos operativos Hidropacífico. Buenaventura, Valle. Marzo. 2006.

Debido a que en las calles del Municipio se encuentran instaladas un sinnúmero de tuberías, sumideros, cámaras y colectores con el fin de recoger las aguas residuales, Hidropacífico se encarga de mantener limpias estas instalaciones utilizando vehículos especiales. Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) recolectados son depositados en el relleno sanitario del municipio, ubicado en el Corregimiento de Córdoba (Lucumi, 2006)<sup>1</sup>.

Después de realizar el tratamiento a las aguas residuales, normalmente quedan unos residuos llamados “lodos”, que son considerados como indeseables, ya que causan impactos fuertemente negativos tanto al medio ambiente como a la comunidad (García, 2005)<sup>2</sup>.

Debido a que las áreas donde pueden reposar estos lodos son de poca extensión y no se cuenta con otras disponibles, se ha visto la necesidad de evaluar e innovar alternativas para el tratamiento y usos de estos lodos que sean ambientalmente sostenibles, para poder así disminuir este problema.

Las enmiendas son materiales que se utilizan para corregir algunas deficiencias de elementos nutricionales para las plantas en los suelos y en la actualidad los lodos son utilizados como tal, pero realmente no se les han hecho los análisis pertinentes para conocer si además están en capacidad de hacer un aporte agronómico que provea de elementos nutricionales, tales como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y/o de Materia Orgánica (GARCIA, 2005)<sup>2</sup>. Por otro lado, no se conocen a ciencia cierta las implicaciones ambientales con respecto al aporte de metales pesados por los lodos, los cuales pueden ser peligrosos para la salud humana. Para la toma de decisiones en la utilización de estos lodos en suelos agrícolas es importante conocer previamente las características de dichos suelos y de los lodos, puesto que existe una importante variabilidad en las propiedades fisicoquímicas de suelos y lodos, los que pueden restringir o modificar los resultados finales de estas mezclas.

---

<sup>1</sup> ENTREVISTA con Jorge Lucumí Londoño. Administrador de procesos operativos Hidropacífico. Buenaventura, Valle, Marzo 2006.

<sup>2</sup> ENTREVISTA con Alvara Jaime García. Director General de la Fundación Biocidad. Santiago de Cali, Sep 2005.

## 1. JUSTIFICACION

Las actividades realizadas diariamente por los humanos traen como consecuencia una gran cantidad de subproductos. Entre los de mayor importancia, están los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y los lodos resultantes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) denominados Residuos Urbanos, los cuales tienen como destino final los rellenos sanitarios o son depositados en el campo abierto ocasionando así grandes problemas de tipo ambiental (Garcia, 2005).<sup>2</sup>

Las labores domésticas a su vez contaminan el agua, sobre todo, con residuos fecales y detergentes. Las Actividades agrícolas y ganaderas pueden producir una contaminación muy grave de las aguas, de los ríos y los acuíferos, debido sobre todo a los vertidos de aguas cargadas de residuos orgánicos, procedentes de las labores de transformación de productos vegetales, o de los excrementos de los animales (purines principalmente). Otra fuente de contaminación de las aguas son las industrias como la papelera, química, textil y siderúrgica, que necesitan agua para desarrollar sus actividades (Encarta, 2000).

Cuando las aguas residuales vertidas representan un caudal muy pequeño frente al agua de la corriente receptora (río), se produce una depuración natural, primero por la actuación de hongos y bacterias, y posteriormente gracias a las algas que liberan oxígeno y regeneran el medio natural para el desarrollo de una serie de plantas y animales que necesitan un agua más pura.

Esto es lo que se llama autodepuración de un río y el proceso suele durar entre seis y siete días. Si la intensidad del vertido supera la capacidad natural de autodepuración de la corriente receptora, la actividad microbiana es tan intensa que desaparece el oxígeno del agua y se produce la mortalidad de los peces y, en general, de la vida en el medio acuático (Muñoz. 2006).

El presente estudio busca evaluar la factibilidad de reutilización estos residuos orgánicos (biosólidos), especialmente los lodos provenientes de la PTAR de Cali, como abono orgánico. Para ello, se deben realizar investigaciones con el fin de evaluar sus posibles ventajas y desventajas. Por tal motivo, se debe considerar a este material orgánico como una alternativa factible en la agricultura con criterios confiables y con alto grado de aplicabilidad, para observar si puede producir un impacto ambientalmente sostenible.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 General**

Evaluar agronómicamente, bajo condiciones de invernadero, el uso de compost a base de biosólidos de la PTAR en suelos del Municipio de Buenaventura y Candelaria.

### **2.2 Específicos**

1. Identificar el aporte al suelo de macronutrientes, micronutrientes y materia orgánica debido al uso y aplicación de compost en diferentes proporciones.
2. Evaluar la respuesta de la lechuga romana (*Lactuca sativa*) a la aplicación del compost producido a partir de biosólidos.
3. Determinar, mediante ensayos en invernadero, las dosis de aplicación de compost que optimicen el rendimiento de la planta indicadora, lechuga romana (*Lactuca sativa*).

### 3. REVISION DE LITERATURA

#### 3.1 MARCO REFERENCIAL

##### 3.1.1 Marco de Antecedentes.

En estudios de aplicación de lodo al suelo, Leal et al. (2003), encontraron que su adición mejora la estructura del suelo reduciendo la densidad aparente, facilitando así la extracción de agua y nutrientes por las raíces. Los resultados encontrados sobre el contenido de metales pesados tanto para totales como para disponibles estuvieron por debajo de los límites establecidos por las normas de la *Environmental Protection Agency (ERA) 40 CFR Part 503, Standard for the use disposal of sewage of sludge*.

Así mismo Sotomonte et al. (2003) evaluaron el efecto de aplicación al suelo de lodo de aguas residuales con diferentes dosis: 0, 10, 20, 40, y 80 t lodo/ha y encontraron que existen diferencias significativas entre los tratamientos de las diferentes dosis de lodo y un efecto lineal entre los cambios de las propiedades de: pH relación 1:1, porcentaje de C orgánico, porcentaje de materia orgánica, y porcentaje de N y P disponible.

De otra parte, Cegarra (1996), encontró que se puede cultivar con éxito plantas ornamentales en macetas usando medios de cultivo a base de compost de residuos sólidos urbanos.

Gutiérrez et al. (1998) en un suelo Ultisol del Valle de Aburra obtuvieron respuestas significativas bajo condiciones de invernadero (evaluado como peso seco), en tomate Chonto Santacruz y Maíz ICA – V303, aplicando lodos de aguas residuales, como bioabono, en dosis hasta del 10% por peso. En las plantas, usadas como indicadores, se observó que la respuesta se corresponde con aumento significativo en la observación de macro y micronutrientes. En el suelo la dosis de lodo del 10% modificó significativamente

los diversos parámetros agroquímicos evaluados, dentro de los cuales cabe destacar el pH, que de reacción acida pasa a neutro, el fósforo de cero se eleva a 95 mg/kg. El potasio de 0.1 pasa a 0.4 meq/100g. pero el nitrógeno no aumenta en la proporción esperada, debido posiblemente a la volatilización de este, bajo condiciones de invernadero, o pérdidas por lixiviación.

Para las dosis de lodo superiores al 10%, en los materiales vegetales cosechados, se observa inhibición en el calcio, magnesio y zinc. Este comportamiento adverso al balance nutricional de los cultivos, puede explicar la disminución en la respuesta en peso de materia seca. Paralelamente, en el suelo, se observa un incremento significativo de la conductividad eléctrica con la dosis de lodo: de 0.4ds/m para el suelo sin lodo pasa a 1.9 para la dosis del 20%.

En los tejidos de los vegetales cultivados y en los suelos se encuentran concentraciones menores de 1 mg/kg en níquel, cadmio, cromo y plomo (tóxicos potenciales). Estos resultados permiten inferir que los lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales de poblaciones en las que la actividad industrial no es significativa, pueden usarse como bioabono, incluso para cultivos de consumo directo, sin las aprehensiones que genera la toxicidad por metales pesados.

## **3.2 CONTAMINACION POR AGUAS RESIDUALES Y LODOS**

### **3.2.1 El problema de las aguas residuales.**

El origen, composición y cantidad de los desechos están relacionados con los hábitos de vida vigentes. Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual. Esta agua tienen un origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, y estos tipos de agua suelen llamarse respectivamente, domésticas, industriales, de infiltración y pluviales.

Los principales parámetros que se caracterizan en las aguas residuales son los siguientes:

**Sólidos totales.** Son el conjunto de materia sólida, orgánica e inorgánica, que queda como residuo tras la evaporación del agua a 105°C, estos sólidos pueden estar disueltos, como las sales, o en suspensión, como las partículas o los microorganismos. A su vez, los sólidos en suspensión pueden ser sedimentables o no sedimentables.

- Sedimentables: los que por su peso pueden sedimentarse fácilmente en un breve lapso (dos horas en un cono Imhof).

- No sedimentables: los que no se sedimentan fácilmente, ya sea por que floten, por que su peso específico sea próximo al del líquido o por encontrarse en estado coloidal (Muñoz, 2000).

- **Materias orgánicas oxidables.** Se cuantifican por la cantidad de oxígeno necesario para

oxidarlas, ya sea por vía biológica (DBO), ya por vía química (DQO).

- DBO: se define como la cantidad de oxígeno disuelto consumida por un agua residual durante la oxidación por vía biológica de la materia orgánica biodegradable presente en dicha agua, en unas condiciones específicas (20°C, presión atmosférica ambiente, oscuridad y muestra diluida con agua pura, manteniendo condiciones aeróbicas) y en un tiempo dado, que suele ser de cinco días (DBO<sub>5</sub>).

- DQO: se define como la cantidad de oxígeno que tiene que aportar un agente químico fuertemente oxidante para la oxidación por vía química de un agua residual. Como agente oxidante se utiliza por lo general dicromato potásico en caliente, unos 20 o 30 minutos o de 1 a 2 horas si se efectúa en frío.

- **Nitrógeno.** El presente en las aguas residuales procede fundamentalmente de la urea, componente mayoritario de la orina, los aminoácidos y las proteínas, y de sales inorgánicas. La presencia de este elemento es necesaria en los procesos que van a llevarse a cabo, ya que los microorganismos los necesitan para sintetizar sus propias proteínas. Por otra parte, puede perjudicar gravemente al medio ambiente (eutrofización) si se encuentra en grandes

cantidades al salir de la planta depuradora. El Nitrógeno se puede presentar en forma de nitrógeno orgánico, amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) o nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). El nitrógeno orgánico se determina por el llamado método Keldahl. El amonio puede determinarse también por este método o por colorimetría o por el método de electrodos selectivos.

- **Fósforo.** Procede en su mayor parte del empleo de detergentes. Las formas más comunes son

los ortofosfatos ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ ), por lo general fácilmente metabolizables. La determinación de este elemento se lleva a cabo por colorimetría.

- **Cloruros.** Proceden de la solubilización de suelos y rocas, de filtraciones de aguas salinas

(mar), de las aguas domésticas (heces y orina) o de la actividad agrícola o industrial. Su análisis químico puede determinar si un cauce está recibiendo vertidos de aguas residuales, aunque hayan sido depuradas, ya que los métodos convencionales no eliminan el cloro.

- **El pH de las aguas residuales es generalmente básico.** Esto resulta beneficioso, por que

neutraliza los ácidos que pudieran aparecer. La importancia del pH radica en que los microorganismos son capaces de vivir en un tramo de acidez no demasiado amplio, por lo que deben mantenerse unos valores más o menos constantes. La alcalinidad se debe fundamentalmente a la presencia de bicarbonatos de calcio y magnesio. La presencia de los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos se detecta mediante titulación con un ácido (Muñoz, 2000).

## **4. LODOS**

### **4.1 LODOS RESULTANTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Los lodos de depuradora son residuos urbanos procedentes del tratamiento de aguas residuales cuya materia orgánica y nutriente puede ser objeto de empleo agrícola. Estos lodos ahora se describen como biosólidos, y esto se debe fundamentalmente al contenido de materiales benéficos para ser aplicados al suelo.

#### **4.1.1 Características de los lodos.**

Las características de los lodos según Polo (1991), están determinadas por las características del efluente, la metodología utilizada para la depuración de dichas aguas (lagunaje, procesos físicos- químicos y procesos biológicos) y el tratamiento específico de acondicionamiento al que son sometidos los lodos una vez separados de las aguas (Peralta, 2002).

### **4.2 TIPOS DE LODOS**

Seoanez (1995), indica que los lodos pueden ser de tipo sólido o gaseoso. Los de tipo sólido pueden ser:

A) **Orgánicos:** que provienen de material vegetal o animal presentes en las aguas residuales. Además pueden contener compuestos orgánicos sintéticos. Los glúcidos, lípidos, proteínas y sus derivados son los grandes grupos de esta clase; son biodegradables y su eliminación por combustión es sencilla (Peralta, 2002).

B) **Inorgánicos:** sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas no biodegradables, y ciertos compuestos como sulfatos, carbonatos, etc., que pueden sufrir algunas transformaciones (fenómenos de oxidación-reducción).

Por su parte los lodos gaseosos corresponden a diferentes concentraciones de ácido sulfhídrico, anhídrido carbónico, metano y otros tipos de gases malolientes, (ácidos grasos volátiles, indol, escatol y otros derivados del nitrógeno) (Peralta, 2002).

### 4.3 DESTINO DE LOS LODOS

a) **Eliminación:** *Incineración:* en la cual se produce una reducción del peso-volumen con pérdida de energía y contaminación del aire, *vertido controlado:* es una forma de acumulación en vertederos acondicionados y con controles sanitarios y *vertido incontrolado:* el cual se vierte a rellenos sanitarios, al mar o a otras fuentes de agua con el consecuente problema de contaminación (Peralta, 2002).

**Utilización:** se pueden considerar a) *Compostaje:* acondicionamiento de los lodos para mejorar sus condiciones y ser adicionado al suelo como abono; b) *Recuperación de energía:* como combustible; c) *Uso agrícola:* como un aporte de materia orgánica y nutrientes al suelo (Peralta, 2002).

Las características del lodo que afectan a su aptitud fertilizante para la aplicación al terreno y usos beneficiosos incluyen los contenidos en materia orgánica, nutrientes, patógenos, metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos (Peralta, 2002).

El valor de este lodo como fertilizante se basa principalmente en su contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, y los contenidos correspondientes se deberían determinar en aquellos casos en que el lodo se vaya a emplear como acondicionador de suelos (Peralta, 2002).

De acuerdo con Costa (1991), no es conveniente aplicar este residuo al suelo, directamente, debido principalmente a la inestabilidad de la materia orgánica existente, al contenido de sustancias fitotóxicas de naturaleza orgánica y a los diferentes tipos de microorganismos patógenos. Por ello, se hace necesario eliminar estos inconvenientes, siendo el compostaje el procedimiento mas adecuado para la consecución de los fines perseguidos. De tal manera que, la situación actual llevará a una solución comprendida entre las dos alternativas extremas siguientes:

- Los lodos son un subproducto no deseado que sólo presenta problemas.
- La situación actual social, técnica y económica exige la reutilización de los lodos, buscando su uso posterior como abono, o bien buscando su potencial energético.

#### **4.4 USO DE LODO RESIDUAL EN LOS SUELOS AGRÍCOLAS**

La aplicación de los lodos residuales urbanos a suelos agrícolas, implica la incidencia y la participación de una serie de factores muy diversos, como son la presencia de vegetación, el tipo de suelo, los factores climáticos, la calidad del líquido disponible, el tipo de tratamiento previo, la forma de aplicación, la calidad del área de vertido y de su entorno, etc, que hacen que este aprovechamiento necesite de una investigación técnica previa profunda, y de un seguimiento adecuado durante la aplicación que permita conocer, en todo momento, la evolución de las características físico- ecológicas y químicas del medio en que se vierten y aproximarse de este modo a una previsión sobre la posible problemática o ventajas futuras a mediano y largo plazo (Seoanez, 1995).

Méndez (1995), realizó estudios sobre el tratamiento y empleo de lodos de aguas residuales de Bucaramanga, y concluyó que los lodos residuales son una fuente de nutrientes no convencional para la agricultura, así como también, que estos ayudan a conservar y recuperar algunas propiedades químicas del suelo, lo que a su vez ayuda a conservar el ambiente.

Cuando se agrega al suelo la materia orgánica de fácil descomposición enriquece el medio con fauna y flora y especialmente con bacterias. En esta nueva situación biológica, se activa la descomposición de la materia orgánica nativa del suelo y de la agregada, logrando un efecto altamente benéfico para el establecimiento y nutrición de los cultivos. Sin embargo, hay que notar que podría ser perjudicial para la sostenibilidad del suelo dado que facilita la disminución paulatina de la materia orgánica.

Otros autores, como Peralta (2002), señalan que en el proceso de degradación de la materia orgánica se producen ácidos orgánicos, enzimas y vitaminas, que hacen del ambiente del suelo un medio biológico más sano para el cultivo de las plantas.

Por su parte, Bigeriego (1993), menciona que el lodo residual actúa como un acondicionador de suelos y que además de mejorar los índices de materia orgánica, favorece la asimilación de nutrientes, incrementa la retención de agua, permite una mejor penetración de las raíces, y mejora la textura y estructura del suelo, todo lo cual conduce a reducir la escorrentía y por consiguiente la erosión, convirtiendo los suelos en más productivos. Con relación a la textura de los suelos, el autor aclara que lo que realmente sucede son microagregaciones de diversos materiales y arcillas como resultado de la aplicación del lodo lo que hace aparecer en las pruebas de textura materiales más gruesos.

El papel más importante de la materia orgánica en el suelo es darle estabilidad al mismo, pues permite que se recobre del estrés a que es sometido a través de la agricultura. A esta recuperación se le conoce en la literatura como capacidad de recuperación del suelo (Peralta, 2002).

Según Martín (1992), la composición orgánica de los lodos residuales y sus efectos en el suelo son comparables con la de los estiércoles tradicionales de origen animal, con una concentración de nitrógeno y fósforo tres veces superior, lo que permite sustituir parte de la fertilización realizada con abono sintético.

#### **4.5 PROBLEMA DE LOS LODOS**

Costa (1991), señala que la evacuación de lodos sin los tratamientos adecuados da lugar a riesgos sanitarios. Las practicas tradicionales (sin pretratamiento), incluida la aplicación al terreno, vertido, enmiendas al suelo y vertido al mar, plantean riesgos. Los patógenos (bacterias y huevos de helmintos) se concentran en el lodo y pueden propagar enfermedades, en el caso de que exista contacto con el hombre (Tabla 1).

**Tabla 1 Organismos en lodos y posibles enfermedades**

<b>GRUPO</b>	<b>GENERO</b>	<b>ENFERMEDAD</b>
<b>BACTERIAS</b>	Salmonella	Tifus-Paratifus-Enteritis
	Shigella	Disenteria-Paradisenteria
	Escherichia	Enteritis
	Vibrio	Colera-Paracolera-Enteritis
	Clostridium	Gangrena-Tetanos-Botulismo
	Leptospira	Leptospirosis
	Mycobacterium	Tuberculosis-Tuberculosis atipica
<b>VIRUS</b>	Poliovirus	Poliomelitis-Enteritis
	Coxsackievirus A	Dolores de cabeza y musculares
	Coxsackievirus B	Nauseas-Meningitis
	Echovirus	Diarrea-Hepatitis
	Adenovirus	Fiebre-Infec. y Afec. Respiratorias-Enteritis-
	Rotavirus	Conjuntivitis
	Reovirus	Gastroenteritis infantil
	Hepatitis virus A	Gripe-Diarrea-Virus Hepatitis agudas o crónicas
<b>PROTOZOOS</b>	Entamoeba	Disenteria amebiana
	Giarda	Amebeasis o disenteria amebiana
<b>TREMATODOS</b>	Schistosona	Equistosomiasis
<b>CESTODES</b>	Taenia	Tenia-Isticercosis
<b>NEMATODOS</b>	Ascaris	Ascariasis
	Ancylostoma	Anquilostomiasis

Tomado de Costa (1991)

Para cumplir los límites prescritos, el contenido en material, orgánica y patógenos se debe reducir considerablemente antes de la aplicación al suelo mediante procesos de tratamientos previos (Costa 1991).

#### **4.6 TRATAMIENTO DE LOS LODOS**

Según Polo (1991), para mejorar la utilización de los lodos estos deben ser sometidos a tratamientos posteriores que son:

- 1) **Estabilización:** los lodos obtenidos poseen generalmente una alta proporción de materia orgánica cuya descomposición se debe activar, con el fin de que los materiales queden lo más estables posible. Esta estabilización puede lograrse por tratamientos biológicos (digestión aeróbica, anaeróbica o por compostaje) o tratamientos químicos (de efecto temporal, por adición de cal, etc.) (Peralta, 2002).
- 2) **Espaciamiento:** este tratamiento está dirigido a reducir el volumen inicial entre una y cuatro veces. Se realiza mediante técnicas de centrifugado o flotación.
- 3) **Acondicionamiento:** es otro tratamiento cuyo objetivo principal es reducir el contenido de agua. Se puede realizar mediante la utilización de compuestos químicos que flocculan los coloides y provocan precipitación; bien sea por acondicionamiento térmico, por calentamiento bajo presión a 200°C durante media hora; o por levigación, que realmente es un lavado que reduce la alcalinidad y separa los sólidos finos, disminuyendo así la demanda química de oxígeno del lodo (Peralta, 2002).
- 4) **Deshidratación:** el lodo así tratado se somete, por último, a una deshidratación con el fin de obtener un material semisólido con menor volumen y más fácil de manejar (Peralta, 2002).

## **5. MATERIA ORGANICA**

La materia orgánica es el conjunto de residuos vegetales y animales (residuos de cosechas, basuras, estiércoles sólidos y líquidos, abonos verdes y deyecciones de lombrices) más o menos descompuestos y transformados por la acción de los microorganismos (López, 2002) la cual cuando se aplica al suelo forma humus y produce elementos nutritivos para las plantas especialmente nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso y boro (Muñoz, 1994).

El humus está compuesto por los restos postmortales vegetales y animales que se encuentran en el suelo y que están sometidos constantemente a procesos de descomposición, transformación y resíntesis. De esta manera se diferencian los conceptos materia orgánica y humus (Fassbender, 1975).

En todo caso la fuente originaria de la materia orgánica y del humus son los restos animales y especialmente vegetales que se depositan en el suelo. La vegetación consta de tallos, hojas, flores y frutos que al depositarse en la superficie del suelo constituyen la hojarasca; cada uno de los componentes de la vegetación tiene una composición química específica. Estos residuos son objetos de su degradación o descomposición hasta los componentes elementales de las proteínas, carbohidratos, y otros, en el proceso de la mineralización. Los productos resultantes pueden ser objetos de nuevos procesos de resíntesis y polimerización dando lugar a nuevos agregados químicos que reciben el nombre de ácidos húmicos, de características y propiedades específicas. Este proceso recibe por esto el nombre de humificación (Fassbender, 1975).

## **5.1 DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA**

La materia orgánica de origen vegetal y animal, al llegar al suelo, es atacada por los organismos de la macro y meso fauna y la microflora para ser degradada produciendo sustancias solubles y un residuo orgánico estable muy complejo denominado humus.

En este proceso de degradación biológica intervienen varios procesos y factores que se detallan en la Tabla 1. 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  $\text{HPO}_4^{--}$ ) y azufre ( $\text{SO}_4^{--}$ ) y además, cationes asimilables de calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), hierro (Fe) y manganeso (Mn), principalmente (Muñoz, 1994).

**Tabla 2. Condiciones ambientales que regulan la descomposición de la materia orgánica.**

<b>FACTORES AMBIENTALES</b>	<b>CONDICIONES FAVORABLES</b>	<b>CONDICIONES DESFAVORABLES</b>
Relación C/N	10-12/1	>25-30/1
Relación C/P	<200/1	>300/1
pH	6.0-7.2	<5.5 ó >8.5
Saturación con Al (%)	<30	>60
Balance nutricional	Altos en P, Ca, Mg, K, S, B, Fe, Mn.	Deficientes en P y Ca.
Drenaje natural	Suelos bien drenados	Encharcados o mal drenados.
Aireación.	Suelo poroso, bien saturado con oxígeno (15-20%).	Condiciones anaeróbicas.
Contenido de humedad.	Entre 50 y 90 % de capacidad de campo.	Condiciones anaeróbicas menos de 30% de capacidad de campo o suelos saturados.
Temperatura.	Entre 25 y 35 °C.	Menos de 10°C o más de 40°C.
Textura.	Suelos de textura franca.	Suelos pesados, altos en arcilla.
Estructura	Granular, migaron y bloques.	Masiva, laminar sin estructura.
Nivel freático.	Profundo y estable.	Alto y fluctuante que genere condiciones de oxidación-reducción.

**Muñoz, 1994.**

## 5.2 BENEFICIOS DE LA MATERIA ORGÁNICA

Cuando se aplica la materia orgánica a los suelos se consiguen simultáneamente beneficios físicos, químicos y biológicos, ya que: El humus producido por la materia orgánica en descomposición tienen las propiedades típicas de los coloides hidrofílicos. Es decir puede absorber y retener cantidades considerables de agua, 80 a 90 por ciento de su peso seco, e incrementar así la cantidad de retención de agua aprovechable del suelo para los cultivos. El humus promueve la formación de estructuras finas, de buena calidad tipo migajón, granular y bloques.

El humus, dependiendo del pH de la solución puede desarrollar cargas eléctricas positivas y negativas en su superficie externa lo cual genera una alta capacidad de intercambio de cationes, equivalente a 150-280 meq/100g de humus. Estas cargas le permiten al humus retener, en forma ionizada, altas cantidades de calcio, magnesio, potasio y sodio, disponibles para la nutrición de las plantas.

El humus en el suelo puede actuar también como sistema de oxidación-reducción y tampón ácido-base. En condiciones ácidas (pH 4.5) se disocian los iones hidrógenos ( $H^+$ ) de los grupos carboxílicos (R-COOH) presentes en la materia orgánica (R-COOH:  $RCOO^- + H^+$ ) variando, en consecuencia, la capacidad de intercambio de cationes del humus, aumentándola considerablemente. Igualmente ocurre en condiciones ligeramente ácidas o alcalinas con varios grupos hidrófilos (R-OH:  $R-O^- + H^+$ ).

La materia orgánica al ser triturada y macerada primero por la fauna del suelo y biodegradada por las enzimas segregada por los microorganismos (microflora) produce nutrimentos en estado inorgánico aprovechables para toda la fauna y flora del suelo y para la nutrición de las plantas. En este sentido, gran parte del nitrógeno, fósforo y azufre orgánicos son considerados como la reserva de estos nutrientes del suelo.

La materia orgánica, de fácil descomposición, cuando se agrega al suelo enriquece el medio con fauna y flora, especialmente con bacterias. En esta nueva situación biológica se activa

efecto altamente benéfico para el establecimiento y nutrición de los cultivos. En el proceso de degradación de la materia orgánica se producen ácidos orgánicos, enzimas y vitaminas, que hacen del ambiente del suelo un medio biológico más sano para el cultivo de plantas. Finalmente los ácidos húmicos y fúlvicos del humus, cuando están en íntimo contacto con el suelo, le imparten a la masa colores oscuros y negros y en consecuencia pueden absorber y retener más calor, conservándolo por largo tiempo. En éstas condiciones ecológicas ocurren menos variaciones bruscas de temperatura en los suelos y el ambiente estable creado es más favorable para la vida microbiana y para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Muñoz, 1994).

## **5. COMPOST**

### **6.1 PROCESO DE COMPOSTAJE**

El Compostaje es un método de tratamiento de los residuos sólidos urbanos, agrícolas e industriales, basados en la degradación bioquímica de la fracción orgánica biodegradable de los mismos, que permite convertirla en una sustancia similar al humus, de características totalmente estables y totalmente inofensivos desde el punto de vista higiénico y sanitario. En este proceso intervienen factores selectivos tales como contenido de humedad, disponibilidad de oxígeno, pH, temperatura y relación carbono - nitrógeno, ya que son determinantes de la prevalencia y sucesión de las poblaciones microbianas (López, 2002).

Durante la fermentación se destruye, por acción de la temperatura, unos 60°C, toda clase de gérmenes patógenos y parásitos así como sus esporas, huevos, larvas y crisálidas. Así mismo, quedan esterilizadas o destruidas todas las semillas que puedan contener las basuras o los materiales que a ellos se agreguen (López, 2002).

El compost es un material orgánico, resultado de la descomposición aerobia de restos vegetales y animales, el cual, cuando se produce y mantiene en condiciones apropiadas, aporta al suelo nutrientes y factores que activan las funciones biológicas de suelo, microorganismos y plantas. En algunos casos, en el proceso de fabricación del compost, se

agregan correctores minerales, con el fin de hacer más completa su acción en la nutrición del suelo; así mismo, es frecuente la acción de microorganismos como activadores de la función viva del suelo (López, 2002).

## **6.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPOSTABLES**

Los compostables son residuos y desperdicios orgánicos de origen y composición variados (estiércol, tamo, basura, etc.). Todo material orgánico puede ser sujeto al proceso de Compostaje. Sin embargo, algunas de sus características físicas y químicas facilitarán o dificultarán un proceso normal de descomposición. Tales características han de tenerse en cuenta en las mezclas de compostables, pues si uno de ellos es deficitario en una cualidad, se puede mejorar con otro que lo compense (Gómez, 2000).

- Características físicas: el desmenuzamiento del material facilita el ataque microbiano, pero sin llegar al extremo de limitar la porosidad, situándose un tamaño de 1 a 5 centímetros como adecuado (Gómez, 2000).
- Características químicas: la capacidad potencial de degradación de moléculas orgánicas es: azúcares, almidones, proteínas > celulosa, hemicelulosa > lignina. Los materiales lignoceluloicos tienen mayor tiempo de transformación y mejor rendimiento en compost. De otra parte hay que considerar el contenido de N del material; si está entre 1 y 1.5% se asegura un buen ataque microbiológico, si está por encima de 1.5%, para el N se perderá como volátil por superarse con esa cantidad el nivel de requerimiento microbial (Gómez, 2000).

**Tabla 3. Composición Media y Relación C/N de Algunos Materiales Orgánicos Compostables.**

<b>Material</b>	<b>Humedad</b>	<b>Nitrógeno</b>	<b>Relación C/N</b>
Cáscara de arroz	14	0.3	121
Residuos vegetales	-	2.5-4	11-13
Residuos materiales	10-78	13-14	3-3.5
Residuos de pescado	76	10.6	3.6
Esqueleto de pescado	65	2.4	5
<b>Estiércol de gallina</b>	<b>37</b>	<b>2.7</b>	<b>14</b>
Estiércol de vaca	81	2.4	19
Purines	80	3.1	3.1
Basura (residuos de alimentación)	69	1.9-2.9	14-16
Papel de uso domestico	18-20	0.2-0.25	127-178
<b>Lodos depuradores de aguas residuales urbana activos</b>	<b>72-84</b>	<b>5.6</b>	<b>6</b>
<b>Lodos digeridos</b>	<b>-</b>	<b>1.9</b>	<b>16</b>
Heno de leguminosa	-	2.5	16
Paja general	12	0.7	80
Cortezas maderas maduras	-	0.241	223
Resíduos de papel periódico	3-8	0.06-0.14	398-852
<b>Lodos industriales papelera</b>	<b>81</b>	<b>0.56</b>	<b>54</b>
<b>Serrin</b>	<b>39</b>	<b>0.24</b>	<b>442</b>
Resíduos maderas blandas	-	0.09	560
Resíduos maderas duras	-	0.09	641
Restos vegetales de jardineria urbana	82	3.4	17
Hojas	38	0.9	54
Poda de árbol	70	3.1	16

*Fuente:* adaptado de Rynk y Cols. (1992). Citado por Labrador (2001).

## **6.3 FACTORES DE CONTROL DEL PROCESO**

Puesto que el compostaje es un proceso exclusivamente biológico, puede afirmarse que resulta afectado por todos los factores que influyen directa o indirectamente el metabolismo microbiano, por lo que si se requiere obtener un compost de buena calidad en el menor tiempo posible deberá trabajarse en condiciones óptimas con todos los parámetros que controlan el proceso (Cegarra, 1994).

### **6.3.1 Composición de la materia inicial**

En principio, casi todos los residuos orgánicos de origen animal y vegetal, hayan o no sido transformados industrialmente, son biodegradables, por lo que pueden ser utilizados como sustratos para el compostaje.

Pueden citarse como más o menos aptos los siguientes grupos de residuos:

Agrícolas tanto de naturaleza animal como vegetal, incluyendo los desechos líquidos como los purines de cerdo (pueden absorberse sobre residuos sólidos para su compostaje).

Urbanos, como los Residuos Sólidos Urbanos y los LRU.

Desechos de madera (cisco de madera, virutas etc.).

Los de origen agroindustrial (azucareros, vinícolas, vinaza, olivareros, cafeteros, de la conserva vegetal, etc.).

Sin embargo, no suele resultar conveniente compostar aisladamente cada uno de los residuos de los grupos anteriores, siendo frecuentemente más apropiado elaborar mezclas binarias o ternarias con materiales de diferente origen que tengan características complementarias para la producción del buen compost. De este modo, se consigue preparar

substratos con características físicas (tamaño de partículas, relación superficie/volumen de las partículas, etc.) y químicas (relación C/N, pH, contenido de sales, etc), mucho más adecuada para la buena marcha del compostaje (Cegarra, 1994).

### **6.3.2. Temperatura**

Como resultado de la actividad de diferentes grupos de microorganismos, en adecuadas condiciones de humedad y aireación, la temperatura de la masa de compostables se eleva. En pocos días (2-6) debe llegar a más de 45°C y mantenerse a esa temperatura. Es la etapa termofílica la que define si un proceso corresponde o no al compostaje. Se evita superar los 70°C por que el proceso se convierte en uno de ignición en el cual se empobrece en extremo las sustancias orgánicas. Pasada la etapa termofílica, la temperatura desciende gradualmente hasta casi nivelarse con la del ambiente (Gómez, 2000).

### **6.3.3. Humedad**

La actividad biológica de los microorganismos requiere de agua para la formación de su biomasa. Se necesita una humedad alta a comienzo del proceso cuando la actividad es más intensa y un poco menos a medida que se avanza en la descomposición. Se busca inicialmente de 30 a 70% de humedad y ello se alcanza con la humedad propia de los compostables en su mezcla adecuada o añadiendo agua. Cada mezcla tiene un óptimo (Gómez, 2000).

Si la humedad es insuficiente, los microorganismos no pueden excretar sus enzimas ni absorber los nutrientes que necesitan. Si la humedad es muy alta, todos los poros del material estarán saturados de agua y no habrá aire y como el compostaje es fundamentalmente un proceso aeróbico (es decir que requiere la presencia de oxígeno), el proceso se vuelve putrefacción y en lugar de generar compost se produce un material maloliente de escaso valor agrícola (Ramírez, 2002).

En los procesos donde se hacen volteos para reactivar el proceso, se acostumbra rehumedecer y entonces la temperatura se eleva de nuevo. Para aprovechar el agua de descomposición del proceso, Henao (1995), propone el compostaje solarizado que consiste en tapar la pila con un plástico que permite alguna aireación y de paso evita el lavado de nutrientes en las pilas colocadas a la intemperie (Gómez, 2000).

### **6.3.5. Aireación**

Para que el proceso se desarrolle en condiciones aerobias los microorganismos deben disponer del oxígeno suficiente, lo cual se logra mediante la aireación. Para ello se pueden buscar dimensiones adecuadas de los volúmenes de las pilas, con el riesgo de disminuir la temperatura, o con aireación forzada sea ella positiva o negativa o con los volteos en donde además se logra algún grado de homogenización (Gómez, 2000).

### **6.3.6. Relación C/N**

Valores bajos de esta relación relentizan el proceso e incrementan las pérdidas del nitrógeno por volatilización de amoníaco, especialmente a valores altos de pH y temperatura, valores elevados, mayores de 35, propician numerosos ciclos vitales de los microorganismos, con un retardo del proceso. Se consideran óptimos valores de la relación C/N entorno a 12 para las mezclas iniciales del compostaje.

### **6.3.7. Valor del pH**

Aunque el compostaje puede desarrollarse en un amplio rango de pH (3-11), se consideran como óptimos los valores de pH comprendidos entre 5 y 8. las bacterias prefieren un medio casi neutro, mientras que los hongos se desarrollan mejor en un medio ligeramente ácido (Cegarra, 1994).

## **6.4 FASES DEL PROCESO**

En la fermentación de compostables se pretende alcanzar una temperatura elevada para obtener la asepsia del material mismo y conseguir la producción de coloides húmicos. Estos dos procesos se deben a la acción sobre la materia orgánica de los microorganismos que contienen los productos a tratar, los cuales proliferan siempre que las condiciones ambientales (aire, agua, temperatura) les sean favorables para la fermentación. Se pueden distinguir varias fases:

### **6.4.1. Fase de latencia**

Corresponde al tiempo que los microorganismos necesitan para colonizar el nuevo medio. Durante este periodo de adaptación, la acción microbiana es extraordinariamente activa (López, 2002).

### **6.4.2. Fase de crecimiento o mesofílica**

Es la de subida de temperatura. Depende de la naturaleza del substrato y es más rápida cuando los dos factores principales, aire y agua, son óptimos (López, 2002). En esta fase, los microorganismos presentes (bacterias, hongos y protozoos) acompañados de artrópodos y anélidos, requieren que la temperatura no pase de 40°C para sobrevivir (Ramírez, 2002).

### **6.4.3. Fase Termofílica**

Es cuando se alcanza la temperatura más alta (temperatura superior a 45°C) y puede durar menos tiempo, de acuerdo con las condiciones del medio (aire y agua), la riqueza de materia orgánica en el substrato y el aislamiento térmico. Durante esa fase es cuando se

puede actuar más eficazmente sobre la fermentación, prolongándola o interrumpiéndola. En efecto, si por razones de higiene es necesario mantener los materiales a una temperatura de aproximadamente 60°C, hay que interrumpir rápidamente la fase termofílica que destruye inútilmente la materia orgánica por mineralización, es decir, transformando los compuestos orgánicos en cuerpos volátiles (anhídrido carbónico, agua) que se escapan a la atmósfera dejando solamente los compuestos minerales (López, 2002).

Esta fase se caracteriza por la rápida proliferación de bacterias, hongos y actinomicetos, que realizan los más importantes cambios en la composición química de los materiales, enriqueciéndolos en predecesores de los ácidos húmicos y en factores de crecimiento para ellos y para las plantas. Esta fase finaliza cuando organismos termófilos puedan transformar; entonces, ellos ceden su espacio de nuevo a bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos (Ramírez, 2002).

#### **6.4.4. Fase de maduración o de crecimiento**

Corresponde a una fermentación secundaria lenta, más favorable a la humidificación, es decir, a la transformación, bajo la acción de los microorganismos, de ciertos compuestos orgánicos en coloides húmicos estrechamente asociados a los elementos minerales (hierro, calcio, nitrógeno, etc.) y finalmente el humus (López, 2002).

De otro modo, la maduración tiene lugar durante el almacenamiento. Para evitar la excesiva mineralización el almacenamiento no se debe prolongar inútilmente. Por lo general se admiten tres meses (López, 2002).

## 7. MATERIALES Y METODOS

### 7.1 LOCALIZACIÓN

Este proyecto se realizó en el Municipio de Buenaventura, Departamento del Valle del Cauca, en el invernadero del Campus de la Universidad del Pacífico del Programa de Agronomía del Trópico Húmedo, ubicado en la vía al aeropuerto. Geográficamente, el área está localizada entre 3° 50"38.9" de latitud norte, 77° 00"7.7" de longitud oeste y a una altura de 5 m.s.n.m. Posee un clima cálido con una temperatura media anual de 28 °C, precipitación promedio anual de 7.789 mm y humedad relativa media anual del 87%. (IGAC, 1980)

### 7.2 SUELOS

**Buchitolo:** Suelo del orden Fluventic Haplustol que se encuentra en el departamento del Valle del Cauca, municipio de Candelaria Corregimiento de Buchitolo. Los resultados analíticos se presentan en el anexo A.

**Campus:** Suelo del orden Typic Dystrudepts que se encuentra en el Campus de la Universidad del Pacífico, departamento del Valle del Cauca, municipio de Buenaventura, en la vía al aeropuerto. Los resultados analíticos se presentan en el anexo A.

De acuerdo a la interpretación del análisis en cuanto al pH Buchitolo es un suelo ligeramente ácido, con condiciones adecuadas para el crecimiento de la mayoría de los cultivos debido a la buena disponibilidad de nutrientes a excepción de los elementos menores. Las condiciones de pH permiten una buena actividad de los microorganismos en los diferentes procesos de transformaciones biológicas. El suelo del Campus es muy

ácido, con una concentración de aluminio por encima de los límites normales (mayor de 0.5meq/100). La acidez del suelo del Campus puede atribuirse a la presencia de aluminio, de hierro y a la materia orgánica (CRC, 2006).

### 7.3 MATERIAL EXPERIMENTAL

Los materiales orgánicos utilizados en el proceso de Compostaje fueron:

1° **Biosólidos:** Productos de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de Cañaveralejo- Cali. Tablas 6 y anexo C.

2° **Gallinaza:** Es el excremento de gallinas, pollos u otras aves en etapa de cría o desarrollo con o sin “yacija” (plumas, agua y material usado para cama). En general es un abono orgánico de composición heterogénea, con amplias posibilidades para su uso como fertilizante tras seguir un proceso de maduración y estabilización (Labrador, 2001). Tabla 4. La gallinaza fue recolectada del estiércol de gallina criadas en jaula.

3° **Cisco de madera:** conjunto de partículas que se desprenden de la madera cuando se sierra.

4° **Inóculo:** material grueso que queda después de tamizar el abono orgánico. Este material proviene de la Fundación Biocidad productora de abono orgánico.. Tabla 4.

**Tabla 4. ANALISIS DE MATERIALES ORGANICOS (%)**

Descripcion	pH (1:*)	*Relación pH	Hdad (%)	czas	M.O.	C.O.	N <sub>T</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	NH <sub>4</sub>	densidad g/c.c
Biosolido	6.76		64.10	56.00	44.00	28.70	2.35	1.05	1.93	0.098	1.11
Inoculo	7.70	1.0	14.70	67.70	32.30	10.70	1. 29	5.75	3.51	0.098	
Gallinaza	5.84	3.0	24.50	36.40	63.60	24.50	3.00	5.09	3.23	0.448	8.17

(Mayaguez S.A. 2006)

**Recolección de los materiales a compostar:** Los materiales fueron traídos del Municipio de Candelaria, Corregimiento de Buchitolo, (inoculo, aserrín, lodo, gallinaza y suelo de Buchitolo). El suelo del Campus fue recolectado en el Campus de la Universidad del Pacifico.

El lodo y el suelo Campus presentaban un alto grado de humedad, aproximadamente del 90%. Se colocaron al secado por varios días bajo invernadero realizando diversos volteos para obtener un secado total. Luego se molieron, tamizaron y posteriormente, se mezclaron con los diferentes tratamientos.

**Proceso de descomposición de los lodos:** Para este proceso se mezclaron los diferentes materiales para realizar el compost (inoculo, aserrín, gallinaza y lodo).

**Suelo-lodo:** los suelos (Buchitolo – Campus) se colectaron, secaron, molieron y luego tamizaron. Se empacaron en macetas de 2kg; mezclándose el suelo con el compost en relaciones de 1:1, 2:1, 3:1. Se adicionó un tratamiento mineral (suelo más fertilizante mineral) y un testigo con suelo del campus, de tal forma que quedaran las mezclas homogenizadas al incorporarse.

La planta usada, fue la lechuga romana (*Lactuca sativa*) por ser una buena planta indicadora y de rápido desarrollo. Primero se usaron plantas de 15cm al transplantarse, sembrando 5 plantas por maceta donde murieron la mayoría de estas. Luego se realizó una siembra directa de diez semillas por maceta y posteriormente se realizó un raleo dejando las dos plantas más vigorosas.

El riego inicialmente se aplicaba día de por medio hasta quedar en capacidad de campo; luego se realizaba dos veces por semana. Se tomaron datos de altura, área foliar, peso de materia húmeda y peso de material vegetal seco.

## 7.4 MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron plántulas de lechuga romana (*Lactuca sativa*), variedad BLACK SEEDED SIMPSON empacada por SGA Seed Company, la cual pertenece a la familia de las Compuestas (*Compositae*) del género *Lactuca*. Esta es una variedad de tronco ancho, alargado y erguido. Sus hojas son de color verde oscuro y se agrupan de forma poco apretada alrededor de un tronco, sin formar un verdadero cogollo.

La lechuga se cultiva en suelos grumosos, bien drenados, ricos en fertilizantes orgánicos. Las hileras se forman a 30-40 cm de distancia, y se aclaran a partir del momento en que las plantas alcanzan 5 cm de altura ([www.infoagro.com](http://www.infoagro.com) 2006).

**Tabla 5. Dosis de N, P y K aplicados con cada tratamiento**

Tratamientos	Gramos/ Maceta (2 kg.)			Kilogramos / Hectárea		
	N (urea)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (SFT)	K <sub>2</sub> O (KCl)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
<b>1. Relación 2:1</b>	<b>11.9</b>	<b>34.3</b>	<b>3.92</b>	<b>11,900</b>	<b>34,300</b>	<b>3,920</b>
<b>2. Relación 3:1</b>	<b>8.5</b>	<b>24.5</b>	<b>2.8</b>	<b>8,500</b>	<b>24,500</b>	<b>2,800</b>
<b>3. Relación 1:1</b>	<b>17</b>	<b>49</b>	<b>5.6</b>	<b>17,000</b>	<b>49,000</b>	<b>5,600</b>
<b>4. Lodo</b>						
<b>5.Fertilizante Mineral</b>	<b>0.21</b>	<b>0.43</b>	<b>0.33</b>	<b>112,18</b>	<b>224.3</b>	<b>224.3</b>
<b>6. Testigo</b>						

**Recomendación para lechuga romana: 112.18Kg de N/ha – 224.3Kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha – 224.3Kg de K<sub>2</sub>O/ha. Secretaria de Agricultura del Estado de New Jersey USA.**

El requerimiento nutricional utilizado para realizar el ensayo, en cuanto al tratamiento mineral es el registrado en la bibliografía de la Secretaria de Agricultura del Estado de New Jersey USA.

## **7.5 METODOLOGIA**

Se llevó a cabo un proceso de Compostaje por acción microbial, utilizando el sistema abierto en método de pila móvil o de volteo, el cual consiste en la compostación de los materiales mezclando los de la siguiente manera:

Las siguientes proporciones para la producción del compost fueron tomadas del compostaje de BIOCIUDAD.

Se tendieron en el suelo 8.2 Kg. de cisco de madera (5%); luego, se adicionaron 97 Kg. de biosólido (70%) totalmente molido y tamizado, se agregó 30 L. de agua. Seguidamente se adicionó, 42 Kg. de gallinaza (30%) y 16.3 Kg. de inóculo (10%) adicionó nuevamente 26 L. de agua. Posteriormente se hizo el respectivo volteo de los compostables con el fin de que quedara una mezcla homogénea. Una vez homogenizada la mezcla se colocó en una compostera (canasta hecha en Guadua) de 60 cm. de ancho, 80 cm. de largo y 1.10 cm. de alto para un volumen de 0.24m<sup>3</sup>

Los parámetros evaluados fueron: medición diaria de la **temperatura**, siendo cada lectura el promedio de seis lecturas hechas en lugares diferentes de la pila. **Humedad**, la valoración se hizo tres veces por semana utilizando 320 centímetros cúbicos de la muestra respectiva, divididos en 4 recipientes, los que se llevaron al horno a una temperatura de 105 °C por 24 horas. Se utilizó la fórmula de humedad gravimétrica:

$$\% \text{ Humedad Gravimétrica} = \frac{\text{Peso del suelo húmedo} - \text{Peso del suelo seco}}{\text{Peso del suelo seco}} \times 100$$

**Altura** de la pila, se midió diariamente utilizando una cinta métrica.

**Volteo**, se realizó un volteo en la tercera semana una vez montada la pila y, debido a que la temperatura empezó a descender hasta llegar por debajo de 35°C, el segundo y tercer volteo se realizaron en la cuarta y séptima semana; por que el compost presentaban una humedad por debajo de 40%. Previo al volteo, cada semana se efectuó las medidas de temperatura y humedad.

Una vez que el compost llegó a su fase de maduración, se procedió a tamizarlo, pesarlo y empacarlo en bolsas plásticas de polietileno dejándose en el mismo invernadero.

## 8. DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la evaluación del abono se utilizó un diseño estadístico completamente aleatorio con 3 dosis, un tratamiento mineral y un testigo aplicados por suelo (2 suelos) y 3 repeticiones para un total de 30 unidades experimentales. La diferencia entre los tratamientos se evaluó mediante el análisis de varianza y prueba de comparación de promedios de Duncan.

### 8.1 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS

#### Tratamientos

##### Suelo Campus

1. S. Campus + Compost 3 :1
2. S. Campus + Compost 2:1
3. S. Campus + Compost 1:1
4. Testigo
5. S. Campus + abono mineral

##### Suelo Buchitolo

1. S. Buchitolo + Compost 3:1
2. S. Buchitolo + Compost 2:1
3. S. Buchitolo + Compost 1:1
4. Testigo
5. S. Buchitolo + abono mineral

## **9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **9.1 PARAMETROS DE EVALUACION DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.**

#### **9.1.1 Temperatura**

La temperatura se comenzó a registrar desde el primer día de haberse iniciado el proceso de compostaje (30.5°C). Al día siguiente (2) y hasta el sexto día la temperatura subió llegando a la etapa termofílica (62,06), (Temperatura mayores del 40 °C), (**anexo D**). Siendo este valor el mas adecuado para que se lleve a cabo un proceso de compostaje según Gómez (2000). Sin embargo para Romero (1998) la temperatura para un compostaje efectivo como proceso de tratamiento de lodos se recomienda tener el compost a 40°C, durante por lo menos cinco días y en cuatro horas de ese periodos por lo menos 55°C dentro de la pila que es cuando se descomponen proteínas, lípidos, grasas y celulosas los cuales son los responsables de las altas temperaturas alcanzadas en el proceso.

#### **9.1.2. Humedad**

Para tomar la humedad del compost se utilizo la formula de % de humedad gravimetrica. El proceso de compostaje empezó con una humedad del 60%. Según Romero (1998) es la adecuada para soportar una actividad biológica apropiada, puesto que los valores de humedad inferior al 50% retardan la descomposición al mismo tiempo que valores superiores al 60% producen lixiviación, derivan la calidad del compost tamizado y aumentan la cantidad de material que se va a manejar. Gómez (2000), dice que se necesita una humedad alta a comienzos del proceso cuando la actividad es más intensa y un poco menos a medida que se avanza en la descomposición. Se busca inicialmente una humedad de 30% a 70%.

### **9.1.3. pH**

El pH fue tomado al inicio y al final del proceso del compostaje el cual oscila entre (6-7) según Muñoz (1994), es el adecuado. Autores como Labrador (2001) plantean que durante el proceso de compostaje, y como consecuencia del metabolismo microbiano, se producen variaciones del pH. Inicialmente la actividad de las bacterias que transforman los complejos carbonados, fácilmente descomponibles en ácido orgánico, hace descender el pH; seguidamente, el pH asciende como consecuencia del aumento de amonio liberado en la transformación de proteínas fundamentalmente alcanzando un valor alrededor de 8.5, coincidiendo con la fase térmica, finalmente el pH disminuye en la fase final o de maduración (pH entre 7 y 8) debido a las propiedades naturales que amortiguan las sustancias húmicas de la materia orgánica.

### **9.1.4. Altura**

La altura inicial de la pila del compost fue de 72 cm. y la final de 57cm (**ver anexo E**). Romero (1998), sugiere que la altura de la pila es un factor de suma importancia para el proceso de compostaje, que 0.8m (80 cm.) de altura tiene un mejor resultado que las pilas de 1.4 m.

### **9.1.5. Contenido Nutricional del Compost a base de Biosólido**

<b>N</b>	<b>P</b>	<b>K</b>
1.77 %	2.14 %	0.47 %

## 9.2 ANALISIS DE PESO DE MATERIA SECA SUELO DE BUCHITOLO.

**Tabla 6. Peso del Material Vegetal Seco por Tratamiento**

TRATAMIENTOS	REPETICION I	REPETICION II	REPETECION III	X
T1 relacion 3:1	1,3	1,35	1,65	<b>1,43</b>
T2 relacion 2:1	0,95	0,2	0,2	<b>0,45</b>
T3 relacion 1:1	0,2	0,55	0	<b>0,25</b>
T4 testigo	2,25	2,55	2,85	<b>2,85</b>
T5 mineral	3,25	2,2	2,1	<b>2,51</b>

Analizando el pos – anova HSD de Tukey (**anexo F**), se observó lo siguiente:

Existe diferencia significativa entre el tratamiento T<sub>1</sub> (3:1) y los tratamientos T<sub>3</sub> (1:1), T<sub>4</sub> (testigo buchitolo) y T<sub>5</sub> (testigo mineral). Es decir que el único tratamiento con el que no presento diferencia en cuanto al contenido de materia seca es el T<sub>2</sub> (2:1).

El tratamiento T<sub>2</sub> (2:1) presento diferencia significativa con los tratamientos T<sub>4</sub> (testigo buchitolo) y T<sub>5</sub> (tratamiento mineral).

El tratamiento T<sub>3</sub> (1:1), presento diferencia significativa con todos los otros tratamientos a excepción de T<sub>2</sub> (2:1).

El T<sub>4</sub> (testigo buchitolo), presento diferencia significativa con todos los tratamientos a excepción del T<sub>5</sub> (tratamiento mineral).

Los tratamientos T<sub>4</sub> (testigo buchitolo) y T<sub>5</sub> (tratamiento mineral) no presentan diferencia significativa y son los tratamientos que presentan un mayor contenido de materia seca.

A un nivel de significancia del 5%, existen diferencias significativas con respecto al promedio de materia seca entre los diferentes tratamientos analizados. Es decir que el

abono orgánico presento efectos no tan marcados en el contenido de materia seca de la planta indicadora Lechuga Romana *lactuca sativa*, en cuanto a los tratamientos que tenían las diferentes dosis de abono orgánico; ya que los tratamientos que tuvieron un mayor contenido de materia seca fueron el T<sub>4</sub> (testigo buchitolo) y el T<sub>5</sub> (tratamiento mineral) los cuales alcanzaron un mayor crecimiento y desarrollo general, y presentaron diferencia significativa con todos los tratamientos menos entre ellos. Se puede decir que en suelos con propiedades físico- químicas que las tiene un suelo de alta fertilidad, no parece necesaria la utilización de este compost hecho a base de lodos, a las dosis estudiadas, por que retrasa el desarrollo fisiológico de la planta.

### 9.3 ANALISIS DE PESO DE MATERIA SECA SUELO DEL CAMPUS.

**Tabla 7. Peso del Material Vegetal Seco por Tratamiento**

TRATAMIENTOS	REPETICION I	REPETICION II	REPETECION III
T1 relación 3:1	0,7	1,5	1,2
T2 relación 2:1	1,25	1,9	0,4
T3 relación 1:1	1,75	0,15	0,3
T4 testigo	0,1	0,1	0,1
T5 mineral	2,05	0,85	2,85

A un nivel de significancia del 5% no se presentaron diferencias significativas en el contenido promedio de materia seca entre los diferentes tratamientos (**anexo G**). Quiere esto decir que el abono orgánico no tiene ningún efecto en el contenido de materia seca en la planta indicadora lechuga romana *Lactuca sativa*. Descriptivamente el tratamiento T<sub>5</sub> (tratamiento mineral) es el que presenta un mayor contenido promedio de materia seca.

## 9.4 ALTURA DE LA PLANTA

**Tabla 8. Altura final de la planta por Tratamiento (Suelo de Buchitolo)**

TRATAMIENTOS	REPETICION I	REPETICION II	REPETECION III
T1 relación 3:1	29	23,25	32
T2 relación 2:1	23,75	13	18
T3 relación 1:1	9	14	7
T4 testigo	42,75	45	48
T5 mineral	46	48,75	43

**Tabla N° 9. Altura final de la planta por Tratamiento (Suelo de Campus)**

TRATAMIENTOS	REPETICION I	REPETICION II	REPETECION III
T1 relación 3:1	22	23	20
T2 relación 2:1	18	33	14,6
T3 relación 1:1	24,75	7,75	13,5
T4 testigo	10,5	13,25	6,1
T5 mineral	42	34,5	48

Los datos de altura de la planta de lechuga romana (*Lactuca sativa*) fueron registrados diariamente.

**Tabla 10. ALTURA PLANTA VS TIEMPO**

SUELO	TRATAMIENTO	R <sup>2</sup>	MODELO
BUCHITOLO	T <sub>1</sub> relación 3:1	98.1%	Y=1.2225+1.7062x
	T <sub>2</sub> relación 2:1	94.1%	Y=1.7875+0.9816x
	T <sub>3</sub> relación 1:1	92.1%	Y=2.7000+0.4294x
	T <sub>4</sub> testigo mineral	98.1%	Y=5.9500+2.5515x
	T <sub>5</sub> testigo buchitolo	98.2%	Y=6.1875+2.5816x
CAMPUS	T <sub>1</sub> relación 3:1	92.2%	Y=2.3625+1.1640x
	T <sub>2</sub> relación 2:1	91.7%	Y=4.6625+1.0176x
	T <sub>3</sub> relación 1:1	94.2%	Y=3.7875+0.7581x
	T <sub>4</sub> testigo mineral	96.5%	Y=1.8850+0.4915x
	T <sub>5</sub> testigo buchitolo	96.5%	Y=3.6425+2.6222x

#### **9.4.1. Altura VS Tiempo - Suelo de Buchitolo**

Como todos los coeficientes de determinación ( $R^2$ ), son superiores al 90%, se puede concluir que hay una tendencia lineal casi perfecta entre la variable altura y la variable tiempo; es decir, que a través del tiempo, la altura de la planta se desarrolla en una forma lineal (asociación lineal positiva excelente) de los tratamientos analizados, el testigo buchitolo es el que tiene una mejor asociación, es decir, que hay una correlación lineal positiva excelente entre estas dos variables, seguido del tratamiento mineral y el tratamiento 3:1.(**anexo H**).

#### **9.4.2. Altura VS Tiempo - Suelo del Campus.**

Hay una tendencia lineal casi perfecta en el desarrollo de la altura a través del tiempo en los diferentes tratamientos, siendo los tratamientos testigo campus y tratamiento mineral, los que tienen un mejor comportamiento, es decir, un comportamiento adecuado de acuerdo a la fisiología de la planta lechuga romana (*Lactuca sativa*) utilizada como planta indicadora. (**Anexo I**).

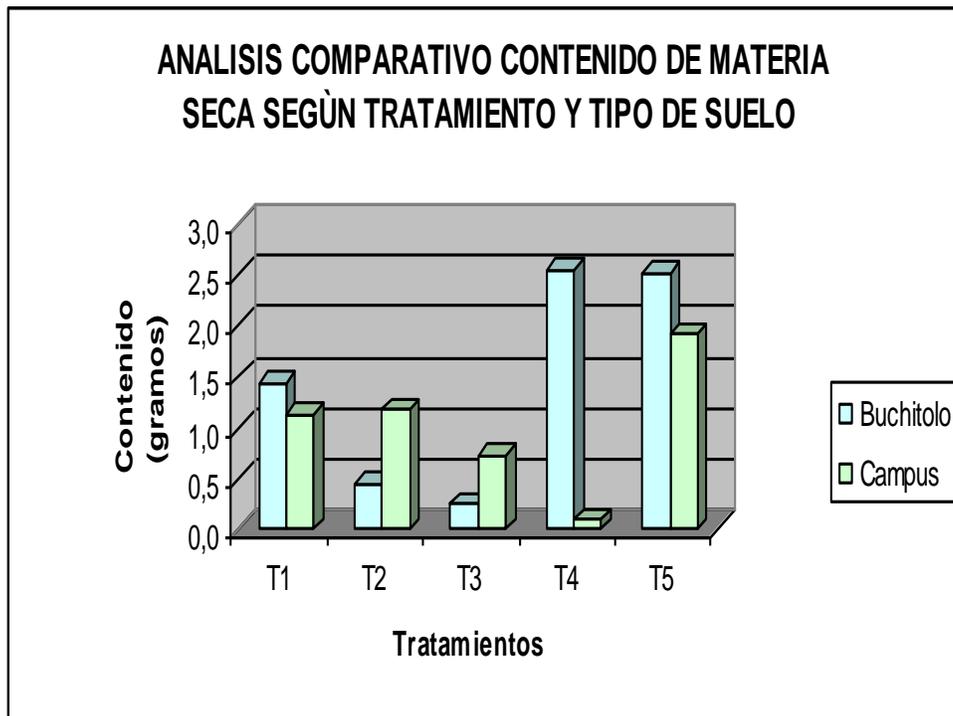
### **9.5 ANALISIS COMPARATIVO CONTENIDO DE MATERIA SECA SEGÚN TRATAMIENTO.**

El suelo del Campus presento un mayor contenido de materia seca que el suelo de Buchitolo en los tratamientos  $T_2$  y  $T_3$ . En los otros tratamientos, en el suelo de Buchitolo se obtuvo un mayor rendimiento.

El tratamiento  $T_3$  fue de mayor dispersión en el suelo Campus y el  $T_5$  en el suelo de Buchitolo (**anexo J**). Se nota una diferencia marcada en el tratamiento  $T_4$  de ambos suelos como lo muestra la **grafica 1**.

En suelos ligeramente ácidos la adición de compost da como resultado un menor desarrollo de la planta indicadora. Con relación a suelos con alto grado de acidez el desarrollo de la planta es mayor cuando se utilizaron las dosis bajas y medias evaluadas en el ensayo (3:1, 2.1).

**Grafica 1.**

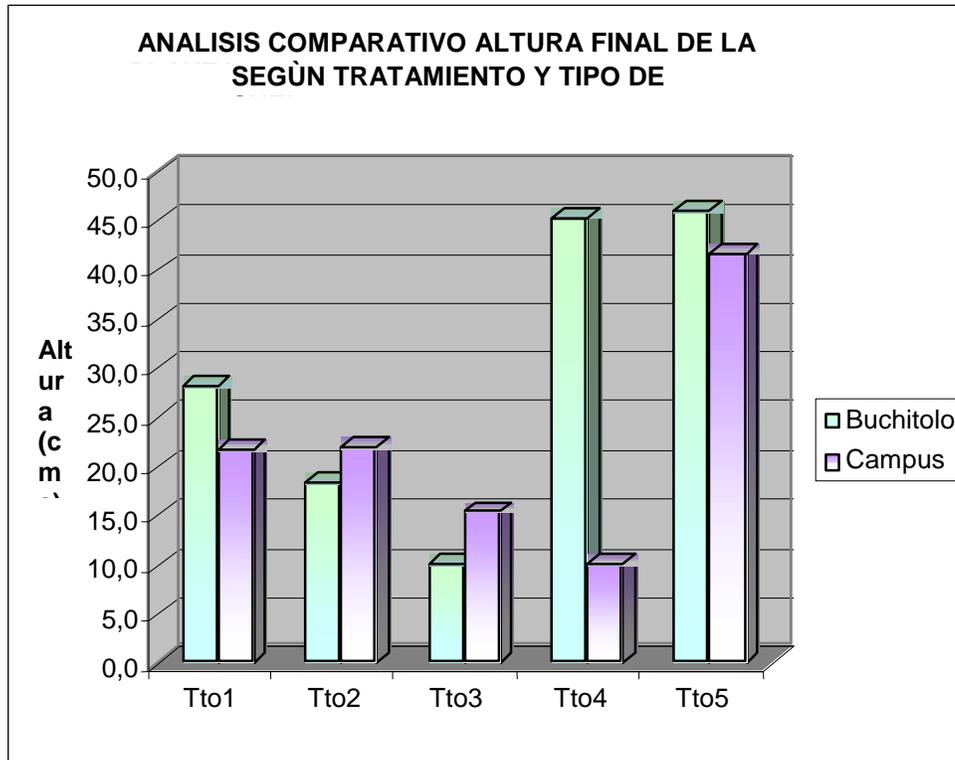


### **9.6 ANALISIS ALTURA DE LA PLANTA.**

En el suelo de Buchitolo los tratamientos T<sub>4</sub> y T<sub>5</sub> (testigo Buchitolo y tratamiento mineral) son los que alcanzan una mayor altura al final del experimento como lo muestra la **figura 2**, una mayor tasa de cambio promedio es decir velocidad de crecimiento que en las plantas de los tratamientos T<sub>1</sub> y T<sub>2</sub>.

En el suelo del Campus el tratamiento T<sub>5</sub> (tratamiento mineral) es el que alcanzo una mayor altura al final del experimento igualmente fue el que presento una mayor tasa de cambio (velocidad de crecimiento de la planta).<sup>56</sup> **(Anexo K).**

**Gráfica 2.**



### 9.7 pH DE LOS TRATAMIENTOS

El pH fue tomado a cada uno de los tratamientos antes de sembrar las plantas de lechuga romana (*Lactuca sativa*) y después de haberlas colectado. Presentó una diferencia poco significativa durante los días que duró el proceso de desarrollo de las plantas, tendiendo a aumentar al final.

**Tabla 11. pH de los tratamientos Suelo de Buchitolo**

	<b>pH inicial</b>	<b>pH final</b>
3:1	6.43	7.8
2:1	6.35	6.58
1:1	6.41	6.41
Testigo	6.98	7.28
Tratamiento mineral	7.0	7.11

**Tabla 12. pH de los tratamientos Suelo Campus**

	<b>pH inicial</b>	<b>pH final</b>
3:1	6.24	6.24
2:1	5.80	5.96
1:1	5.95	6.41
Testigo	5.82	5.84
Tratamiento mineral	5.9	6.0

## 10. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos, se puede elaborar compost bajo invernadero utilizando el proceso de compostaje aerobio. Donde se realizo un sistema abierto en método de pila móvil o de volteo, el cual acelera el proceso de descomposición del material orgánico y permite obtener altas temperaturas, necesarias para la destrucción de patógenos.

La combinación de abono orgánico a base de lodo y abono mineral en las diferentes fases del cultivo pueden ser una buena alternativa para los suelos ácidos del Pacifico Colombiano.

Para tener un buen desarrollo de las plantas en suelos ácidos se deben utilizar relaciones medias (2:1) y bajas (3:1). Por que las altas inhiben el desarrollo normal de la planta.

El comportamiento de las plantas con relaciones 3:1 de compost a base de biosolido fue mejor que las relaciones 2:1 y 1:1.

## **11. RECOMENDACIONES**

En suelos caracterizados por su excelentes propiedades físicas y químicas que los hacen un suelo de alta fertilidad no es recomendable usar dosis altas de compost por que el desarrollo de la planta se va a ver afectado.

Se deben continuar las investigaciones con análisis de suelos más completos para poder sacar algunas conclusiones validas y utilizar relaciones suelo: compost más amplias.

## **BIBLIOGRAFIA**

BIGERIEGO, M.1993. Curso sobre tratamiento de residuos urbanos. Aplicación agronómica de los lodos residuales. CIT-INIA. Madrid. Diciembre. p. 17.

CEGARRA, J. Compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad del compost. En: Curso Master Internacionales. (19:1994: s./). Memorias del VII congreso. Colombia. 1996. p. 2,4.

\_\_\_\_\_ El Compostaje de residuos sólidos urbanos como componente orgánico alternativo de los medios de cultivos de las plantas ornamentales en contenedor. En: Curso Superior de Especialización (1996: Palmira). Universidad Nacional de Colombia - Palmira. 1996. p. 12.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL CAUCA. Laboratorio ambiental. Reporte de Resultados de Análisis de Suelos. 2006.

COSTA, F. Residuos orgánicos urbanos. Manejo y utilización. CSIC. Murcia. 1991. p. 181.

FASSBENDER, H. Química de suelos. Editorial IICA. Turrialba, Costa Rica. 1975. p. 66. Serie N° 24.

GOMEZ, J. Abonos orgánicos. Proceso de habilitación. Cali: Feriva. 2000. Mayo. p. 27-29.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. Estudio general de suelos del municipio de Buenaventura. Bogota D.C. 1980. p. 1,19.

GUTIERREZ, F; ROJAS, D; JIMENEZ, M y SERNA, L. Evaluación de la eficiencia agronómica de un lodo residual usado como bioabono en un ultisol. Universidad de Antioquia. Medellín. 1998 p. 105-116.

LABRADOR, J.2001. La materia orgánica en los ecosistemas. Segunda edición. Madrid (España). 2001. p. 153 -178

LEAL, O. Valor fertilizante de los biosólidos proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Bogota (Salitre), Cota y Guatavita. En: Suelos ecuatoriales. Bogotá D.C. (Colombia). Vol 33 N° 1. 2003. p. 1-7.

SOTOMONTE, A. Evaluación del efecto de aplicación de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de cota en un suelo de fertilidad baja. En: Suelos ecuatoriales. Bogotá D.C. Colombia. Vol 33 N° 1. 2003. p. 8-11.

LOPEZ, P. Compostaje de residuos orgánicos. Primera edición. Universidad del Valle Santiago de Cali (Colombia). 2002. p. 7-9,13.

MARTIN, M. lodos residuales para la agricultura. En: El nuevo ambiente. Madrid, 1992. Marzo. p. 36-37.

MENDEZ, H. Tratamiento y empleo de lodos de aguas negras residuales en la agricultura. En: Suelos ecuatoriales. Bogota D.C. (Colombia). Vol 25. 1995. p 18-23.

MUÑOZ, J. Enciclopedia práctica de la Agricultura y la Ganadería. Editorial Océano/Centrum. Barcelona (España). 2000. p. 122, 124-126, 130.

MUÑOZ, R. Abono orgánico y su uso en la agricultura. En: Fertilidad de suelos.

Diagnóstico y control. Nueva edición. Santa fe de Bogotá., Colombia. 1994 p. 293-298.

PERALTA, Y. Evaluación del uso agronómico de los lodos provenientes de sucromiles y la licorera del valle en suelos que presentan alta saturación de sodio y magnesio. Palmira-Valle. Trabajo de grado (Ingeniero Agrónomo). Universidad Nacional de Colombia. Sede Palmira. 2002. p. 4-7.

POLO, A.. Residuos Orgánicos Urbanos. Manejo y utilización. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. 1991 p. 172.

RAMIREZ, C. Manual Agropecuario Tecnologías Orgánica de la Granja Integral Autosuficiente. Primera edición. Bogotá- Colombia. 2002. p. 540.

ROMERO, J. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principio del diseño. Editorial escuela colombiana de ingeniería. Bogota – Colombia. 1998. p. 835-843.

SEOANEZ, C. Aguas Residuales Urbanas, tratamientos de bajo costo y aprovechamiento. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid. 1995. p. 32-34.

**ANEXOS**

**Anexo A REPORTE DE RESULTADOS DE ANALISIS DE SUELO.**

<b>DETERMINACION</b>	<b>BUICHITOLO</b>	<b>CAMPUS</b>
pH	6.76	4.90
Arena (%)	36.16	66.2
Arcilla (%)	21.84	11.84
Limo (%)	42	22.0
Textura	Franco	Franco- Arenoso
Materia orgánica	3.08	5.04
Nitrógeno (%)	0.21	0.31
Relación C/N	8.52	9.45
Fósforo Bray II (ppm)	160.3	5.07
Calcio (meq/100g)	15.7	2.29
Magnesio (meq/100g)	5.13	0.64
Potasio (meq/100g)	0.66	0.19
Sodio (meq/100g)	0.14	////
CIC (meq/100g)	18.5	11.0
Aluminio (meq/100g)	////	0.90
Saturación de Aluminio (%)	////	22.4
Zinc (ppm)	10.2	1.87
Hierro (ppm)	6.54	76.4
Cobre (ppm)	0.68	0.71
Manganeso (ppm)	78.5	12.5
Molibdeno (ppm)	Trazas	Trazas
Boro (ppm)	0.16	0.03
Cenizas volcánicas	No	No
Reacción al HCL	Si	////

**CRC, 2006**

## Anexo B. METODOLOGÍAS APLICADAS

pH: Método Potenciometrico.
Textura: Método de Bouyoucos.
Materia Orgánica: Método Walckley-Black.
Nitrógeno. Método de Kjeldhal.
Fósforo: Método de Bray II.
Bases de Cambio y CIC: Método del Acetato de Amónio.
Elementos Menores: Método del doble ácido.
Boro: Método de agua caliente.

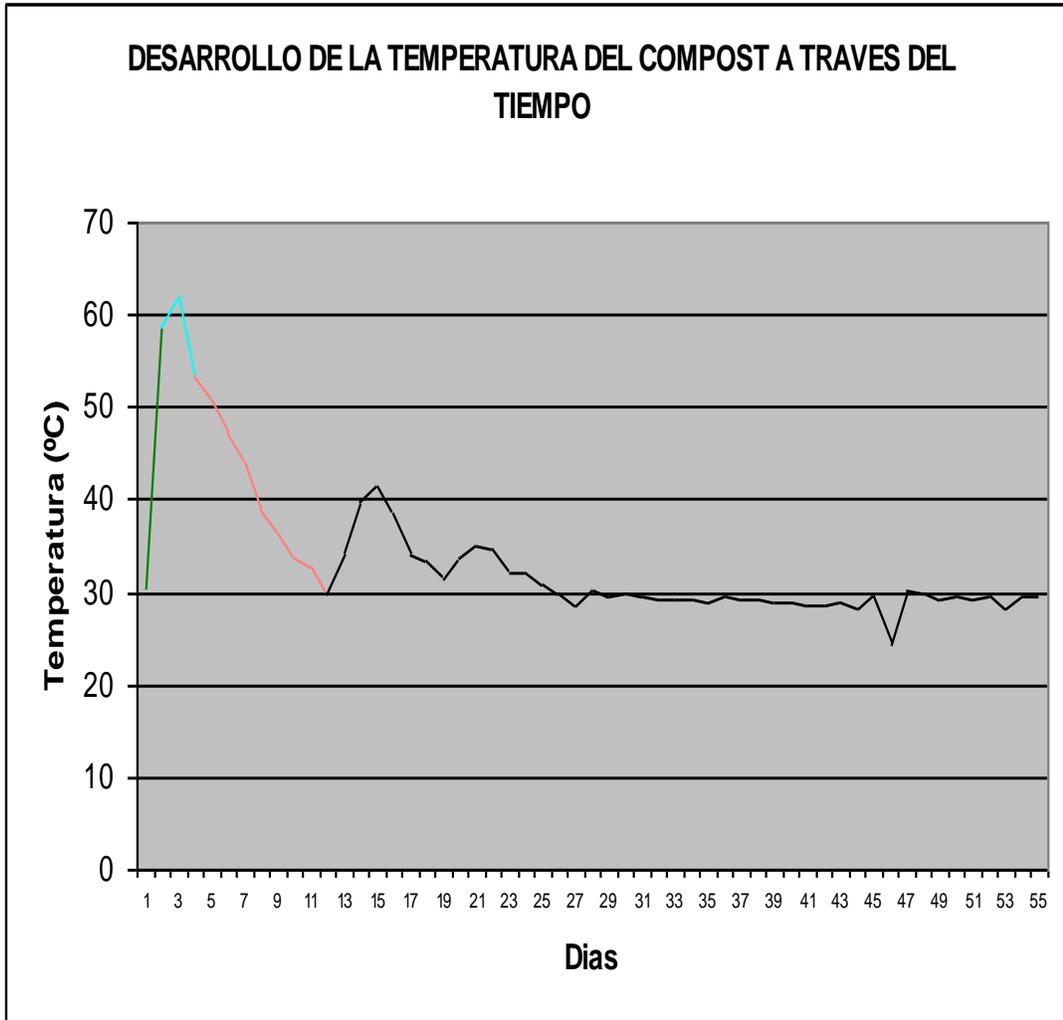
**CRC, 2006.**

## Anexo C. VALORES LÍMITES EN METALES PESADOS PARA EL COMPOST SEGÚN LEGISLACIONES (MQ/KG S.S.S.)

País	Ley/Reglamento	Cd	Cr	Cr <sup>VI</sup>	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn	As
Europa	EEC 448/98 Ecolabel	1.0	100	-	100	1.0	50	100	300	-
Ancia	Ley de fertilizantes	1.5	300	-	600	1.0	100	100	1.500	-
Alemania	Ley BioAbFV Clase I Clase II	1.0 1.5	70 100	- -	70 100	0.7 1.0	35 50	100 150	300 400	- -
Italia	Ley 748/84	1.5	-	0.5	150	1.5	50	140		-
España	Ley de fertilizantes	10	400	0	450	7	120	300	1.100	-

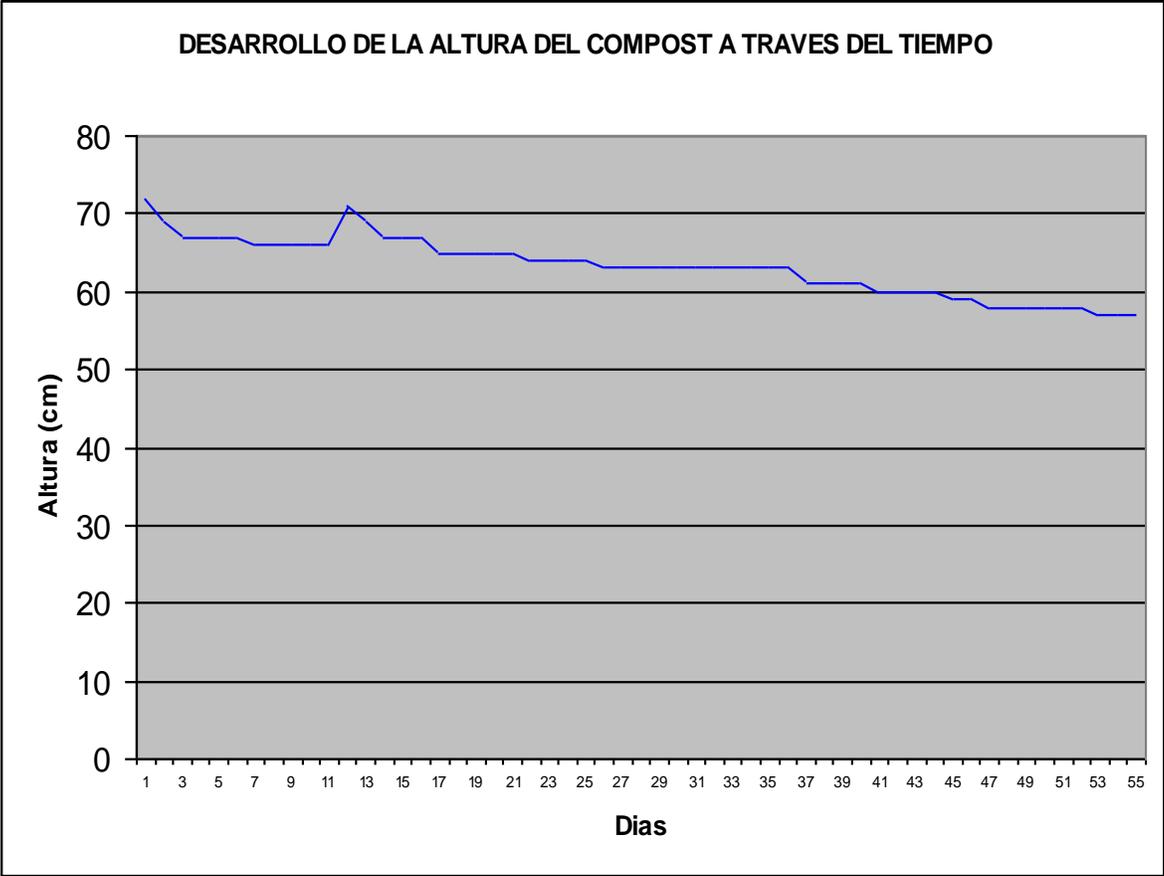
*Fuente:* datos en L'informatore Agrario 6 (2000). Citado por Labrador (2001)

Anexo D.



- 1      - - - - -      Etapa Mesofílica
- 2      - - - - -      Etapa Termofílica
- 3      - - - - -      Etapa de enfriamiento
- 4      - - - - -      Etapa de maduración

**Anexo E.**



**Anexo F. ANOVA de un factor. PESO MATERIA SECA SUELO BUCHITOLO**

**ANOVA**

**Peso materia seca Buchitolo**

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	14,363	4	3,591	22,536	,000
Intra-grupos	1,593	10	,159		
Total	15,956	14			

**Comparaciones múltiples**

**Variable dependiente: Peso materia seca suelo Buchitolo DM**

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tto 3 : 1	Tto 2 : 1	,9833(*)	,32592	,013	,2571	1,7095
	Tto 1 : 1	1,1833(*)	,32592	,005	,4571	1,9095
	Testigo	-1,1167(*)	,32592	,006	-1,8429	-,3905
	Mineral	-1,0833(*)	,32592	,008	-1,8095	-,3571
Tto 2 : 1	Tto 3 : 1	-,9833(*)	,32592	,013	-1,7095	-,2571
	Tto 1 : 1	,2000	,32592	,553	-,5262	,9262
	Testigo	-2,1000(*)	,32592	,000	-2,8262	-1,3738
	Mineral	-2,0667(*)	,32592	,000	-2,7929	-1,3405
Tto 1 : 1	Tto 3 : 1	-1,1833(*)	,32592	,005	-1,9095	-,4571
	Tto 2 : 1	-,2000	,32592	,553	-,9262	,5262
	Testigo	-2,3000(*)	,32592	,000	-3,0262	-1,5738
	Mineral	-2,2667(*)	,32592	,000	-2,9929	-1,5405
Testigo	Tto 3 : 1	1,1167(*)	,32592	,006	,3905	1,8429
	Tto 2 : 1	2,1000(*)	,32592	,000	1,3738	2,8262
	Tto 1 : 1	2,3000(*)	,32592	,000	1,5738	3,0262
	Mineral	,0333	,32592	,921	-,6929	,7595
Mineral	Tto 3 : 1	1,0833(*)	,32592	,008	,3571	1,8095
	Tto 2 : 1	2,0667(*)	,32592	,000	1,3405	2,7929
	Tto 1 : 1	2,2667(*)	,32592	,000	1,5405	2,9929
	Testigo	-,0333	,32592	,921	-,7595	,6929

\* La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

## Anexo G. ANOVA de un factor. PESO MATERIA SECA SUELO CAMPUS

ANOVA

Peso materia seca Campus

	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	17,902	4	4,476	1,097	,409
Intra-grupos	40,780	10	4,078		
Total	58,682	14			

### Comparaciones múltiples

Variable dependiente: Peso materia seca Campus

HSD de Tukey

(I) Tratamiento	(J) Tratamiento	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Tto 3 : 1	Tto 2 : 1	-,0500	,58004	,933	-1,3424	1,2424
	Tto 1 : 1	,4000	,58004	,506	-,8924	1,6924
	Testigo	1,0333	,58004	,105	-,2591	2,3257
	Mineral	-,7833	,58004	,207	-2,0757	,5091
Tto 2 : 1	Tto 3 : 1	,0500	,58004	,933	-1,2424	1,3424
	Tto 1 : 1	,4500	,58004	,456	-,8424	1,7424
	Testigo	1,0833	,58004	,091	-,2091	2,3757
	Mineral	-,7333	,58004	,235	-2,0257	,5591
Tto 1 : 1	Tto 3 : 1	-,4000	,58004	,506	-1,6924	,8924
	Tto 2 : 1	-,4500	,58004	,456	-1,7424	,8424
	Testigo	,6333	,58004	,300	-,6591	1,9257
	Mineral	-1,1833	,58004	,069	-2,4757	,1091
Testigo	Tto 3 : 1	-1,0333	,58004	,105	-2,3257	,2591
	Tto 2 : 1	-1,0833	,58004	,091	-2,3757	,2091
	Tto 1 : 1	-,6333	,58004	,300	-1,9257	,6591
	Mineral	-1,8167(*)	,58004	,011	-3,1091	-,5243
Mineral	Tto 3 : 1	,7833	,58004	,207	-,5091	2,0757
	Tto 2 : 1	,7333	,58004	,235	-,5591	2,0257
	Tto 1 : 1	1,1833	,58004	,069	-,1091	2,4757
	Testigo	1,8167(*)	,58004	,011	,5243	3,1091

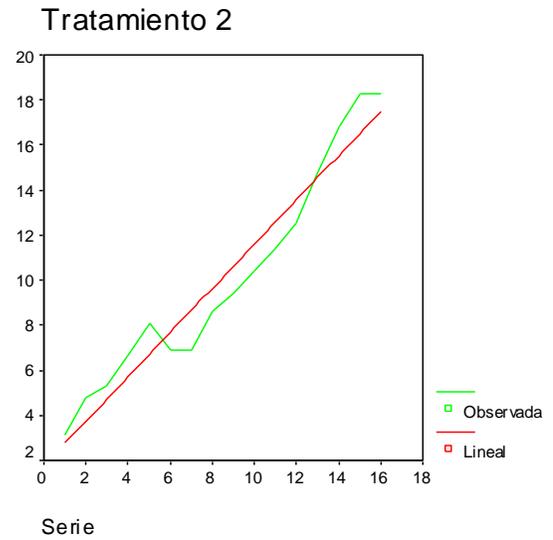
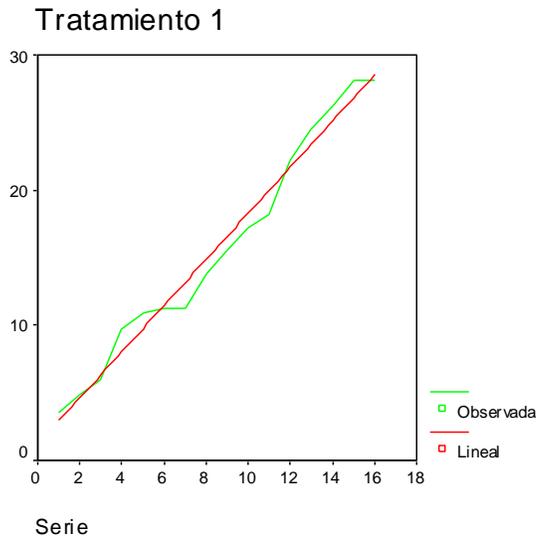
\* La diferencia entre las medias es significativa al nivel .05.

## Anexo H. MODELO DE REGRESIÓN LINEAL SUELO BUCHITOLO

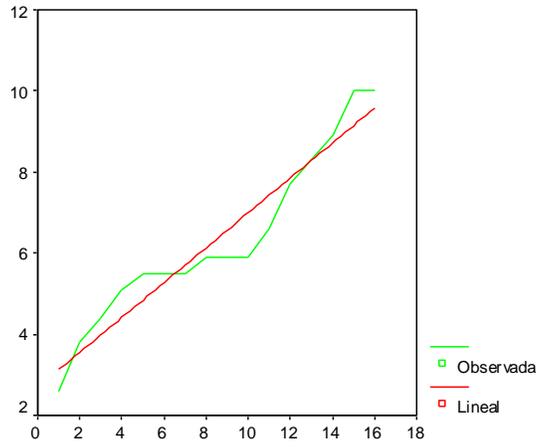
### Altura planta VS tiempo

Independent: Time

Dependent Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1
TTO1	LIN ,981	14	719,56	,000	1,2225	1,7062
TTO2	LIN ,942	14	228,88	,000	1,7875	,9816
TTO3	LIN ,928	14	181,13	,000	2,7000	,4294
TTO4	LIN ,981	14	741,39	,000	5,9500	2,5515
TTO5	LIN ,982	14	750,35	,000	6,1875	2,5816

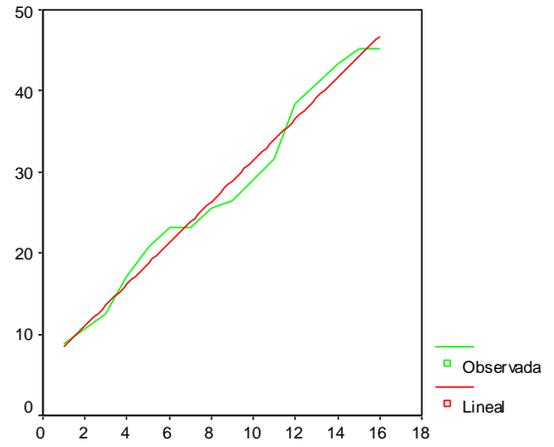


Tratamiento 3



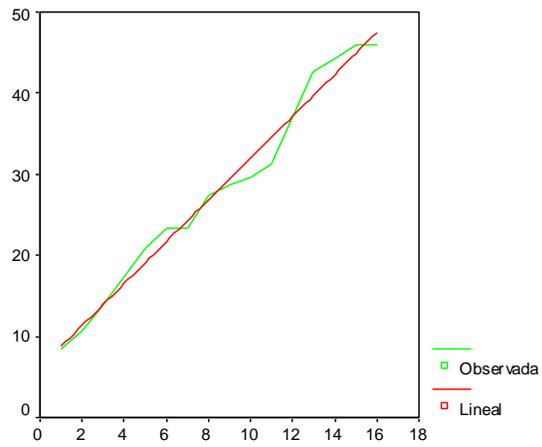
Serie

Tratamiento 4



Serie

Tratamiento 5



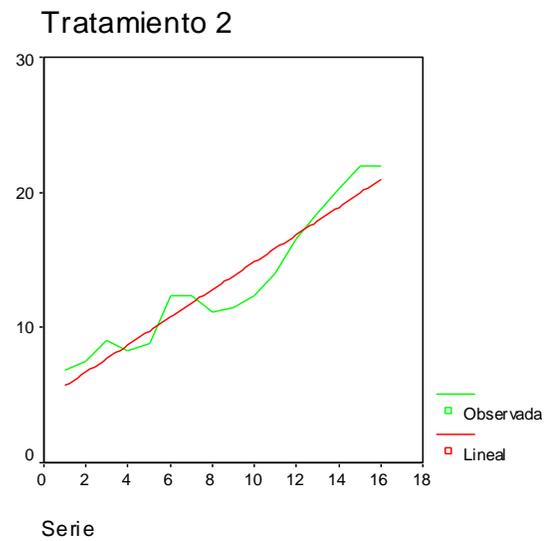
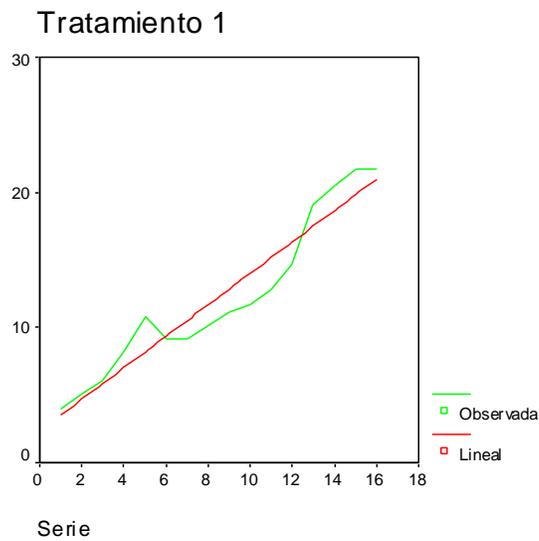
Serie

## Anexo I. MODELO DE REGRESIÓN LINEAL SUELO CAMPUS

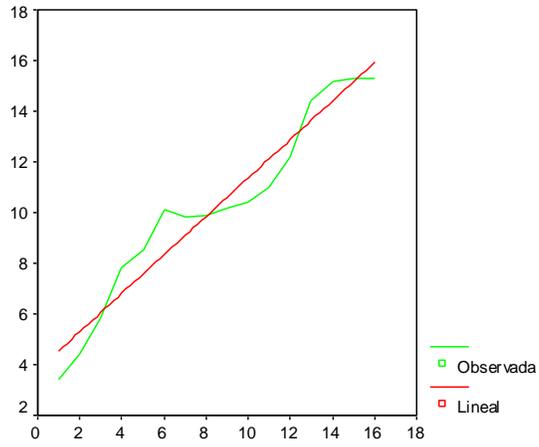
### Altura planta VS tiempo

Independent: Time

Dependent Mth	Rsq	d.f.	F	Sigf	b0	b1
TTO1	LIN ,922	14	164,52	,000	2,3625	1,1640
TTO2	LIN ,917	14	153,70	,000	4,6625	1,0176
TTO3	LIN ,942	14	226,51	,000	3,7875	,7581
TTO4	LIN ,965	14	384,18	,000	1,8850	,4915
TTO5	LIN ,965	14	387,39	,000	3,6425	2,6222

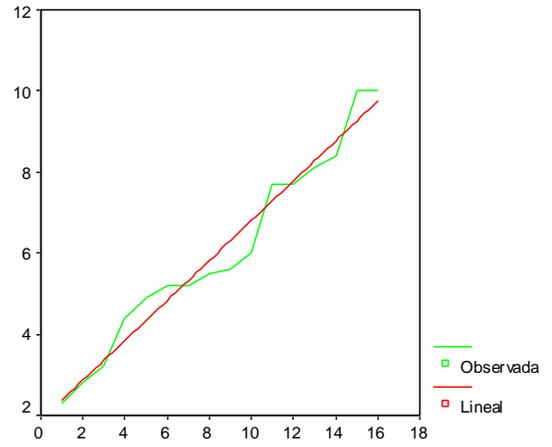


Tratamiento 3



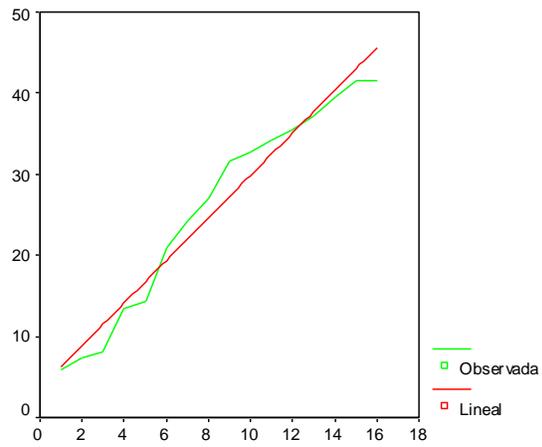
Serie

Tratamiento 4



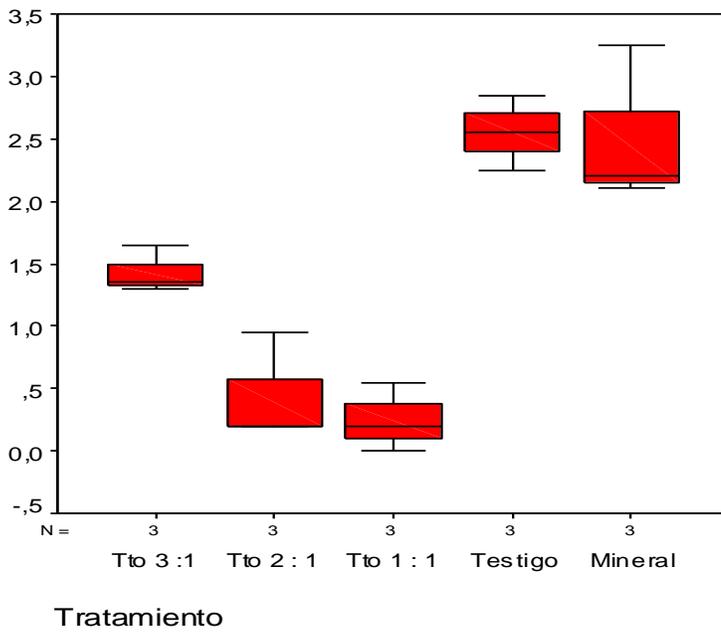
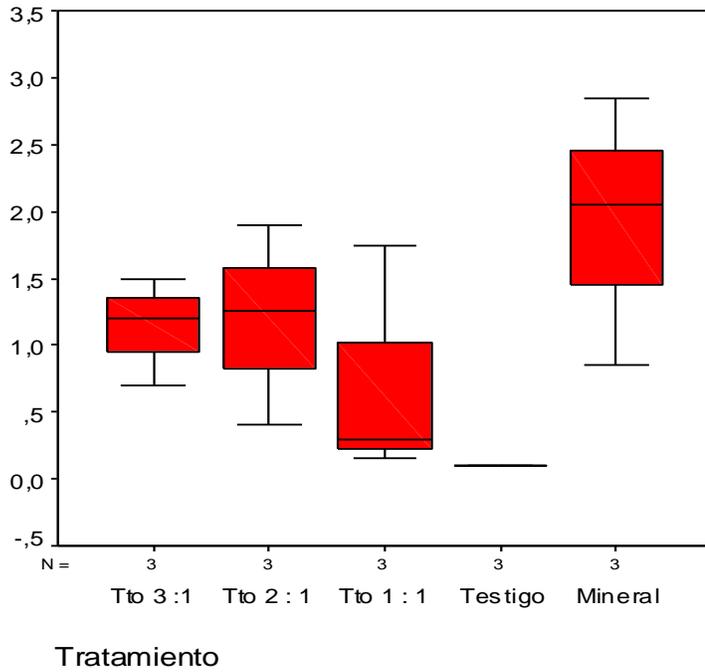
Serie

Tratamiento 5



Serie

**Anexo J. PESO DE MATERIA SECA (Dispersion).**



**Anexo K.**

