

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK

Facultad de Ciencias Ambientales

Tesis de Grado previa a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental

“MEJORAMIENTO DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO DE  
LOS RESIDUOS DE POST-COSECHA DE UNA FLORÍCOLA

Autor:

CYNTHIA MABEL SÁNCHEZ VIÑA

Director de Tesis:

Ing. LAURA HUACHI

Quito – Ecuador

2006

## **DEDICATORIA**

La presente investigación está dedicada a todas aquellas personas que luchan por sobresalir, que se esfuerzan por ser mejores cada día y aprenden de sus errores.

A mi mami, la Ing. Gloria Viña de Sánchez, por ser ejemplo de sabiduría y valor para superar las pruebas que la vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a la Ing. Gloria Viña de Sánchez por ser mi apoyo incondicional para la culminación de ésta investigación.

A mi hermana, Sylvia Sánchez Viña por ser un pilar valioso en los momentos de gozo y dificultad.

A mi padre, Ing. Roberto Sánchez, porque de una u otra forma está presente guiando los pasos de mi camino.

Al Ing. Washington Padilla por el asesoramiento acertado en el desarrollo de la presente tesis.

Al Ing. Hanss Beltrán por su ayuda incondicional en la elaboración de resultados.

Al Ing. Laura Huachi, Ing. Juan Pablo Baquero y Francisco Neira Msc por las sugerencias emitidas durante la elaboración de la investigación.

Mi gratitud a AGOBIOLAB Cia. Ltda., INIAP y todas las instituciones que colaboraron en el transcurso del periodo investigativo.

A mis compañeros, amigos y profesores por compartir esta fase y enseñarme a manejar situaciones difíciles.

Al Divino Niño por permitir la terminación exitosa de la etapa universitaria y ser un soporte moral en los instantes de desaliento.

# ÍNDICE

## CAPÍTULO I ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

### I. INTRODUCCIÓN ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

#### 1.1. OBJETIVOS ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1.1.1. *Objetivo General* ..... ;Error! Marcador no definido.

1.1.2. *Objetivo Específico* ..... ;Error! Marcador no definido.

#### 1.2. HIPÓTESIS ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

1.2.1. *Hipótesis Nula (Ho)* ..... ;Error! Marcador no definido.

1.2.2. *Hipótesis Alternativa (Ha)* ..... ;Error! Marcador no definido.

## CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

### 2.1. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

2.1.1. *Ciclo del Carbono* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.1.2. *Ciclo del Nitrógeno* ..... ;Error! Marcador no definido.

### 2.2. HISTORIA DEL COMPOSTAJE. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

### 2.3. TÉCNICAS DE COMPOSTAJE. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

2.3.1. *Compostaje en Pilas Estáticas.* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.3.2. *Compostaje en Pilas Estáticas Aireadas.* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.3.3. *Compostaje en Reactor* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.3.4. *Compostaje en pilas de volteo o en hileras.* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.3.5. *Método Indore.* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.3.6. *Lombricultura* ..... ;Error! Marcador no definido.

### 2.4 DEFINICIONES. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

### 2.5 FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

2.5.1. *Degradación de celulosa* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.5.1.1. *La celulosa y su descomposición* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.5.2. *Descomposición de la lignina* ..... ;Error! Marcador no definido.

### 2.6. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESCOMPOSICIÓN. ;ERROR! MARCADOR NO

DEFINIDO.

2.1.1. *Temperatura:* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.6.2. *Oxigenación y humedad* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.6.3. *pH :* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.6.4. *Microorganismos Aerobios implicados* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.6.5. *Relación Carbono Nitrógeno.* ..... ;Error! Marcador no definido.

2.6.5.1. *La materia orgánica y la relación carbono – nitrógeno.* ..... ;Error! Marcador no definido.

### 2.7. VENTAJAS DEL COMPOST. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

2.7.1. *Funciones de la materia orgánica en el suelo* ..... ;Error! Marcador no definido.

## CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

### 3.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

### 3.2. MATERIALES UTILIZADOS. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

### 3.3. MÉTODOS ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

3.3.1. *Diseño experimental.* ..... ;Error! Marcador no definido.

3.3.2. *Tratamientos* ..... ;Error! Marcador no definido.

ENSAYOS ..... ;Error! Marcador no definido.

### 3.4. METODOLOGÍA. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

3.4.1. *Ubicación del área de trabajo:* ..... ;Error! Marcador no definido.

3.4.2. *Picar el material vegetal a un tamaño de 8 cm aproximadamente.* ..... ;Error! Marcador no definido.

3.4.3. *Variables y mantenimiento* ..... ;Error! Marcador no definido.

3.4.4. *Protocolo de muestreo.* ..... ;Error! Marcador no definido.

3.4.5. *Análisis de información.* ..... ;Error! Marcador no definido.

3.4.5.1. *Análisis de varianza: ADEVA* ..... ;Error! Marcador no definido.

3.4.6. *VARIABLES A MEDIR.* ..... ;Error! Marcador no definido.

- *Relación C/N* ..... ;Error! Marcador no definido.

- *Temperatura* ..... ;Error! Marcador no definido.

- *pH* ..... ;Error! Marcador no definido.

- Carbono (%) .....;Error! Marcador no definido.
- Nitrógeno.....;Error! Marcador no definido.
- Materia Orgánica .....;Error! Marcador no definido.
- Velocidad de reacción.....;Error! Marcador no definido.

3.4.7. *Metodología para realizar análisis de nutrientes de compost..... ;Error! Marcador no definido*

**CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES** ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO

4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

**CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES** ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

5.1. CONCLUSIONES. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

5.2. RECOMENDACIONES. ;ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

## ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Interpretación de la relación C/N.....	36
Cuadro 2. Tratamientos a implementar en campo.....	44
Cuadro 3. Resumen de ADEVAS para la variable temperatura.....	57
Cuadro 4.- Resumen de promedios y Tukey al 5% para la variable temperatura.....	58
Cuadro 5.- Resumen de ADEVAS para la variable porcentaje de nitrógeno.....	63
Cuadro 6 . Resumen de promedios y Tukey al 5% para la variable porcentaje de nitrógeno.....	63
Cuadro 7. Resumen de ADEVAS para la variable contenido de no3 (ppm).....	65
Cuadro 8. Resumen de promedios y Tukey al 5% para la variable contenido de no3 (ppm).....	65
Cuadro 9. Resumen de ADEVAS para la variable porcentaje de carbono.....	66
Cuadro 10. Resumen de promedios y Tukey al 5% para la variable carbono (%)......	67
Cuadro 11. Resumen de ADEVAS para la variable C/N.....	69
Cuadro 12. Resumen de promedios y Tukey al 5% para la variable.....	69

## ÍNDICE DE GRÁFICOS.

Gráfico 1. Comportamiento de la variable temperatura en 112 días de ensayo.....	
Gráfico 2. Calificación obtenida con Tukey al 5% para temperatura.....	58
Gráfico 3. Representación gráfica del comportamiento del pH .....	59
Gráfico 4. Representación gráfica del comportamiento de la materia orgánica .....	60
Gráfico 5. Cantidad de Materia Orgánica en función del tiempo.....	61
Gráfico 6. Representación comportamiento de N (%).....	62
Gráfico 7. Representación comportamiento de NO <sub>3</sub> (ppm).....	62
Gráfico 8. Representación comportamiento de N (%) análisis ADEVA.....	64
Gráfico 9. Representación comportamiento de NO <sub>3</sub> (ppm) análisis ADEVA.....	66
Gráfico 10. Representación comportamiento de C (%) análisis ADEVA.....	67
Gráfico 11. Representación comportamiento de C (%) análisis ADEVA.....	68
Gráfico 12. Representación comportamiento de la relación C/N - análisis ADEVA.....	70
Gráfico 13. Variación de Nitrógeno en compostaje.....	71
Gráfico 14. Nitrógeno en tratamiento t2.....	71
Gráfico 15. Aplicación de la Ecuación Cinética.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Experiencias en compostaje en el Ecuador.....	
Tabla 2. Valores de relación c/n de diferentes materiales.....	35
Tabla 3. Ejemplo de análisis de varianza utilizando ADEVA.....	48
Tabla 4. Ejemplo construcción de tabla resumen ADEVAS.....	49
Tabla 5. Representación resultados Tukey 5%.....	50
Tabla 6. Resumen de promedios y Tukey al 5% para la variable temperatura,,,,,.....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Ciclo del  
nitrógeno.....¡**ERROR!**  
**MARCADOR NO DEFINIDO.**

Figura 2. Representación fases del  
compostaje.....¡**ERROR! MARCADOR NO**  
**DEFINIDO.**

Figura 3. Representación temperatura vs tiempo con relación a su actividad  
microbiana.....¡**E**  
**RROR! MARCADOR NO DEFINIDO.**

Figura 4. Esquema de la humificación

NO SE ENCONTRARON ELEMENTOS DE TABLA DE CONTENIDO.

## RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo principal de la investigación es reducir la relación carbono nitrógeno de los residuos de post-cosecha mediante compostaje para obtener un abono estable y con disponibilidad de nitrógeno inmediato en forma asimilables, además de ser utilizado como mejorador de suelo.

Dos preguntas clave se formularon al inicio del proyecto: Con que cantidad de úrea se mejora la relación carbono/nitrógeno? y Cuál de los tratamientos obtenidos es el recomendado para la florícola de acuerdo a sus características físico químicas?.

Se utilizó un Diseño de Bloques completamente al Azar, de cuatro tratamientos y tres repeticiones con un total de 12 unidades experimentales.

Los tratamientos a probar tuvieron la siguiente dosificación:

t0 = sin urea

t1 = urea (300 g )

t2 = urea (350 g)

t3 = urea (400 g)

Se construyó pilas de compostaje de 0.8 m de ancho, a.5 m de largo y 1.5 m de alto aproximadamente. Se controló humedad, temperatura, pH y nutrientes.

Los datos se analizaron con análisis de significancia ADEVA y la prueba de TUKEY al 5%.

El tratamiento recomendado para optimizar la producción, en este caso florícola aquel tratado con 350g de urea (t<sub>2</sub>), el cual tuvo como características finales: pH de 7.3, relación C/N de 8, %N d e 4.22 y concentración de NO<sub>3</sub> en ppm de 458. Esto nos demuestra una excelente calidad del producto final.

Se recomienda además realizar éste tipo de ensayos en épocas secas. Construir zanjas que bordeen el ensayo para impedir la presencia de charcos y recolectar lixiviados para su posible uso como biol. Cubrir los ensayos con cualquier material protector permitiendo la respectiva aireación para obtener mejores resultados.

## CAPÍTULO I

### I. INTRODUCCIÓN

El uso indiscriminado y agresivo de fertilizantes inorgánicos y la necesidad de dosis mayores de estos productos para mantener la productividad ha dado lugar a la contaminación de aguas (superficiales y subterráneas) y suelos, provocando cansancio en el suelo, lo cual es muy difícil de recuperar. Este proceso tardaría aproximadamente 200 años.

Principalmente es causado por la elevada exigencia de rendimiento del suelo, muchas veces se realizan actividades donde no es posible hacerlo, y no se devuelve los nutrientes y características alteradas del medio.

El método más antiguo para aumentar el contenido de materia orgánica del suelo es la aplicación de fertilizantes y abonos orgánicos como el compost.

El compostaje, por tener relación directa con los elementos biogénicos como carbono y nitrógeno principalmente, participa en los ciclos biogeoquímicos de éstos elementos, entre otros.

Se han llevado a cabo muchas experiencias con compostaje alrededor del mundo, solo mencionaremos algunas experiencias en Ecuador para puntualizarlas en el capítulo 2.

La Finca Fina Flor interesada en el desarrollo de abonos orgánicos como complemento de su fertilización inorgánica autorizó las actividades a cumplirse con el proyecto denominado “MEJORAMIENTO DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO DE LOS RESIDUOS DE POST-COSECHA DE UNA FLORÍCOLA”.

El objetivo principal de la presente investigación es reducir la relación carbono nitrógeno de los residuos de post-cosecha mediante compostaje para obtener un abono estable y con disponibilidad de nitrógeno inmediato en forma asimilables, además de ser utilizado como mejorador de suelo.

Dos preguntas clave se formularon al inicio del proyecto: Con que cantidad de urea se mejora la relación carbono/nitrógeno? y Cuál de los tratamientos obtenidos es el recomendado para la florícola de acuerdo a sus características físico químicas?.

Resultado de la investigación se comprueba que la biotransformación de la materia orgánica de manera natural con y sin adición de un compuesto nitrogenado mejora la relación carbono/nitrógeno. Por otro lado el tratamiento recomendado para optimizar la producción, en este caso florícola aquel tratado con 350g de úrea, el cual tuvo como características finales: pH de 7.3, relación carbono/nitrógeno de 8, %N d e 4.22 y concentración de NO<sub>3</sub> en ppm de 458. Esto nos demuestra una excelente calidad del producto final.

## 1.1. OBJETIVOS

### 1.1.1. Objetivo General

Mejorar la relación carbono/nitrógeno de residuos de post-cosecha mediante dosificación de urea.

### 1.1.2. Objetivo Específico

- Elaborar 12 pilas de compostaje para degradación de desechos orgánicos
- Encontrar la dosificación ideal de urea para obtener una velocidad de reacción alta
- Mejorar el manejo actual del material de Post-cosecha de la finca Fina Flor

## 1.2. HIPÓTESIS

### 1.2.1. Hipótesis Nula (H<sub>0</sub>)

La dosificación de urea en tratamientos de compostaje no influye en la calidad final del producto.

**H<sub>0</sub>:**  $t_0 = t_1 = t_2 = t_3 = \dots = t_n$

### 1.2.2. Hipótesis Alternativa (H<sub>a</sub>)

La dosificación de urea en tratamientos de compostaje influye significativamente en la calidad final del producto.

**H<sub>0</sub>:**  $t_0 \neq t_1 \neq t_2 \neq t_3 \neq \dots \neq t_n$

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

#### **2.1. CICLOS BIOGEOQUÍMICOS.**

Atlas y Bartha en el 2001 mencionan que un ciclo biogeoquímico expresa la conversión de materiales mediante actividad bioquímica que se produce en la atmósfera, hidrósfera y litósfera

Comprenden transformaciones físicas como disolución, precipitación, volatilización y fijación. A su vez ocurren transformaciones químicas, tales como biosíntesis, biodegradación y biotransformación.

Woodwell (1970) citado por Atrás y Bartha en 2001, menciona que los ciclos biogeoquímicos están impulsados directa o indirectamente por la energía radiante del sol o por la energía de materiales reducidos.

Mencionan además que los elementos sujetos a los ciclos biogeoquímicos, son principalmente componentes esenciales de los organismos vivos como el Carbono y Nitrógeno.

##### **2.1.1. Ciclo del Carbono**

Atlas y Bartha explican de qué se trata el ciclo de carbono:

La fijación del CO<sub>2</sub> para la formación de compuestos orgánicos se lleva a cabo en los organismos autótrofos, como lo son organismos fotosintéticos, quimiolitótrofos y microorganismos como algas y bacterias por su capacidad de convertir CO<sub>2</sub> en materia orgánica.

El dióxido de carbono es transformado en carbono orgánico por los productores primarios representados por organismos fotosintéticos que convierten energía luminosa en energía química que se almacena en compuestos orgánicos que se forman.

Una parte de la producción primaria bruta se vuelve a convertir en CO<sub>2</sub> y el carbono orgánico restante es la producción primaria neta disponible para los heterótrofos.

Los heterótrofos completan el ciclo del carbono transformando nuevo CO<sub>2</sub> a partir de compuestos orgánicos formado de los productores primarios por la respiración

Sin embargo la capacidad enzimática de los microorganismos para utilizar sustancias orgánicas es limitada, esto depende de condiciones ambientales como oxígeno, presión, pH, temperatura, entre otros.

Con el tiempo, la materia orgánica sin degradar se acumula en depósitos de combustible fósil y retira carbono del ciclo en mención.

Una situación intermedia del ciclo es la formación de materiales húmicos a partir de intermedios fenólicos de la degradación de la lignina y de otros procesos metabólicos.

La velocidad del reciclado depende de la estructura molecular, algunos compuestos orgánicos son relativamente resistentes al ataque enzimático.

Una parte importante es el ciclo del carbono es la biodegradación de polímeros de las plantas como la celulosa y hemicelulosa que es llevada principalmente por microorganismos como consecuencia de su actividad el dióxido de carbono es reintroducido a la atmósfera.

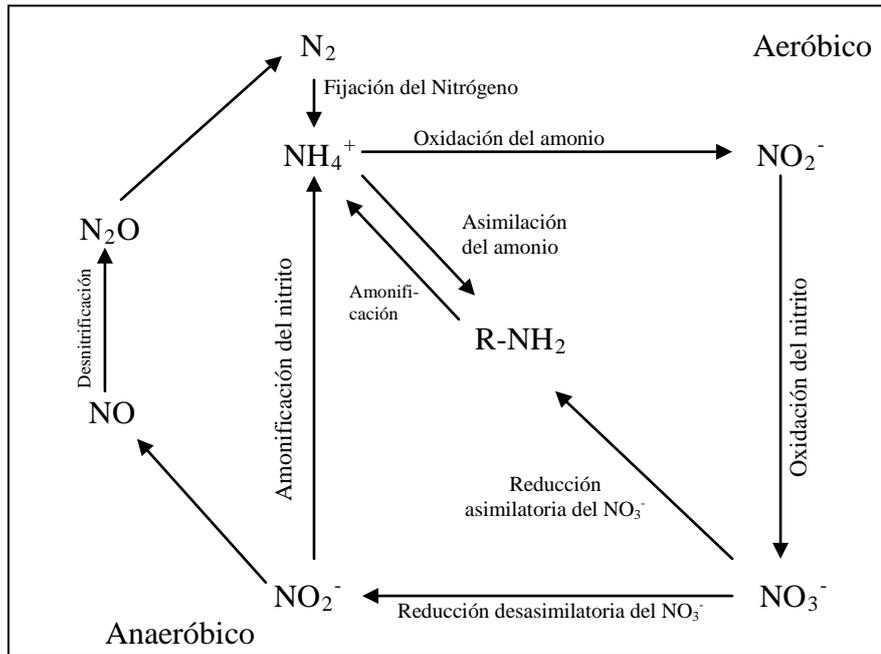
### **2.1.2. Ciclo del Nitrógeno**

Atrás y Bartha en 2001 describen el ciclo del nitrógeno de la siguiente manera:

El nitrógeno se encuentra en muchos estados de oxidación, es componente de aminoácidos, ácidos nucleicos, aminoazúcares y de sus polímeros. El nitrógeno Gaseoso N<sub>2</sub> constituye el 79% de los gases de la atmósfera.

La meteorización y degradación de las rocas libera amoniaco de manera lenta. La disponibilidad de nitrógeno combinado es un factor limitante para producción primaria en muchos ecosistemas. La materia orgánica estable de los suelos (humus) llega a estar disponible tras una mineralización, la cual es favorecida en climas tropicales por las condiciones de temperatura y humedad.

La Figura 1 nos indica una representación gráfica del ciclo del nitrógeno.



**Figura 1.- Ciclo del Nitrógeno**

Fuente: Atlas y Bartha (2001)

Ville (1998) explica los siguientes pasos del ciclo:

El primer paso es la fijación del nitrógeno que no es mas que la conversión de nitrógeno gaseoso ( $N_2$ ) en amoniaco ( $NH_3$ ), se trata de la fijación de éste elemento en los organismos en una forma utilizable. La mayor parte de ésta fijación es biológica, sin embargo existen otras formas como el vulcanismo, descargas eléctricas y medios industriales.

Este proceso es posible gracias a las bacterias fijadoras de nitrógeno que emplean una enzima llamada *nitrogenasa* para separar nitrógeno molecular y combinarlo con hidrógeno.

El segundo paso es la nitrificación en donde se convierte del amoniaco ( $NH_3$ ) en nitrato ( $NO_3^-$ ), este proceso realizado en dos partes por las bacterias del suelo. La primera parte donde as bacterias *Nitrosomonas* y *Nitrococcus* convierten el amoniaco en nitrito ( $NO_2^-$ ) y

la segunda parte la bacteria *Nitrobacter* oxida el nitrito a nitrato. El proceso de nitrificación aporta energía a éstas bacterias llamadas bacterias nitrificantes.

El tercer paso es la asimilación, donde las raíces de las plantas absorben el nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) que se formaron en el segundo paso e incorporan el nitrógeno en proteínas y ácidos nucleicos vegetales. Al consumir los animales los tejidos de las plantas asimilan el nitrógeno y convierten los compuestos vegetales en animales.

El cuarto paso se trata de la amonificación, o conversión de compuestos nitrogenados orgánicos en amoníaco. Empieza cuando los animales producen desechos nitrogenados como la urea en la orina y ácido úrico en las excretas de las aves. Estas sustancias y los compuestos de nitrógeno contenidos en organismos muertos son degradados y liberan amoníaco ( $\text{NH}_3$ ). Las bacterias responsables de éste proceso se llaman bacterias amonificantes. El amonio resultado de la amonificación está disponible una vez mas para los procesos de nitrificación y asimilación.

El quinto paso es la desnitrificación donde se presenta la reducción de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) a nitrógeno gaseoso ( $\text{N}_2$ ), las bacterias desnitrificantes revierten la acción de las bacterias fijadoras de nitrógeno y nitrificantes.

## **2.2. HISTORIA DEL COMPOSTAJE**

Gutierrez, 1991 describe la evolución del proceso de compostaje:

- El primer desarrollo significativo se dió en India en el año de 1925. La compostación se realizó por descomposición anaeróbica de desechos sólidos, hojas y estiércol, las cuales se apilaban por seis meses.
- En Italia en 1922 se desarrollaba un método que utilizaba vías aeróbicas y anaeróbicas en un sistema cerrado que se denominó “Beccari”.

- En 1932 se instaló la primera planta de compostación en un municipio holandés. Utilizó un proceso llamado Maanen en el cual los desechos se depositaban en grandes trincheras,
- En 1930 apareció el proceso “DANO” y un proceso similar en Estado Unidos en la misma época. Ambos métodos por vía aerobia.
- En los años 50 se realizaron estudios del tratamiento de los desechos sólidos con compostaje en las universidades de Michigan y California en Estados Unidos.

En América Latina existen algunas experiencias en compostación, en concreto en Brasil, Guatemala, Chile y Colombia. En las cuales se ha encontrado al compost como alternativa tecnológica para el manejo y disposición final de los residuos.

En Ecuador se han realizado varias experiencias con el compostaje, tanto a gran escala (a nivel municipal) como proyectos pilotos que tenían el objetivo de realizar investigaciones sobre el compostaje.

El Cuadro 1 resume las experiencias hechas en el Ecuador, apoyándose sobre observaciones en los lugares mismos, conversaciones con personas involucradas en los proyectos y la literatura respectiva.

### **2.3. TÉCNICAS DE COMPOSTAJE**

Sztern (2004) señala que las técnicas de compostaje varían de acuerdo a las condiciones de aireación, período de volteo y la calidad requerida en el producto final. Todo sistema de compostaje necesita una serie de medidas de monitoreo para verificar constantemente las condiciones de temperatura y humedad.

Las técnicas principales corresponden a las que a continuación se describen, la elección de cualquiera de ellas va a depender de los objetivos planteados por el productor, el producto que desea elaborar, de las necesidades del mercado, de la cantidad de material a procesar y del tipo de substrato con el que se pretende trabajar (entre otros).

Sztern detalla las principales técnicas para producir compost:

### **2.3.1. Compostaje en Pilas Estáticas.**

Es el sistema más antiguo de compostaje, en el que se forman pilas de reducida altura, que se dejan sin movimiento, ventilándose naturalmente, por lo tanto, ocurren procesos de anaerobiosis zonales, con generación de malos olores, gases y líquidos.

Lo anterior, genera una fermentación deficiente e irregular, no obteniendo un producto de alta calidad. El tiempo de estabilización de la pila es entre 4 y 6 meses. En regiones con mucha pluviosidad o alta humedad ambiental, se recomienda colocar el material bajo techo o galpones.

### **2.3.2. Compostaje en Pilas Estáticas Aireadas**

Consiste en colocar el material a compostar y airearla en forma forzada, la altura recomendada de la pila es de 2 a 2,5 metros sobre una red de tuberías de aireación, donde se suministra aire frecuente para proporcionar el medio aeróbico necesario para la compostación. Este material se procesa en un período relativamente rápido, dos meses aproximadamente, el primero con aireación y el segundo sin ella, para la estabilización del material. (Sztern, 2004).

Este tipo de compostaje requiere una serie de equipamiento, como un compresor, red de tuberías, válvulas, y sistemas de control de presión de aire, temperatura y humedad, lo que lo hace tener un valor económico mayor. En esta técnica el producto se encuentra estabilizado entre los 4 y 6 meses.

### **2.3.3. Compostaje en Reactor**

Sztern (2004) menciona que éste proceso se lleva a cabo en un contenedor cerrado, donde se establece un proceso aerobio acelerado para generar compost (alrededor de un mes).

Los distintos tipos de residuos se alimentan a la máquina, y luego se dosifica una cantidad programada de material rico en carbono (aserrín, paja) para asegurar el proceso de descomposición. (Sztern, 2004).

Luego, la mezcla es desmenuzada dentro de la máquina para asegurar un tamaño de partícula adecuado. Una vez realizado el proceso de trituración y mezcla, el material pasa a un contenedor de compostaje provisto de una bomba para inyectar aire a la mezcla, lo que facilita el trabajo de los microorganismos que convierten los desechos en compost. (Sztern, 2004).

#### **2.3.4. Compostaje en pilas de volteo o en hileras:**

El Manual de compostaje para municipios de Loja, 2002 menciona que el compostaje en pilas es el sistema más antiguo y más sencillo. La operación de este sistema es muy fácil. Después de haber separado todo material foráneo (materiales no biodegradables), el material se coloca en pilas triangulares.

Las pilas aprovechan muy bien el espacio disponible, por lo que son especialmente recomendables para instalaciones en recintos cerrados.

Existe sin embargo el peligro de que las pilas se construyan demasiadas altas (superiores a 2,0 m de altura) y si a esto se agrega intervalos demasiados largos entre volteos y técnicas de volteo deficientes, no es posible garantizar el intercambio de aire entre el interior de la pila y el medio, no garantizando el que es necesario para mantener las condiciones aeróbicas del medio, produciendo así condiciones anaeróbicas donde se pueden formar gases mal olientes y otros que son relevantes para los aspectos climáticos (por ej. CH<sub>4</sub>) y ambientales en general. (Sztern, 2004).

Las pilas de material biodegradable se deben cubrir con para evitar el problema de olor y no atraer las moscas. Una vez por semana se deben mezclar las pilas para airear y homogenizar el material. La mezcla/ revuelta del material se puede hacer manualmente con palas. Se debe remover el material de cobertura para la mezcla/ revuelta. (Manual para municipios, 2002).

Si se moja demasiado el material, pueden ocurrir condiciones anaeróbicas, lo que significa una putrefacción sin oxígeno. Bajo condiciones anaeróbicas, se proliferan los malos olores y hay una alta producción del gas metano. (Manual para municipios, 2002).

La biodegradación principal ocurre durante los primeros 3 meses del proceso. Es importantísimo que se haga regularmente la mezcla/ revuelta del material y que se controle la humedad. (Manual para municipios, 2002).

El volteo debe ir disminuyendo a medida que pasa el tiempo, se recomienda, por ejemplo, que durante el primer mes se realice dos veces a la semana; en el segundo mes, una vez a la semana; el tercer mes, cada 15 días y los meses restantes, una vez al mes, dependiendo de la mezcla utilizada. (Sztern, 2004).

Con el volteo de las pilas se persigue obtener los siguientes efectos (Sztern, 2004):

- Mezclado
- Evitar compactación
- Intercambio gaseoso
- Creación de nuevas superficies de ataque para los microorganismos
- Control de la temperatura, pH y humedad

La técnica de pila de volteo, es relativamente fácil de aplicar, dependiendo del volumen a tratar:

Un ejemplo de dimensionamiento y tratamiento de pila de volteo en hilera, puede ser:

- Altura: entre 1,5 y 1,8 m.
- Base: entre 2,4 a 3,6 m.
- Largo: variable
- Paredes verticales con una inclinación cercana a los 30°.
- Humedecimiento: con riego por aspersion o manguera
- Rango de humedad óptimo: 40 a 60%
- Periodicidad de volteo: variable, de muy frecuente, 2 veces a la semana en el primer mes a una vez al mes en el último período. Dependiendo del lugar

geográfico donde se emplace y tipo de sustrato a trabajar (% de humedad, T°) (Ver ejemplo capítulo 6 letra d)

- Volteo: puede ser manual, con cargador frontal, o con volteadoras diseñadas para este fin.

El método más conocido aeróbico se da en Europa es la siguiente descrita por Howard, s/f:

### **2.3.5. Método Indore.**

También llamado Rangalore elaborado entre 1994 y 1931 en el Instituto para el cultivo de plantas en Indore (India Central). Recibió el nombre del lugar de su origen.

Consiste en la utilización de trincheras en el suelo de 0.6 a 1.0 metros de profundidad. El material se coloca en capas de basura, tierra y paja. No requiere de trituración y se voltea manualmente.

Entre los materiales necesarios para la fabricación de compost con éste método están (Howard, s/f):

- Restos vegetales.- el factor esencial es un mantenimiento ininterrumpido de éstos materiales, La proporción carbono – nitrógeno debería ser aproximadamente de 33:1. Presentar un estado físico desfavorable con fácil acceso de hongos y bacterias
- Desechos animales.- donde no existen animales cerca que proporcionen excrementos se puede utilizar sucedáneos como harina de sangre, sobras de mataderos, etc.

Howard, (s/f) señala que se puede tener problemas durante el proceso por excesivas lluvias que enfrían muy rápidamente el material y no entra aire en la cantidad necesaria. Para ello se toma en consideración los siguientes puntos:

- Las fosas de compost se rodean con canales que interceptan el agua

- Se debe proteger el compost con paja, o cualquier cubierta que detenga el agua.
- Los montones formados se deben situar en un lugar con una ligera pendiente dirigida hacia el lugar de drenaje.

El tamaño conveniente para crear una fosa de compostaje por este método es de 30 pies por 14, con una profundidad de 3 pies. Se debe tener especial cuidado con la profundidad porque el aire circula bien hasta una profundidad de 24 pulgadas, de manera que si sobrepasa esta medida se deberá inyectar aire para un buen proceso de fermentación. (Howard, s/f).

El llenado de una fosa se hace en seis compartimentos, el uno siempre se deja libre para remover el material, se llena con 5 pies de material vegetal y luego se cubre con estiércol y luego se añade una capa de tierra o cenizas de madera, esta última capa no debe pasar el octavo de pulgada porque entorpecería el flujo de aire.

Este procedimiento continúa hasta llenar la altura total de la fosa y debe ser regado por cualquier sistema, especialmente en regiones secas como la de India Central. (Howard, s/f).

Howard, (s/f), dice que la masa debe ser volteada para asegurar una descomposición uniforme, esto se realizará dos veces.

- La primera se debe hacer entre la primera y segunda semana después de la carga y se deben dejar agujeros de 3 pies y 6 pulgadas de distancia para asegurar el paso de aire.
- La segunda se realiza luego de la quinta semana de la carga, después de esto volteo empieza la madurez del compost. Aquí opera la fijación del nitrógeno atmosférico. En condiciones favorables, más de 25% de nitrógeno libre queda fijado.

La actividad microbiana se sigue registrando las temperaturas tomadas desde el principio hasta el final del proceso. Al inicio se registran temperaturas de 65° C y luego de algunos

días baja repentinamente a 30° C. Esto pasa por la degradación de la celulosa. (Howard, s/f)

Tres meses después de la carga los microorganismos han cumplido con su tarea y el compost puede ser depositado en el suelo.

### **2.3.6. Lombricultura**

En las plantas de lombricultura, se siembran lombrices para apoyar al proceso de compostaje o para realizarle completamente. Se utilizan los siguientes tipos de lombrices en la lombricultura:

- *Lumbricus rubellus*
- *Eisenia Foetida* (lombriz roja californiana)
- *Eisenia Andrei*

Entre estos tipos de lombrices, la lombriz roja californiana es la más común en América Latina. La lombricultura con *Eisenia Foetida* se realiza a larga escala en Cuba, Argentina, Chile, Perú y en el Sur del Ecuador.

Las lombrices de la especie *Eisenia Foétida*, (lombriz roja californiana), *Eisenia Andrei* o *Lumbricus Rubellus*, ingieren grandes cantidades de materia orgánica descompuesta. De esta ingesta, hasta un 60 % se excreta en una sustancia llamada humus de lombriz, lombricompuesto o vermicompuesto, que constituye un sustrato ideal para la proliferación de microorganismos útiles. Las lombrices transforman los minerales no asimilables presentes en los desechos y residuos animales, en nitratos y fosfatos directamente asimilables por las plantas.

El humus de lombriz es inodoro, no se pudre ni fermenta y su apariencia general es similar a la borra del café. En los análisis químicos realizados al humus de lombriz se detecta la presencia de hasta un 5 % de nitrógeno, 5 % de fósforo , 5 % de potasio, un 4 % de calcio, una carga bacteriana de 2 billones por gramo y un pH entre 7 y 7,5. De todos los estudios

realizados se concluye que el lombricompost es un fertilizante orgánico de altísima calidad, acción prolongada, fácil y económica producción.

## 2.4 DEFINICIONES.

Vale la pena mencionar algunos conceptos antes de explicar el funcionamiento del proceso de compostaje, para ello se ha tomado ciertas definiciones del diccionario hortofrutícola (2006) y del diccionario de fertilizantes (s/f).

**Abono Orgánico:** Material de origen vegetal o animal, producto de un proceso de transformación por acción de los microorganismos destinados a suplir las necesidades nutricionales de las plantas.

**Abono orgánico:** Sustancia de origen animal o vegetal, que contiene uno o más elementos nutrientes, de lenta asimilación por la planta y que participa igualmente en el mantenimiento de la actividad microbiana del suelo. (Diccionario de Fertilizantes)

**Aeróbico:** proceso en el que se transforma residuos orgánicos de origen animal o vegetal, en presencia de oxígeno.

**Asimilable:** Condición requerida por un nutriente vegetal que le permite ser absorbidos a través de las raíces. (Diccionario de Fertilizantes)

**Celulosa:** Hidrato de carbono que forma la pared de las células vegetales

**Compost:** Producto natural resultante de la transformación de los residuos de origen animal y vegetal.

**Compostaje:** proceso a través del cual se transforman residuos de origen animal o vegetal.

**Conductividad eléctrica:** Medida que estima el contenido de sales solubles en el agua de riego o en medio de cultivo. Se miden mhos por centímetro

**Degradación:** Término que define el fenómeno de la transformación de la materia orgánica a través de una secuencia, en la cual esta pierde paulatinamente su energía oxidable (C), se forma ácidos orgánicos (húmicos y fúlvicos) y finalmente se mineraliza sus elementos nutritivos. (Diccionario de Fertilizantes).

**Desnitrificación:** Proceso resultante de la acción de microorganismos anaerobios sobre los nitratos, que se traduce en una pérdida de N libre. Tiene lugar en suelos inundados o poco aireados. (Diccionario de Fertilizantes)

**Fertilizante:** Es cualquier material orgánico o inorgánico, natural o sintético, que se adiciona al suelo con la finalidad de suplir en determinados elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. (Diccionario de Fertilizantes)

**Humificación:** Proceso relacionado con la descomposición de la materia orgánica y su transformación en humus.

**Humificación:** Descomposición de la materia orgánica y síntesis de nuevos complejos orgánicos. En este proceso, una gran cantidad de minerales liberados es, en parte, utilizada por los microorganismos, en parte absorbida por los complejos coloidales húmicos y minerales y, en parte perdida por lixiviación, mermándose el humus. (Diccionario de Fertilización)

**Materia Orgánica:** todo tipo de desechos o residuos de origen animal o vegetal sobre la superficie del suelo

**Materia Orgánica:** Comprende los residuos vegetales (raíces y parte aérea) y animales (incluido los excrementos), en diversos estados de descomposición, que ocurren en el suelo en estrecha relación con los constituyentes minerales y los microorganismos juegan un importante papel en el suelo, mejorando sus condiciones físicas y químicas y sirviendo de fuente de elementos nutrientes. (Diccionario de Fertilización)

**Mineralización:** Transformación de la materia orgánica del suelo a través de un proceso que conduce a la formación de sales minerales, en las que los elementos fertilizantes son asimilables para las plantas. (Diccionario de Fertilización)

**Nitrificación:** Fase final de la descomposición de la materia orgánica y, en general, de compuestos amoniacales, naturales o sintéticos, en la que su N pasa a formas nítricas asimilables por la planta. (Diccionario de Fertilización)

**pH (Concentración de iones de hidrogeno):** El valor de pH o concentración de iones de hidrógeno de cualquier solución, suelo o compuesto, es simplemente un número que denota su grado de acidez o alcalinidad.

**pH:** Grado de acidez o basicidad de un suelo, medio de cultivo, agua, sustrato, entre otros.

**Urea:**  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ . Es el producto formado por la amida ácida sintética y ácido carbónico, con un grado no menor del 45% de nitrógeno total.

**Termofílica:** Fase del proceso de Compostaje en la que se alcanzan temperaturas no mayores a  $65^\circ\text{C}$ .

**Termófilos:** Organismos que soportan temperaturas superiores a  $45^\circ\text{C}$ .

## 2.5 FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO.

La compostación es un proceso biológico, mediante el cual se biotransforman materiales orgánicos degradables, ya sean éstos vegetales, animales o ambos en un producto estable, rico en nutrientes y generalmente útil en los procesos vivos del suelo. (Manual Agropecuario, 2002).

El compost ha sido visto como una forma de producir abono orgánico y en menor medida, una forma ecológica de manejar residuos.

El Manual Agropecuario de Colombia, 2002 menciona que se puede llegar por dos caminos:

- Producción agrícola con interés en el manejo de fertilidad del suelo.
- Manejo de residuos.

Se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40°C) con etapas termogénicas (40-75°C), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente. Las elevadas temperaturas alcanzadas, son consecuencia de la relación superficie/volumen de las pilas o camellones y de la actividad metabólica de los diferentes grupos fisiológicos participantes en el proceso. Durante la evolución del proceso se produce una sucesión natural de poblaciones de microorganismos que difieren en sus características nutricionales (quimioheterotrofos y quimioautotrofos), entre los que se establecen efectos sintróficos y nutrición cruzada. (Sztern, 2004).

Sztern, 2004, distingue en una pila dos regiones o zonas:

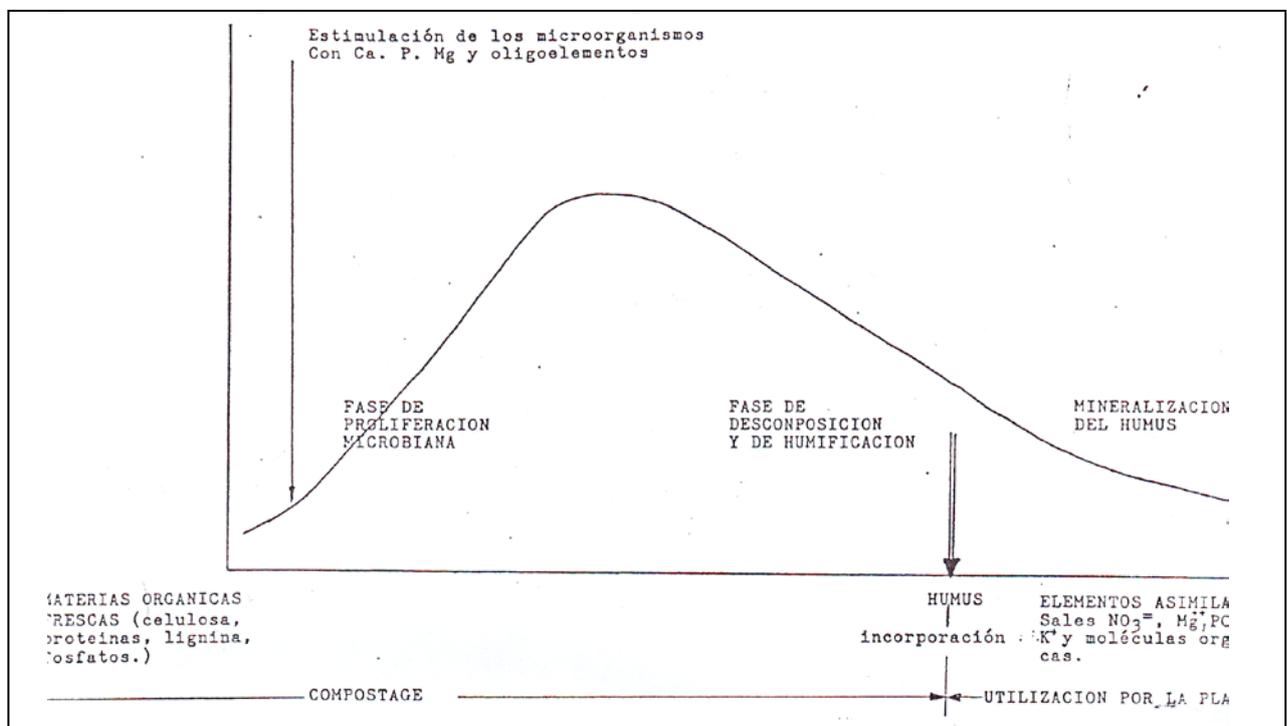
- la zona central o núcleo de compostaje, que es la que está sujeta a los cambios térmicos más evidentes, y
- la corteza o zona cortical que es la zona que rodea al núcleo y cuyo espesor dependerá de la compactación y textura de los materiales utilizados.

Según Parra. 2004, en el proceso de compostaje existen tres fases:

- **FASE I.-** De calentamiento, la fermentación aeróbica es creciente, por lo tanto, también el calor generado que es mayor a las pérdidas de calor al ambiente.
- **FASE II.-** De equilibrio, la generación de calor por fermentación aeróbica es igual a las pérdidas de calor al ambiente.
- **FASE III.-** De enfriamiento, los microorganismos pierden actividad biológica por falta de sustrato y la fermentación es menor, por lo que el calor generado es menor a las pérdidas de calor al ambiente.

La figura 2, nos muestra el gráfico presentado por Clavero (s/f) referente a las etapas del compostaje. Este contiene dos etapas principales:

- Fase de proliferación microbiana
- Fase de descomposición y de humificación.



**Figura 2. Representación fases del compostaje.**

Fuente: Clavero, A. (España, s/f)

Utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo, se pueden diferenciar las siguientes etapas (Sztern, 2004):

Etapa de latencia: es la etapa inicial, considerada desde la conformación de la pila hasta que se constatan incrementos de temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial. Esta etapa, es notoria cuando el material ingresa fresco al compostaje. Si el material tiene ya un tiempo de acopio puede pasar inadvertida. La duración de esta etapa es muy variable, dependiendo de numerosos factores.

Etapa mesotérmica 1 (10-40°C): en esta etapa, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en concomitancia con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica). Mientras se mantienen las condiciones de aerobiosis actúan *Euactinomicetos* (aerobios estrictos), de importancia por su capacidad de producir antibióticos. Se dan también procesos de nitrificación y oxidación de compuestos reducidos de Azufre, Fósforo, etc. La participación de hongos se da al inicio de esta etapa y al final del proceso, en áreas muy específicas de los camellones de compostaje. La etapa mesotérmica es particularmente sensible al binomio óptimo humedad-aireación.

La actividad metabólica incrementa paulatinamente la temperatura. La falta de disipación del calor produce un incremento aún mayor y favorece el desarrollo de la microflora termófila que se encuentra en estado latente en los residuos. La duración de esta etapa es variable, depende también de numerosos factores. (Sztern, 2004).

Etapa termogénica (40-75°C): la microflora mesófila es sustituida por la termófila debido a la acción de Bacilos y Actinomicetos termófilos, entre los que también se establecen relaciones del tipo simbióticas. Normalmente en esta etapa, se eliminan todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas y elementos biológicos indeseables. Si la compactación y ventilación son adecuadas, se producen visibles emanaciones de vapor de agua. El CO<sub>2</sub> se produce en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza. Este gas, juega un papel fundamental en el control de larvas de insectos. La corteza y más en aquellos materiales ricos en proteínas, es una zona donde se produce la puesta de insectos. La concentración de CO<sub>2</sub> alcanzada resulta letal para las larvas.

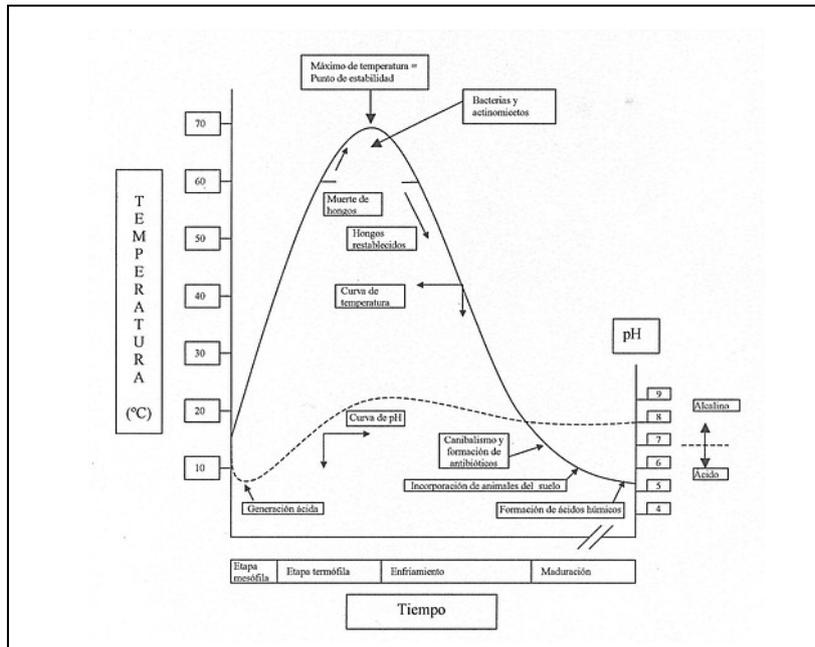
Conforme el ambiente se hace totalmente anaerobio, los grupos termófilos intervinientes, entran en fase de muerte. Como esta etapa es de gran interés para la higienización del material, es conveniente su prolongación hasta el agotamiento de nutrientes. (Sztern, 2004).

Etapa mesotérmica 2: con el agotamiento de los nutrientes, y la desaparición de los termófilos, comienza el descenso de la temperatura. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán como nutrientes los materiales más resistentes a la biodegradación, tales como la celulosa y lignina restante en las parvas.

Esta etapa se la conoce generalmente como etapa de maduración. Su duración depende de numerosos factores. La temperatura descenderá paulatinamente hasta presentarse en valores muy cercanos a la temperatura ambiente. En estos momentos se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso.

Las etapas mencionadas, no se cumplen en la totalidad de la masa en compostaje, es necesario, remover las pilas de material en proceso, de forma tal que el material que se presenta en la corteza, pase a formar parte del núcleo. Estas remociones y reconfiguraciones de las pilas se realizan en momentos puntuales del proceso, y permiten además airear el material, lo que provoca que la secuencia de etapas descrita se presenta por lo general más de una vez.

La figura 3 nos enseña una representación de los rangos de temperatura de un compost con relación a su actividad microbiana.



**Figura 3. Representación temperatura vs tiempo con relación a su actividad microbiana.**

Fuente: Manual para técnicas de compostaje, s/f)

Desde el punto de vista microbiológico la finalización del proceso de compostaje se tipifica por la ausencia de actividad metabólica. Las poblaciones microbianas se presentan en fase de muerte por agotamiento de nutrientes. Con frecuencia la muerte celular no va acompañada de lisis. La biomasa puede permanecer constante por un cierto período aún cuando la gran mayoría de la población se haya hecho no viable. (Sztern, 2004).

Los restos de origen biógeno presentan una composición que se caracteriza por el predominio de macromoléculas orgánicas con un alto potencial energético almacenado como energía química de enlace. Si artificialmente degradamos estas macromoléculas rompiendo estos enlaces, es posible liberar la energía química de enlace.

A los recursos de origen biógeno como fuente de energía se le denomina Biomasa, definiendo a esta con fines energéticos como la masa de material biológico que es soporte de dicha energía. (Sztern, s/f).

Cals Coelho, 1984, establece dos categorías de biomasa como fuentes energéticas: *Fuentes Primarias* y *Fuentes Secundarias*.

*Fuentes Primarias:* Es aquella biomasa cuya utilidad es la producción energética y que no constituye residuo de alguna actividad agroindustrial o utilización humana.

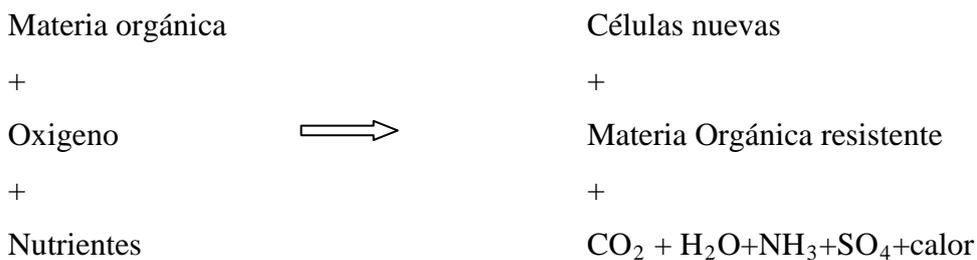
*Fuentes secundarias:* Biomasa que siendo subproducto de una primera utilización, es susceptible de ser sometida a una conversión energética adecuada.

La extracción de la energía de enlace químico contenida en la biomasa se puede realizar por diversos procedimientos técnicos. Stout (1980), clasifica estos procedimientos en dos grandes grupos: *procedimientos por vía seca y por vía húmeda.*

Procedimientos por vía seca: Procesos físico-químicos basados en la transformación de los materiales a altas temperaturas: combustión directa, carbonización, pirolisis, gasificación.

Procedimientos por vía húmeda: Procesos bioquímicos en el medio acuoso mediados por microorganismos. En este grupo se destacan la biodigestión anaerobia y la fermentación alcohólica.

La transformación aeróbica de desechos sólidos que describe Franco, M, en el 2003 es la siguiente:



Las bacterias aeróbicas son más benéficas para el suelo que las anaeróbicas, cumplen funciones muy importantes como mantener en equilibrio dinámico los ciclos naturales de diferentes elementos. (Franco, 2003).

Parra (2004) indica que durante el compostaje, los microorganismos consumen oxígeno mientras la materia orgánica es degradada con ayuda de las enzimas que ellos mismos

producen, considerable calor y grandes cantidades de dióxido de carbono y vapor de agua son liberados al aire y nuevos microorganismos se desarrollan.

Una comunidad de microorganismos se desarrolla en la capa de agua circundante en la superficie de las partículas de residuos orgánicos. Los microorganismos usan el oxígeno disponible en la superficie de las partículas, dejando el interior de las partículas esencialmente sin cambios. Las partículas encogen y se descomponen según los microorganismos avanzan hacia el interior. (Parra, 2004).

Parra (2004) dice que puesto que la liberación de calor está directamente relacionada a la actividad microbiológica, la temperatura es un buen indicador del proceso. Durante los días iniciales de compostaje los compuestos degradables de la materia prima son metabolizados. Algunas veces, la temperatura puede elevarse más de 60 °C, esta alta temperatura mata a los microorganismos patógenos y semillas de mala hierba, pero también muchos microorganismos empiezan a morir o se hacen más inactivos. Esto significa que menos calor se producirá y como consecuencia la pila se enfría de nuevo después de unos días, la población de microorganismos termofílicos se recupera, y finalmente también la población mesofílica.

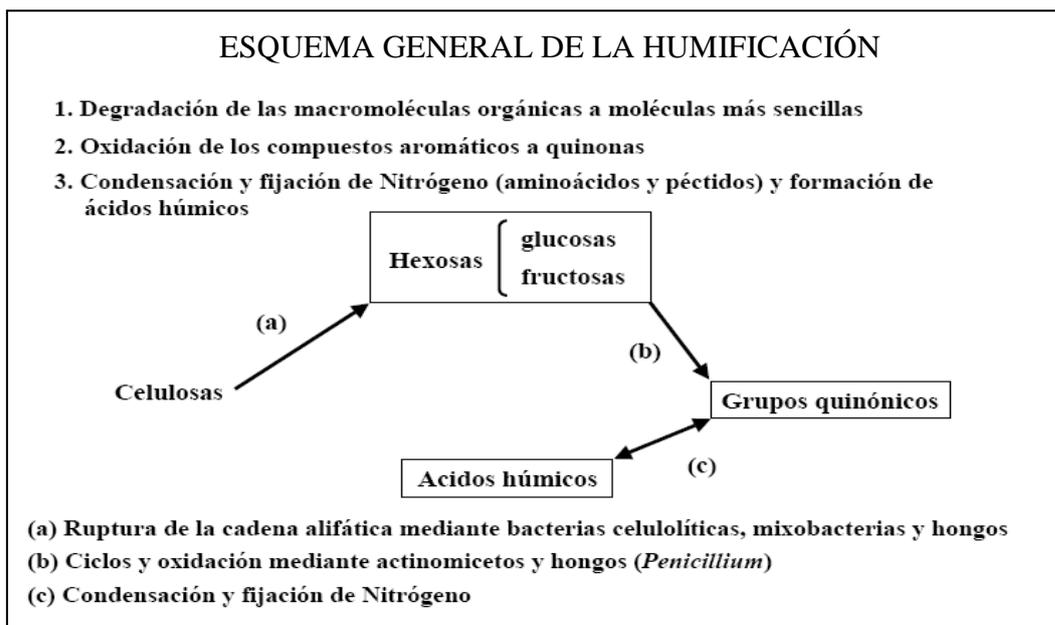
La mayoría del carbono sirve como fuente de energía para los microorganismos, el cual es "quemado" y "respirado" como dióxido de carbono. Así el carbono orgánico puede servir como fuente de energía y de carbono celular, por lo tanto los requerimientos de carbono son mayores que los de nitrógeno. (Franco, 2003).

Cuando una materia orgánica se oxida por microorganismos, una porción de la energía liberada es capturada y usada para la síntesis de nueva materia celular. Cuando los microorganismos mueren el material celular se convierte en alimento para otros microorganismos y tiene lugar una nueva transformación en dióxido de carbono, agua y nueva materia celular. Este proceso se va repitiendo hasta que la porción de materia orgánica remanente es muy resistente al ataque microbiano. (Franco, 2003).

A medida que avanza el proceso de compostación los compuestos orgánicos más fácilmente biodegradables van oxidándose y gradualmente van siendo reemplazados por materiales húmicos cada vez menos biodegradables (fig 4, 5 y 6).

La figura 6 muestra que las sustancias húmicas son sustancias muy carbonadas y oxidadas, destacando la presencia de grupos ácidos carboxílicos y fenólicos. La pequeña proporción de N, P y S que contienen la molécula húmica posee un gran interés agronómico; casi el 50 por ciento del nitrógeno húmico se encuentra como nitrógeno en forma amoniacal o proteínico, pero existe más del 50 por ciento que no es hidrolizable . (Gallardo, 2004).

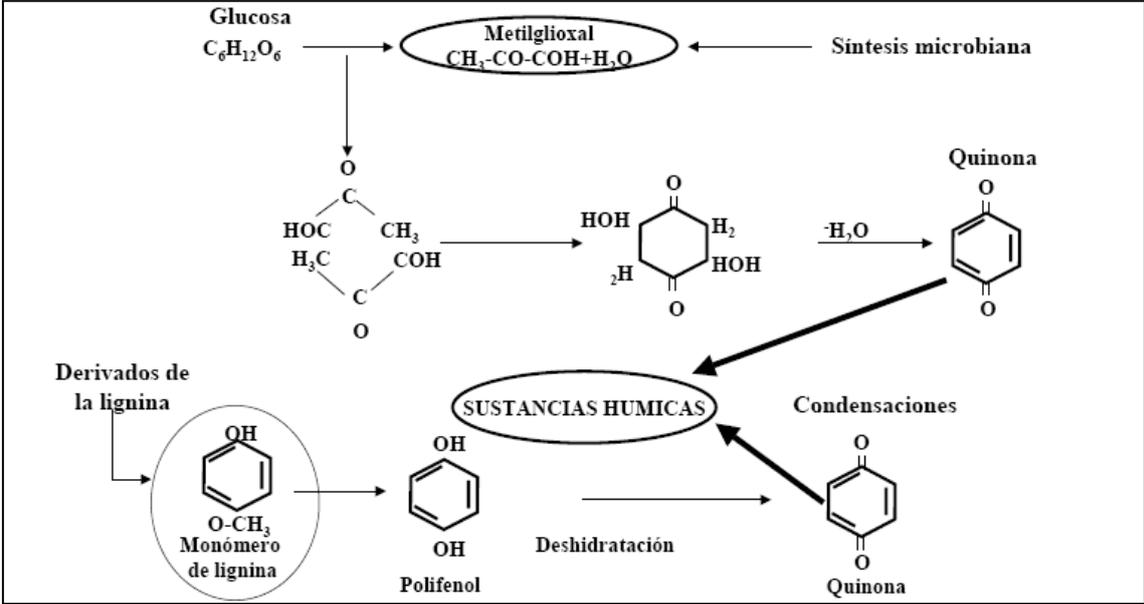
Los compuestos más estables que quedan después del compostaje son todavía degradables, pero a una velocidad mucho más pequeña comparada con la velocidad de degradación inicial. Por esta razón algunos autores huyen de los términos ‘estabilización de la materia orgánica’ y ‘materia orgánica estabilizada’, y prefieren emplear las palabras ‘descomposición’ o ‘degradación’; el producto final no es una materia orgánica totalmente estabilizada, sino un material análogo al ‘humus’ del suelo, capaz de seguir evolucionando y, en esa evolución, suministrar nutrientes al sistema suelo-planta. (Franco, 2003).



**Figura 4. Esquema de la humificación**

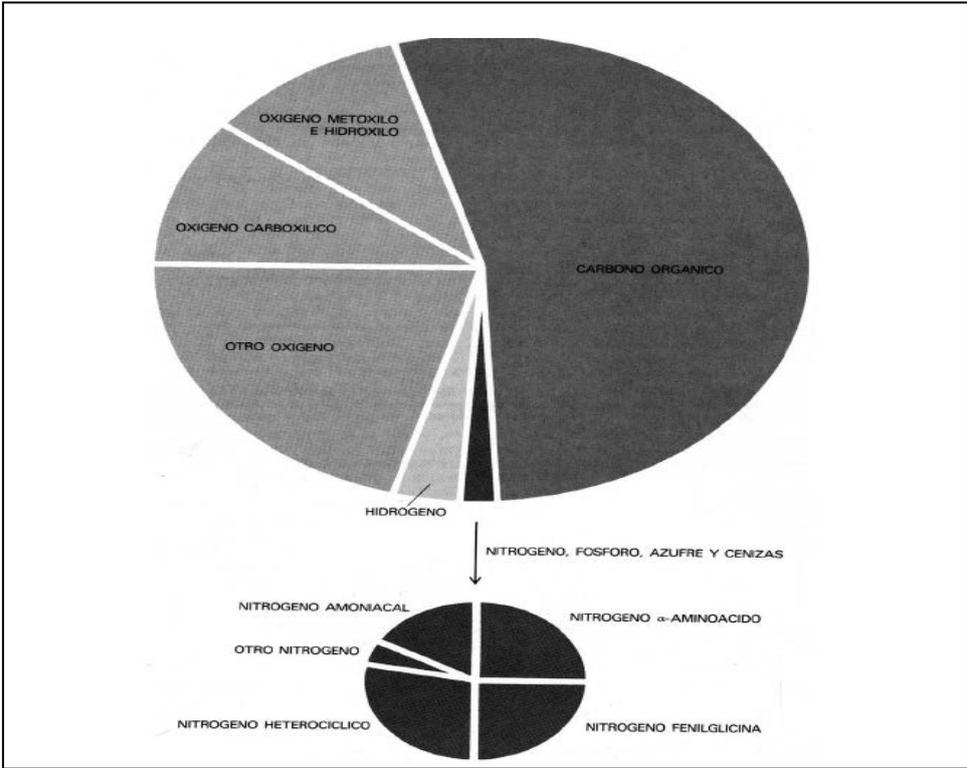
Fuente: II Curso: La materia orgánica y sus repercusiones ambientales, 2004

## TRANSFORMACIÓN DE RESTOS VEGETALES



**Figura 5. Trasformación de restos vegetales**

Fuente: II Curso: Materia Orgánica y sus repercusiones ambientales, 2004



**Fig. 6. Composición de sustancias húmicas**

Fuente: II Curso: Materia Orgánica y sus repercusiones ambientales, 2004

Parra en el año 2004 describe que en el proceso de compostaje, la cantidad de humus se aumenta, el compost retiene la mayoría de los nutrientes proporcionados por las materias primas y los guarda en los compuestos orgánicos estables. Esto reduce la disponibilidad inmediata de nutrientes a las plantas y permite liberarlos a una velocidad más gradual.

Menciona además que el periodo de maduración normalmente sigue a la fase del compostaje activo, aquí los materiales continúan compostándose, pero a un ritmo mucho más lento, por lo que la velocidad de consumo de oxígeno disminuye. Después del periodo de compostaje activo, la mayoría del nitrógeno disponible del compost está en la forma de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Muchas plantas pueden ser dañadas por cantidades concentradas de amonio. La transformación de amonio a nitrato ( $\text{NO}_3$ ) sólo tienen lugar a temperaturas bajas o con materia orgánica bien descompuesta.

El proceso del compostaje no se detiene a un punto particular, los materiales continúan descomponiéndose hasta que se agote los restos de energía de los compuestos orgánicos e inorgánicos; sin embargo, el compost se pone relativamente estable y aprovechable antes de este punto. Un compost inmaduro continúa consumiendo oxígeno después de la aplicación al terreno y de ese modo reduce la disponibilidad de oxígeno en la tierra de la planta. (Parra, 2004).

Además, el compost inmaduro puede contener también niveles altos de ácidos orgánicos o tener una alta relación de C/N, esto podría producir una competencia con la raíz de la planta por el nitrógeno disponible en la tierra, o sea, el compost inmaduro puede dañar cultivos y plantas. El compost se acepta como estable por características tales como relación C/N, demanda de oxígeno, temperatura y olor.

Parra señala que cuando el compostaje ha concluido, la mezcla de compuestos se pone más uniforme y pequeñas o ningún rastro de los materiales orgánicos originales se encuentran. El material se vuelve castaño oscuro a negro y las partículas se reducen en tamaño y se ponen consistentes y parecen tierra con textura.

El compostaje es más rápido cuando se establecen y mantienen condiciones de operación que fomentan el crecimiento de microorganismos.

### 2.5.1. Degradación de celulosa

La materia orgánica es una fuente de carbono y energía para los microorganismos, particularmente para los heterótrofos. Puede servir para dos propósitos:

- Suministrar energía para el crecimiento
- Aportar carbono para la formación de nuevo material celular

La celulosa, la hemicelulosa y la lignina son los constituyentes más importantes de las plantas, por ello es importante conocer el proceso de su degradación.

Franco, (2003) se refiere a la celulosa como el material carbonado más abundante en los vegetales. Su importancia radica en la formación y estructura de las plantas, y junto con la hemicelulosa y la lignina, se encargan de dar forma y rigidez a la pared vegetal.

Coyne (2000) indica que se trata del constituyente más abundante de los residuos vegetales y conforma un tercio de la biomasa de la vegetación. La celulosa es probablemente el compuesto más abundante de la Tierra.

La celulosa hace parte de la pared celular de las plantas, y además está en la materia orgánica del suelo. (Franco, 2003).

Los componentes de las pared celular de las plantas imponen a los microorganismos unas barreras físicas como los son los polisacáridos. Unas regiones cristalinas relativamente inaccesibles y estables como la celulosa y la quitina y piden la degradación. La lignina ralentiza la descomposición principalmente mediante la protección física. (Coyne, 2000).

Franco, 2003 indica la velocidad en que es metabolizada la celulosa está mediada por influencias del medio ambiente y características físicas y químicas que posee el suelo. Como el nivel de nitrógeno, temperatura, oxigenación, mezcla, pH, presencia de otros carbohidratos y la relativa proporción de lignina en la planta.

Coyne en el 2000 menciona que los hongos filamentosos son importantes en la descomposición, en parte porque penetran las barreras físicas. Cuanto mayor es la

polimerización y la rigidez de los bloques de construcción de carbono, más lenta resulta la descomposición. El agua es necesaria para la hidrólisis así como para aumentar el área disponible para de degradación enzimática.

La mayor parte del material vegetal contiene mezclas de diversos polímeros como la celulosa, la hemicelulosa, las pectinas y la lignina. Su descomposición requiere la acción combinada de muchos microorganismos, ninguno de los cuales tiene todas las enzimas necesarias para descomponer por completo el material vegetal. En los tejidos vegetales la descomposición es por lo general, iniciada por los hongos y completada por las bacterias y los actinomicetes. (Coyne, 2000).

El metabolismo puede dar lugar a la mineralización (conversión de un compuesto orgánico de carbono para obtener compuestos inorgánicos como el  $\text{CO}_2$ , y la liberación de otros nutrientes inorgánicos como el  $\text{NH}_4^+$ , el  $\text{PO}_4^{3-}$  y el  $\text{SO}_4^{2-}$  que los compuestos de carbono orgánico contienen. El metabolismo también genera productos biológicamente activos o inactivos y la incorporación de materia orgánica. (Coyne, 2000).

#### **2.5.1.1. La celulosa y su descomposición**

La descomposición de la celulosa es lenta, en relación a los otros compuestos de carbono. Si bien existen muchos microorganismos que descomponen la celulosa, pocos descomponen la lignina que la acompaña. Tanto las bacteria aeróbica como *Pseudomonas* y *Cromo bacteria* como las anaeróbicas, tales como *Clostridium* descomponen la celulosa. (Coyne, 2000).

La descomposición de la celulosa también se produce a nivel de los actinomicetes como es *Sterptomyces*. Entre los hongos capaces de degradar celulosa están *Trichoderma*, *Chaetomium* y *Penicilium*. (Coyne, 2000).

La descomposición de la celulosa tiene lugar a través de las enzimas extracelulares llamadas celulasas. La célula microbiana es impermeable a la celulosa puesto que ésta última es una molécula tan grande que son las enzimas extracelulares las que comienzan el proceso de descomposición. (Coyne, 2000).

Franco (2003) señala que el sistema catalítico requerido por un microorganismo para convertir celulosa a un carbohidrato simple consta de tres tipos de enzimas:

- a. Una enzima que actúa a nivel del carbono 1.
- b. Gluconasa beta (1-4) o algunas veces llamadas CX.
- c. Beta glucosidasa

El rompimiento del polímero requiere de la acción conjunta de éstas tres enzimas catalíticas.

La descomposición de la celulosa presenta dos etapas distintas (Coyne, 2000):

- En la primera se rompen los enlaces cruzados entre los polímeros de la celulosa.
- En la segunda tiene lugar la despolimerización de la celulosa y los polímeros de la celulosa son hidrolizados por enzimas tales como la celobiasa, para liberar celobiosa y glucosa.

### **2.5.2. Descomposición de la lignina**

Las ligninas suelen incrustarse en la celulosa y en la hemicelulosa, aumentando su resistencia a la descomposición. La descomposición de la lignina es realizada principalmente por hongos. Las especies de hongos blancos y marrones son fundamentalmente basidiomicetos. (Coyne, 2000).

Cabe destacar como hongos marrones a *Poria* y *Gloephyllum*. Estos hongos degradan los polisacáridos asociados con la lignina y eliminan los grupos metilo CH<sub>3</sub> y metoxilo OCH<sub>3</sub>. Este oxida el grupo fenol, el cuál adquiere un tono marrón, de donde procede el nombre de la especie. (Coyne, 2000).

Hongos blancos como *Chaetomium* y *Preussia* son importantes en ambientes húmedos pero no anaeróbios. La descomposición anaeróbica de la lignina no ha sido confirmada aún. (Coyne, 2000)

La descomposición de la lignina forma parte del metabolismo secundario. Las enzimas que descomponen la lignina se conocen como ligninasas. Desafortunadamente no se conocen sus características en profundidad. (Coyne, 2000).

El metabolismo de la lignina es un mecanismo activado por la escasez de nitrógeno, azufre o carbono. Los hongos blancos también se inhiben frente a concentraciones elevadas de nitrógeno. (Coyne, 2000).

## **2.6. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DESCOMPOSICIÓN**

### **2.1.1. Temperatura :**

Durante el proceso de compostaje la temperatura varía dependiendo de la actividad metabólica de los microorganismos. De acuerdo a este parámetro, el proceso de compostaje se puede dividir en cuatro etapas: mesófila, termófila, enfriamiento y maduración. (Castro, 2004).

El rango mesofílico varía entre 10 y 43 °C, mientras que el rango termófilo está entre 55 y 70°C. (Coyne, 2000),

El Manual agropecuario del 2002 menciona que los microorganismos desbaratan la arquitectura química del material a degradar, fragmentándolo en sus moléculas que pueden ser absorbidos por los microorganismos.

Con éstas moléculas, cada uno va fabricando sus propios carbohidratos, aminoácidos, proteínas, lípidos, vitaminas, cofactores y ácidos orgánicos, característicos de la especie. De ésta forma gran parte de los materiales incorporados a la pila de compost pasan a ser parte de las células de los organismos que lo degradan.

Inicialmente, los residuos se encuentran a temperatura ambiente, enseguida los microorganismos crecen y la temperatura sube considerablemente, a los pocos días se alcanzan los 40° C (fase mesófila), la temperatura sigue subiendo hasta alcanzar valores comprendidos entre 55-70° C (fase termófila), la mayor parte de los microorganismos

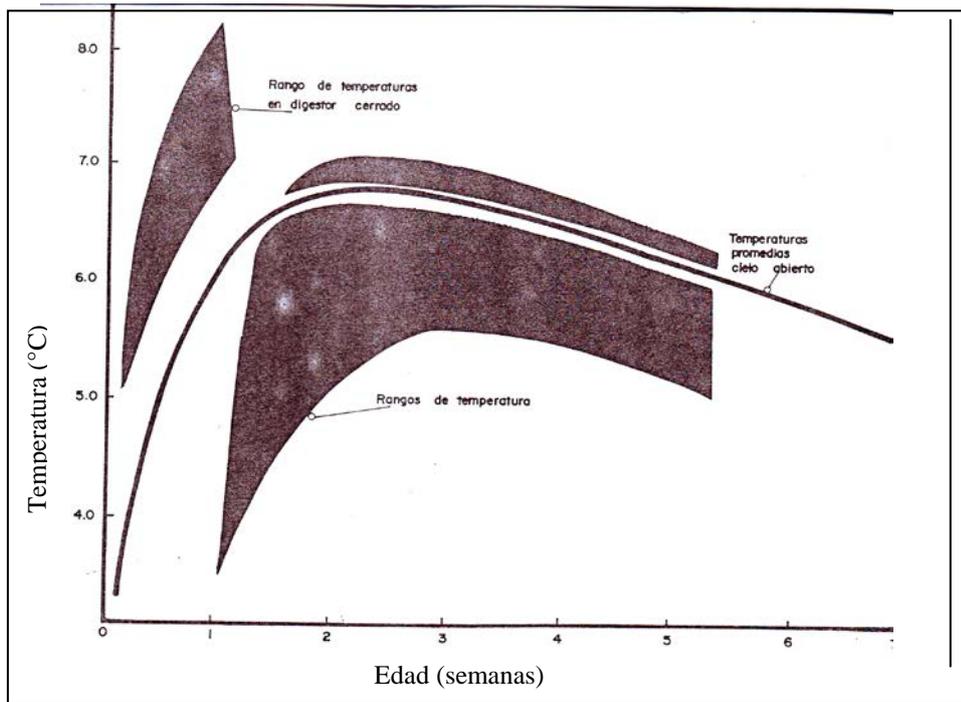
iniciales mueren y son reemplazados por otros resistentes a esa temperatura. (Castro, 2004).

A partir de los 60° C, los hongos termófilos cesan su actividad y la reacción se lleva a cabo por las bacterias formadoras de esporas y actinomicetos. En esta fase la generación de calor se iguala a la velocidad de pérdida de calor en la superficie de las pilas, esto marca el final de la fase termófila. Por último, se produce una nueva fase mesófila o de enfriamiento y una fase final de maduración en la que la temperatura se iguala a la del medio ambiente. (Castro, 2004).

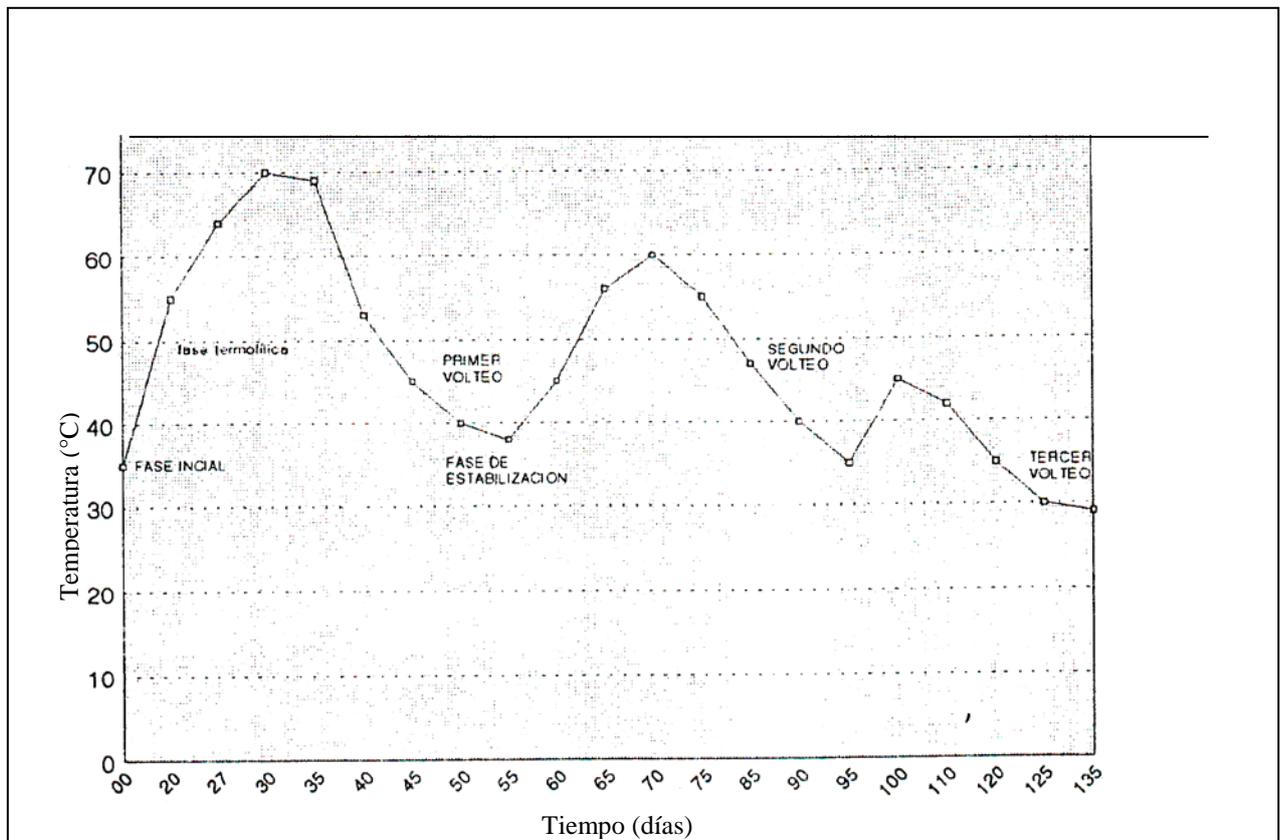
La temperatura se debe controlar, ya que, por una parte, las temperaturas bajas suponen una lenta transformación de los residuos, prolongándose los tiempos de retención, y, sin embargo, las temperaturas elevadas determinan la destrucción de la mayor parte de los microorganismos (pasteurización), fenómeno que sólo debe permitirse al final del compostaje, para asegurar la eliminación de patógenos. (Castro, 2004).

Cuanto más caliente el compost, más rápida su transformación, puesto que la actividad microbiana puede doblarse o triplicarse por cada aumento de temperatura de 10°C. (Coyne, 2000).

Se utilizan dos métodos para mantener las temperaturas óptimas, son el riego y la aireación, de las cuales se hablará más adelante. Las figuras 7 y 8 representan los rangos de temperatura que muestra el proceso de compostaje.



**Figura 7. Representación gráfica de temperatura según la edad en semanas.**  
 Fuente: Gutierrez, M. (Colombia, 1991).



**Figura 8. Etapas del proceso de compostaje**  
 Fuente: Suquilanda, M. (Ecuador, 1995).

### **2.6.2. Oxigenación y humedad**

La oxigenación influye en la composición de la carga activa, encontrando bacterias aerobias y anaerobias favorecidas por el decrecimiento parcial de la presión de oxígeno. En los procesos energéticos de anaerobiosis el índice de metabolismo de la celulosa es menor en comparación con los hábitats aerobios. (Franco, 2003).

Koepf, (1998) asegura que si son adecuadas las condiciones de humedad, el tamaño de partículas y tamaño del montón no habrá necesidad de volteos para oxigenar, o en todo caso bastará con una vez.

En cuanto a humedad, Koepf menciona que una humedad elevada mantiene baja temperatura, si un montón baja del 50% de humedad, se calentará mucho y aparece una capa de moho gris.

Indica además, que los montones muy húmedos con actividad lenta producirá olores desagradables y se debe voltear colocando la parte exterior al centro. La descomposición mejorará si se pone en el centro y en la parte longitudinal material grueso.

Velásquez, (1996), por su parte sugiere que el volteo es pasar las capas de abajo a la parte superior, y, cuando hayan pasado 45 a 60 días voltear otra vez.

Radickel, (1996), señala que el contenido de agua para la madurez del compost es de 65 a 70% , la madurez empieza a detenerse con humedad del 30% porque la actividad microbiana es restringida, y se agota cerca del 15%..

Radickel aporta con la técnica para control de contenido a agua, llamado “la técnica del puño”, consiste en prensar un puñado de materia y se observa si sale agua, si no es así y el puñado de desmenuza, debe incorporarse agua; por el contrario si el agua corre entre los dedos, existe demasiada agua, y si solo se escure pocas gotas y el puñado mantener mas o menos su forma.

### **2.6.3. pH :**

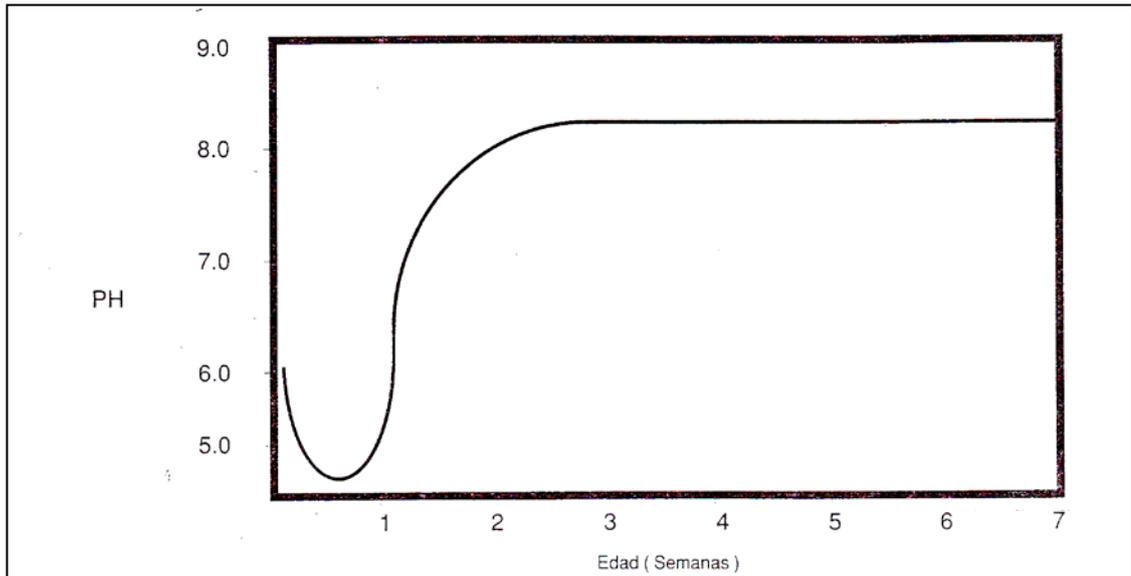
En ambientes de pH neutros o alcalinos, muchos microorganismos son capaces de crecer y liberar las enzimas apropiadas para la hidrólisis del polisacárido. En condiciones ácidas la degradación de la celulosa esta mediada por hongos filamentosos. (Franco, 2003)

Coyne, 2000 asevera que el valor óptimo es neutro, para la mayor parte de los microorganismos y ligeramente alcalino para los actinomicetes, importantes para la fabricación de compost. Esto se traduce en un rango situado entre 5.5 y 8.5. Si bien hay que evitar niveles de pH extremos, un pH de 6.5 a 7.2 es ideal,

La figura 9 nos muestra el perfil de pH que presenta el proceso de compostaje.

El pH inicial del material comportado es entre 5 y 7. Luego desciende hasta un valor de 5 o menos los primeros dos o tres días de compostación y después empieza a aumentar de nuevo hasta alcanzar valores cercanos a 8.5, manteniéndose constante mientras persistan las condiciones aeróbicas. Si el comportado se torna anaeróbico, el pH desciende hasta 4.5. (Gutierrez, 1991).

Aunque el pH no es un parámetro usual para el control del proceso, un operador puede llegar a conocer la tendencia que éste sigue y estar alerta para cualquier cambio extraño. (Gutierrez, 1991)



**Figura 9. Perfil de pH**

Fuente: Gutierrez, M. (Colombia, 1991).

#### **2.6.4. Microorganismos Aerobios implicados**

Los microorganismos celulolíticos están comúnmente en el suelo agrícola y en los tejidos de las plantas. La diversidad de los microorganismos permite la transformación de hábitats con poco oxígeno a pH ácido o alcalino. (Franco, 2003).

Las bacterias que utilizan la celulosa con mesófilas, aerobias y anaerobias, bacterias termófilas, hongos filamentosos y actinomicetos. Muchos de éstos microorganismos se han estudiado en cultivos puros, existiendo una dificultad para compararlos con las poblaciones in vivo, por la intensa competición microbiológica por los nutrientes y los cambios secuenciales de la microcarga con el tiempo. (Franco, 2003).

#### **2.6.5. Relación Carbono Nitrógeno**

La relación C/N, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. El Carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorecerá un buen crecimiento y reproducción. (Sztern, 2004).

Foth, (1992), dice que la relación carbono nitrógeno es un indicador de las posibilidades de escasez de nitrógeno y posible competencia por el nitrógeno disponible.

Suquilanda (1995) dice que la relación C/N es solo una referencia para predecir la facilidad de descomposición del material orgánico, pero no es el único factor, pues la velocidad de descomposición de los residuos vegetales guarda relación directa con la cantidad incorporada y una relación inversa con sus contenidos de lignina y polifenoles.

Señala además que cuanto más elevada la relación carbono nitrógeno de los residuos vegetales, más tiempo tardará en biotransformarse. Esto sucede cuando su valor es mayor a 33, cuando se encuentra en un rango entre 17 y 23 hay un equilibrio adecuado en la producción de humus y de nitrógeno, y cuando es menor a 17 hay una descomposición más rápida y buen establecimiento de nitrógeno.

En la tabla 1 se pueden ver algunos ejemplos de relaciones carbono nitrógeno según el material.

**Tabla 1. Valores de relación C/N de diferentes materiales. Tomados de varios autores.**

<b>Material</b>	<b>Relación C/N</b>
Alfalfa de 3 años	8 – 28
Basura de cocina	11 – 12
Césped cortado	12 – 20
...Continuación Tabla 1.	
Hojas de yuca	12
Maíz (caña)	18 . 36
Maíz (raíces y hojas de mazorca)	14 – 23
Matas de leguminosas	15
Papa (tallos y hojas)	14 – 28
Serrín de madera	50
Tabaco (tallos)	14 – 25
Trigo (paja)	14 – 28

Elaborado por: Sánchez, C. (Ecuador, 2006)

Monroy (1900) afirma que si se tienen materiales con bajo contenido de nitrógeno, como son las pajas o desechos de madera, es posible producir mezclas fermentables al añadir materiales con alto contenido de nitrógeno como lo son desechos de animales.

Se debe procurar al no obtener mezclas con alto contenido de nitrógeno, es decir bajo valor de relación C/N, ya que en la fermentación si no se producen las mezclas se pierde una cantidad considerable de nitrógeno como amoníaco. Esto es favorecido durante el composteo termofílico a causa del pH ligeramente básico y de las temperaturas altas. (Monroy, 1990)

Clavero (s/f) asevera que el carbono presente en las materias lignificadas es imprescindible para la formación de humus que procede directamente de la celulosa y lignina, sin embargo, una alta cantidad alta de carbono debido a su dificultad en fermentar, va a bloquear la transformación. El nitrógeno es el nutriente necesario para los microorganismos, si su presencia es escasa el compost evoluciona muy lentamente y el producto final es muy pobre; pero si su presencia es en exceso ocasiona una aceleración y pérdida del mismo en forma de amoníaco.

Koepf, (1998) menciona que demasiado poco nitrógeno frena la descomposición y resulta en un abono pobre, mientras que mas nitrógeno que el necesario provoca la pérdida del montón y generará malos olores, debido a la formación excesiva de amoníaco.

Para suplir al deficiencia de nitrógeno en los materiales iniciales se puede acudir a los restos orgánicos industriales: harina de sangre, de huesos, semillas de algodón, guano, etc. (Clavero, s/f).

Durante el proceso de descomposición el 65% del carbono se libera como CO<sub>2</sub> y el 35% resultante es utilizado por los microorganismos en la síntesis de sus propios tejidos y del humus. (Suquilanda, 1995)

Coyne (2000) asegura que las relaciones C/N elevadas pueden ocasionar inmovilización del nitrógeno pero en vista de que el compost puede utilizarse como mezcla apta para horticultura, la inmovilización del nitrógeno en un compost es un buen medio para mantenerlo disponible para sus usos posteriores.

Un buen diagnóstico del mal funcionamiento de la biomasa y de inadecuada calidad de la materia orgánica sugerido por una elevada relación C/N, suele quedar confirmado con otros indicios como un pH excesivamente alto o bajo, fenómenos de asfixia causados por una deficiente estructura o por inundaciones temporales, conductividad muy baja (síntoma de una mineralización y nitrificación nefastas). (López y López, 1978).

El cuadro 1 nos indica una escala de interpretación de la relación C/N

**Cuadro 1. Interpretación de la relación C/N**

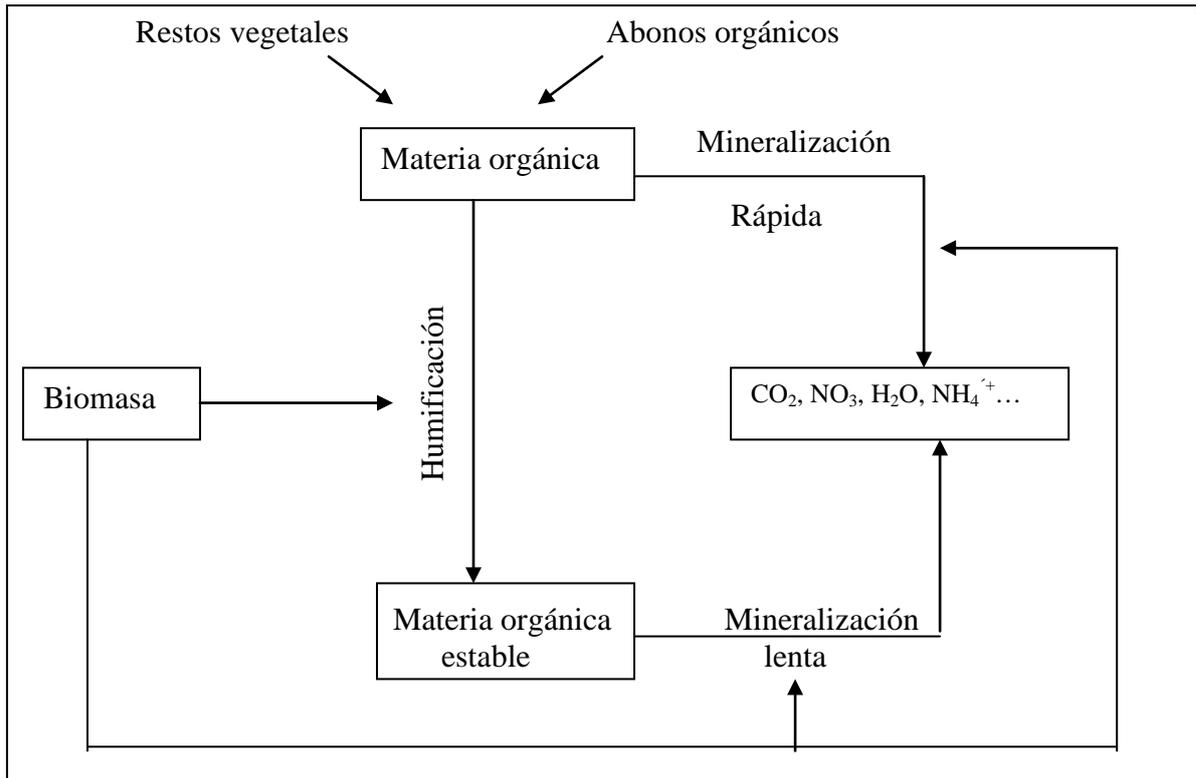
Relación C/N	Calificativo
10	Correcta
10 – 12	Ligeramente alta
12 – 15	Alta
> 15	Muy alta

Fuente: Quémener 1985 y Guigou et al, 1989

#### **2.6.6.1. La materia orgánica y la relación carbono – nitrógeno.**

La materia orgánica que proviene de residuos de cosechas, pasa por estados intermedios de corta duración y conduce a la formación de dos tipos de sustancias; unas constituidas por moléculas simples como CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, etc. Y otras integradas por moléculas orgánicas muy complejas y heterogéneas denominadas sustancias húmicas., también denominada materia orgánica estable. (Saña et al, 1996)

En la figura 10 se aprecia dos procesos importantes en la biotransformación de la materia orgánica.



**Figura 10. Dinámica de la materia orgánica**

Fuente: Saña et al, (España, 1996)

La mineralización se puede describir mediante la siguiente ecuación química:



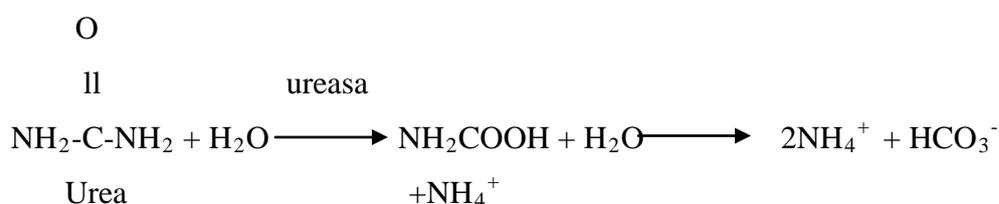
Se constata además, que el proceso es aeróbico. La mineralización es un proceso eminentemente biológico y gracias a él la biomasa consigue la energía necesaria para su ciclo vital. (Saña, 1996).

Coyne en el 2000 define dos términos muy importantes:

La mineralización de la materia orgánica, tanto fresca como humificada, es la descomposición de compuestos orgánicos de nitrógeno para liberar nitrógeno inorgánico que quedan en formas asimilables.

La amonificación es otro término utilizado para éste proceso puesto que el producto inmediato es el amoniaco que rápidamente se convierte en amonio. La descomposición es un término que suele asociarse a la mineralización.

La mineralización de la urea se representa a continuación



Coyne (2000) afirma que una vez que se produce amonio este tiene diferentes destinos, puede ligar el complejo de intercambio de cationes en el que se encuentra disponible, también puede ser utilizado por bacterias autotróficas como fuente de energía. Es también una buena fuente de nitrógeno para una buena parte de microorganismos.

Saña (1996) dice que la materia orgánica humificada aporta  $\text{H}^+$  ya que su estructura molecular contiene grupos ácidos, carboxílicos ( $-\text{COOH}$ ) y fenólicos ( $-\text{C}_6\text{H}_4\text{-OH}$ ), así mismo la nitrificación del ión  $\text{NH}_4^+$  que se genera con la mineralización de la materia orgánica produce también iones  $\text{H}^+$  ácidos. Este factor acidificante permite la solubilidad y asimilabilidad de diferentes elementos nutritivos.

La relación C/N nos indica si las sustancias humicas son el material hegemónico o no dentro de la materia orgánica y por lo tanto puede considerarse un índice de calidad de ésta. (Saña, 1996)

## 2.7. VENTAJAS DEL COMPOST.

Claver, s/f, expone algunas de las propiedades del compost:

- Favorece la aparición de una estructura granulosa favorable al desarrollo de las raíces y a la proliferación de los microorganismos.
- Estabiliza la estructura, contra los peligros de la erosión gracias a la acción fijadora del humus y de los delgados filamentos de los microorganismos.

- Mejora la capacidad de retención del agua del suelo, especialmente interesante en suelos arenosos.
- Significa un aporte evidente de nutrientes por la planta, aporte escalonado a su medida que se produce la mineralización y los microorganismos lo ponen a disposición de la planta.
- La ligera acidez que producen en el suelo el proceso final de fermentación, ayuda a solubilizar y poner a disposición de la planta los minerales poco solubles como fósforo y hierro.
- Los coloides húmicos aumentan la capacidad total de intercambio.
- Estimula la actividad biológica del suelo, movilizandolos suelos muertos, suelos que contienen un humus excesivamente fijado a la arcilla.
- El humus del compost contiene activadores de crecimiento y tienen una acción directa sobre la fisiología de la planta, favoreciendo la calidad de las cosechas y los mecanismos de resistencia frente a enfermedades y parásitos.

Coyne, 2002, menciona que el compost desempeña las mismas funciones que el acondicionador del suelo. El objeto de agrega acondicionadores de suelo es complementar los procesos naturales de la formación de agregados potenciando los factores que favorecen ésta formación. La estrategia consiste en mejorar la fuerza d los agregados del suelo. (Coyne, 2000).

### **2.7.1. Funciones de la materia orgánica en el suelo**

Contribuye en la capacidad de intercambio catiónico y aniónico. La materia orgánica determina la retención, la liberación y la disponibilidad de nutrientes de las plantas. Así, libera nitrógeno, fósforo y azufre inmovilizados durante la descomposición. La materia orgánica es el almacén mas importante de nutrientes para las plantas. Por otra parte, liga las sustancias químicas con los pesticidas, los cuales afectan a su actividad biológica y su actividad. (Coyne, 2000).

La materia orgánica mejora la percolación del agua en el suelo y la retención de la misma por éste. Además está implicada en la formación y mantenimiento de una estructura

deseable del suelo. Cuanto mayor la cantidad de materia orgánica presente, mejor la calidad de suelo. (Coyne, 2000).

La materia orgánica participa en el movimiento de los metales firmemente fijados y normalmente insolubles, conjuntamente con los componentes hidrosolubles de la materia orgánica del suelo. (Coyne, 2000).

Los extractos de compost ejercen un control biológico de patógenos, a través de su acción sobre la filósfera (superficie foliar y microorganismos asociados). (Patiño, 2000).

## **CAPITULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

. Ubicación geográfica (FinaFlor, 2006)

Provincia: Pichincha  
Cantón: Quito  
Parroquia: Conocoto  
Sitio: Miranda  
Latitud: 0° 23' 0'' S  
Longitud: 78° 33' 0'' O  
Altura: 2500 m.s.n.m.

- Características climáticas

Precipitación anual:	1600 mm
Temperatura promedio anual:	14.5 °C
Humedad Relativa promedio anual:	80%
Nubosidad relativa:	5.7%

#### **3.2. MATERIALES UTILIZADOS.**

Los materiales utilizados en el experimento son:

- Residuos vegetales.

Corresponde a todo el material excedente de la post-cosecha de la finca FinaFlor.

- Otros materiales para la labor de campo

- Picadora.

- Urea.
- Agua.
- Termómetro de suelo.
- Plástico (para cubrir de precipitación).
- Instrumentos de labranza (rastrillos y palas).
- Libreta de Campo.
- Rótulos de madera.
- Estacas de madera.
- Piola.

### 3.3. MÉTODOS

#### 3.3.1. Diseño experimental.

- Tipo de diseño.

Diseño DBCA (Diseño de bloques completos al azar). Consiste en asignar tratamientos aleatoriamente a un grupo de unidades experimentales denominado repetición. Cada tratamiento es asignado el mismo número de veces dentro de una repetición, usualmente una vez. (Figura 11)

I	II	III	IV
D	A	C	C
A	D	D	B
B	C	B	D
C	B	A	A

**Figura 11. Diseño de Bloques completos al azar.**

Fuente: Little y Hills (1989)

- Número de repeticiones.

El número de repeticiones son de tres por tratamiento.

- Número de tratamientos.

El número de tratamientos son cuatro

- Número total de unidades experimentales

El número total es doce.

- Características de las pilas.

- Área total: 39.6 m<sup>2</sup> (9 m x 4.4 m)
- Área de la repetición: 3.6 m<sup>2</sup> (2.4 m x 0.8 m)
- Área neta del ensayo: 14.4 m<sup>2</sup> (1.5 m x 0.8 m x 12)
- Área de la pila: 1.2 m<sup>2</sup> (1.5 m x 0.8 m)
- Área neta de la pila: 0.78 m<sup>2</sup> (1.3 m x 0.6 m)
- Distancias entre pilas: 1 m aproximadamente entre pilas
- Efecto de borde: 10 cm a cada lado de la pila
- Dimensiones por pila: 0.8 m de ancho por 1.5 m de largo por 1.5 m de altura.

### 3.3.2. Tratamientos.

t0 = sin adición de urea

t1 = urea (300 g)

t2 = urea (350 g)

t3 = urea (400 g)

Al no existir recordaciones publicadas de la dosificación de úrea en compostaje de residuos de producción florícola, se tomó de referencia estudios de compostaje en Europa, en países como Holanda y Alemania donde utilizan 1 Kg de Nitrógeno por 1.5 m<sup>3</sup> de material a compostar.

Haciendo el cálculo de 1 Kg de urea (contiene 46% de Nitrógeno) y si la cantidad por tratamiento fue 1.2 m<sup>3</sup>, resulta un valor de 368 g de urea necesaria para compostar el material. Se tomo valores cercanos a éste dato y resultó el cuadro 2.

**Cuadro 2. Tratamientos a implementar en campo.**

<b>ENSAYOS</b>	<b>NUTRIENTE 1</b>
to (Testigo )	0 g UREA
t1	300 g UREA
t2	350 g UREA
t3	400 g UREA

Elaborado por: Sánchez, C. (Miranda, 2006).

### **3.4. METODOLOGÍA.**

#### **3.4.1. Ubicación del área de trabajo:**

El área de compostaje se ubicó en una pendiente de aproximadamente 15% con suficiente luz, desprovista de árboles y con material fresco cercano.

#### **3.4.2. Picar el material vegetal a un tamaño de 8 cm aproximadamente.**

Se pico el material a la longitud deseada con una picadora agrícola utilizada para ensilaje,

Elaborar las pilas de las dimensiones definidas de la siguiente manera. (Sánchez, C. 2006)

1. Colocar 30 cm de altura de residuo vegetal picado
  2. Colocar 1/8 parte de la cantidad de urea especificada para cada tratamiento.
- Repetir los tres anteriores pasos hasta completar una altura total de pila de 1.0 m, la mitad de la cantidad de urea.

### 3.4.3. Variables y mantenimiento

Cada una de las pilas fué regada con agua diariamente y volteada dos veces por semana, así como también la toma de la variable temperatura se la realizó semanalmente.

Cada semana se tomó una muestra de cada tratamiento y trasladada a un laboratorio reconocido para sus respectivos análisis

### 3.4.4. Protocolo de muestreo.

1. Preparar etiquetas de identificación con los siguientes datos (Figura 11):  
Fecha de muestreo  
Contenido de la muestra,  
Nombre de propietario del ensayo  
Denominación de la muestra (Ubicarla en la parte derecha de la etiqueta).  
Detalle de análisis requerido. (Ubicado en la parte inferior de la etiqueta)

Fecha: 5/V/06	
Contenido: COMPOST	
Nombre: Cynthia Sánchez	
Análisis completo físico.-químico + Relación C/N	

**Figura 11. Representación de etiqueta de identificación de muestra**

Fuente; Sánchez, C. (Miranda, 2006)

2. Tomar 200 g de la pila de compostaje evitando los 10 cm superiores e inferiores y bordes para evitar atipicidad de información. Y colocar en la respectiva funda etiquetada.
3. Pegar una etiqueta con la respectiva identificación de acuerdo al tratamiento a muestrear en una funda de plástico o papel, Deben tener el mismo tamaño para todos los tratamientos.
4. Dejar abierta la boca de la funda y transportarla al laboratorio lo más pronto posible. De preferencia dentro de las 72 horas de la toma de la muestra.

Es recomendable colocar la muestra a temperatura ambiente hasta que llegue a su destino, el laboratorio. Posterior a esto se realizarán los exámenes adecuados.

Si no fuese posible llegar en el tiempo establecido preservar la muestra a temperatura ambiente o en refrigerador hasta entrega al laboratorio.

### **3.4.5. Análisis de información,**

Todos los datos serán analizados con análisis de significancia ADEVA por medio del programa MSTATC5 y las variables que revelen significancia estadística serán sujetos a la prueba de TUKEY al 5% para hallar los rangos de significancia.

#### **3.4.5.1. Análisis de varianza: ADEVA**

Litle y Hills en 1989 describe acerca del análisis de varianza para un diseño de bloques completos al azar de la siguiente manera:

En el análisis de varianza de un diseño completamente al azar se presenta por lo general fuentes de variación las cuales son: Tratamientos, Repeticiones, Total y Error Experimental.

Los grados de libertad son el número de observaciones restado uno para cada una de las fuentes de variación, por ejemplo si tenemos 4 tratamientos el grado de libertad es 3. La determinación del error experimental se consigue de la multiplicación de grados de libertad de tratamientos por grados de libertad de Repeticiones.

Se requiere la determinación de un término de corrección para cálculos posteriores.

Para ello se utiliza la fórmula:

$$C = \frac{(\sum X)^2}{rn}$$

Donde r es el número de repeticiones y n es el número de tratamientos.

Se procede entonces a calcular las sumas de cuadrados para repeticiones y tratamientos, mediante la fórmula:

Para Repeticiones: 
$$SC_{repeticiones} = \frac{\sum(T)^2}{n} - C$$

Para Tratamientos: 
$$SC_{tratamientos} = \frac{\sum(T)^2}{n} - C$$

Para Total: 
$$SC = \sum(X)^2 - C$$

Para Error: 
$$SC_{Error} = SC - SC_{tratamientos} - SC_{repeticiones}$$

El mismo procedimiento se sigue para obtener cuadrados medios, existe una fórmula para cada fuente de variación.

Para Repeticiones: 
$$CM_{repeticiones} = \frac{SC_{repeticiones}}{gl_{repeticiones}}$$

Para Tratamientos: 
$$CM_{tratamientos} = \frac{SC_{tratamientos}}{gl_{tratamientos}}$$

Para Error: 
$$CM_{Error} = \frac{SC_{Error}}{gl_{Error}}$$

Una vez obtenidos todos los datos necesarios se construye una tabla para ordenarlos y obtener resultados de él.

La Tabla 2 Nos da el ejemplo del Análisis de Varianza ADEVA, utilizando el programa MSTATC 5.

**Tabla 2. Ejemplo de Análisis de Varianza utilizando ADEVA**

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Fuentes De Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios
Total	11	151.37	
Repeticiones	2	0.28	0.138 <sup>NS</sup>
Tratamientos	3	150.71	50.235 <sup>**</sup>
Error	6	0.39	0.064

-----  
 Coeficiente of Variación= 0.83%  
 -----

NS: No significativos

\* : Significativos

\*\* : Alta significativos

Como se puede observar en la tabla 2 se obtuvieron los resultados de grados de libertas, suma de cuadrados y cuadrados medios de cada una de las fuentes de variación, el ejemplo nos indica que utilizando cuadrados medios se determina si la fuente es alta, mediana o no significativa.

Si la probabilidad de variación es mayor a 5% o menos, se dice que son significativamente diferentes o medianamente significativas y si la probabilidad es de 1% o menos se dice que las diferencias son altamente significativas.

Según el diccionario de la real academia de la Lengua española significativo es que tiene importancia por representar o significar algo.

Cuando se dice que los tratamientos son significativos o significativamente diferentes figura que las probabilidades de obtener diferencias del tratamiento es 5%.

Para facilitar el análisis de varianza cuando se toman datos en función del tiempo, se construye una sola tabla que resume los resultados. Un ejemplo está representado en la tabla 3.

**Tabla 3. Ejemplo construcción de tabla resumen ADEVAS**

F de V	G. L	CUADRADOS MEDIOS							
		14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
Total	11								
Repeticiones	2	0,007 NS	2,774 NS	0,019 NS	0,153 NS	0,017 NS	0,168 NS	0,031 NS	0,265 NS
Tratamientos	3	4,833 **	26,529 * 26,529 *	85,397 **	1,527 *	0,328 NS	2,88 **	1,148 **	7,52 **
Error Exper.	6	0.029	3.55	0.009	0.217	0.194	0.063	0.046	0.184
Coeficiente de Variación %		0.44	4.6	0.23	2.18	2.04	1.24	0.96	1.95

NS: no significativo

\* : Significativo

\*\* : Altamente significativo

La tabla 3 nos muestra entonces, que no hay significancia (NS) entre repeticiones, es decir que pueden darse diferencias entre las medias pero no son trascendentales.

En cambio, entre tratamientos si hay diferencias altamente significativas, en los días 14, 42, 84, 98 y 112 días, la probabilidad de ocurrencia es menor o igual a 1%, mientras que los días 27 y 56 días se presenta diferencias significativas, o significativamente diferentes lo que indica la probabilidad de ocurrencia menor o igual a 5%, existe además, no significancia a los 69 días lo que nos indica que no hay diferencias relevantes a ese tiempo.

El coeficiente de variación nos indica que tan confiables son los datos, si realmente se reporta el valor de acuerdo a la influencia de la variable analizada, si éste pasa el 20% es debido a que la cifra reportada es dependiente no solo de la variable aplicada sino de algún otro factor que se debe determinar con un análisis de las condiciones del ensayo en esa

fecha. Por el contrario si este es menor a 20% los datos son confiables y si existe relación con la variable aplicada.

Si la igualdad de medias se ha rechazado y se cree la existencia de diferencias ya sea entre tratamientos o repeticiones en un diseño de bloques completos al azar, es necesario llevar a cabo algún análisis de comparación múltiple entre medias para estimar las diferencias entre ellas.

Una de esas pruebas es la de Tukey la cual, separa las medias obtenidas por el ADEVA y las clasifica en rangos de significancia.

Los resultados expulsados por Tukey se representan en la tabla 4.

**Tabla 4. Representación resultados Tukey 5%**

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 35.50 A	Mean 1 = 35.50 A
Mean 2 = 28.20 C	Mean 4 = 32.01 B
Mean 3 = 26.30 D	Mean 2 = 28.20 C
Mean 4 = 32.01 B	Mean 3 = 26.30 D

Donde Mean es la media de tratamientos, y la columna izquierda simboliza las medias y su rango de significancia, mientras que la columna derecha es la representación de la columna derecha ordenada.

Esto nos revela cual de los tratamientos es el mas adecuado dependiendo de las necesidades pre-fijadas, donde A es el mejor, B es bueno, C es regular y D no es adecuado.

Al igual que los resultados del ADEVA para facilidad de análisis de datos es bueno realizar un cuadro resumen para determinar mediante conteo de cada rango de significancia el mejor de los tratamientos de acuerdo a la persistencia del rango deseado en el tiempo experimental escogido. (Tabla 5)

Tabla 5. RESUMEN DE PROMEDIOS Y TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE TEMPERATURA

Tratamientos	Promedios y Rangos de significancia							
	14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
1	40,35 A	41,42 AB	46,49 A	20,23 B	22,00 A	20,20 B	22,50 B	21,00 B
2	38,29 B	43,87 A	41,65 B	21,80 A	21,60 A	19,10 C	22,08 B	21,48 B
3	37,3 C	41,80 AB	33,6 D	21,50 AB	21,50 A	21,23 A	23,40 A	24,30 A
4	38,51 B	36,82 B	39,65 C	21,80 A	21,20 A	20,30 B	22,10 B	21,01 B

La tabla 5 indica que a los 14, 42 y 69 días el mejor tratamiento es el 1, a los 27, 56 y 69 días es el tratamiento 2, a los 69, 84, 98 y 112 días el mejor es el tratamiento 3 y a los 56 y 69 días es el tratamiento 4.

En un principio el mejor tratamiento de acuerdo a la persistencia del rango de significancia A es el tratamiento 3, sin embargo el tratamiento 2 tiene un rango de significancia B a los 14, 42, 98 y 112 días y rango de significancia A a los 27, 56 y 69 por lo que estaría en un segundo lugar de utilidad, un tercer lugar estaría ocupado por el tratamiento 1 porque los rangos de significancia A y B se encuentran repartidos en las 8 observaciones y por último el tratamiento 4 que tiene rangos de significancia C y B en su mayoría.

Este análisis para conocer el mejor de los tratamientos es subjetivo, depende mucho de la interpretación del investigador y de las necesidades de uso del resultado de los tratamientos.

### 3.4.6. Variables a medir.

Las variables analizadas para la generación de resultados y conclusiones fueron:

- Relación C /N

Se considera importante puesto que el carbono es una importante fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno como fuente proteica.

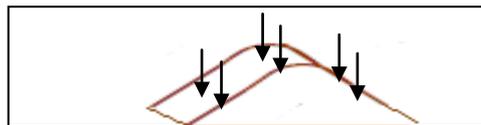
Una relación adecuada entre carbono y nitrógeno favorecerá un buen crecimiento y reproducción de microorganismos.

Si es alta los residuos vegetales tardarán más tiempo en biotrasformarse. Esto sucede cuando su valor es mayor a 33, cuando se encuentra en un rango entre 17 y 23 hay un equilibrio adecuado en la producción de humus y de nitrógeno, y cuando es menor a 17 hay una descomposición más rápida y buen establecimiento de nitrógeno.

Es una de las variables que fueron analizadas por el análisis de varianza ADEVA y si los resultados revelan significancia estadística se aplicará la prueba de Tukey para hallar los rangos de significancia.

- Temperatura.

Su medición se realizó con termómetro de suelo cada cinco días en campo. Los datos obtenidos fueron registrados y serán analizados posteriormente. Para la toma de datos de éste parámetro se utiliza un termómetro digital y se procede a medir 6 veces dividiendo la pila en seis cuadrantes imaginarios como muestra la figura 12. Siempre se buscará el centro de la pila de compostaje.



**Figura 12. Toma de temperatura.**

Elaborado por: Sánchez, C. (Miranda, 2006)

- pH

El Potencial Hidrógeno nos da la pauta de la acidez o basicidad del compost, esto está relacionado íntimamente con la presencia de sales especialmente las formadas a partir de nitrógeno y azufre.

Es un limitante para la vida microbiana, puesto que si es ácido crecerán poblaciones tolerantes a un medio ácido y por el contrario, es básico, la supervivencia de microorganismos tolerantes a medios alcalinos.

Aunque el pH no es un parámetro usual para el control del proceso, un operador puede llegar a conocer la tendencia que éste sigue y estar alerta para cualquier cambio extraño. (Gutierrez, 1991)

- Conductividad

Esta afectada directamente con el pH y la presencia de sales, la conductividad será mayor por la presencia de sales ácidas que conducen la electricidad y si éste es básico la conductividad será más baja por la presencia de conductores débiles de electricidad.

- Humedad

Se establece experimentalmente en campo mediante la técnica del puño (Sztern, 2004):

1. Tome con la mano una muestra de material.
2. Cierre la mano y apriete fuertemente el mismo.
3. Si con esta operación se verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces podemos establecer que el material contiene más de un 40% de humedad. Y la pila contiene demasiada agua y requiere dejarla hasta que se evapore el exceso de agua.
4. Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, podemos establecer que su contenido en humedad es cercano al 40%. La humedad es correcta
5. Si el material no gotea y cuando abrimos el puño de la mano permanece moldeado, estimamos que la humedad se presenta entre un 20 a 30 %. La humedad es correcta.
6. Finalmente si abrimos el puño y el material se disgrega, asumimos que el material contiene una humedad inferior al 20 % y será necesario regar la pila.

- Carbono (%)

Esta variable es necesaria para determinar la relación carbono/nitrógeno y porque según Franco (2003) la mayoría del carbono es fuente de energía para los microorganismos, el cual es "quemado" y "respirado" como dióxido de carbono. Así el carbono orgánico puede servir como fuente de energía y de carbono celular.

Clavero (s/f) asevera que el carbono presente en las materias lignificadas es imprescindible para la formación de humus que procede directamente de la celulosa y lignina, sin embargo, una alta cantidad alta de carbono debido a su dificultad en fermentar, va a bloquear la transformación.

Los valores obtenidos del porcentaje de carbono estarán sujetos a un análisis de varianza para conocer la variación de éste en los tratamientos y repeticiones.

En caso de ser necesario se aplicara pruebas de Tukey para obtener rangos de significancia que nos quien hacia el mejor tratamiento.

- Nitrógeno

Está medido en forma de nitrógeno total en porcentaje y en su forma asimilable común  $\text{NO}_3$ .

Claver, (s/f) nos dice que el nitrógeno es el nutriente necesario para los microorganismos, si su presencia es escasa el compost evoluciona muy lentamente y el producto final es muy pobre; pero si su presencia es en exceso ocasiona una aceleración y pérdida del mismo en forma de amoniaco.

Koepf, (1998) menciona que demasiado poco nitrógeno frena la descomposición y resulta en un abono pobre, mientras que mas nitrógeno que el necesario provoca la pérdida del montón y generará malos olores, debido a la formación excesiva de amoniaco.

Para conocer los niveles de éste nutriente es necesario realizar un análisis químico de una muestra de cada uno de los tratamientos.

Será analizado al igual que el carbono con el análisis de varianza ADEVA y si se presentan diferencias significativas entre tratamientos o repeticiones se llevará a cabo la prueba de Tukey.

- Materia Orgánica

Es importante conocer los niveles de materia orgánica en un compost, cuando una materia orgánica se oxida por microorganismos, una porción de la energía liberada es capturada y usada para la síntesis de nueva materia celular.

Por otro lado la materia orgánica es una fuente de carbono y energía para los microorganismos, particularmente para los heterótrofos.

Ayuda al movimiento de los metales fijados, libera nitrógeno, fósforo y azufre inmovilizados durante el proceso y está implicada en la formación y mantenimiento de una estructura deseable del suelo.

- Velocidad de reacción

Esta variable se la obtendrá con el objetivo de conocer una ecuación que nos permita conocer la concentración de una variable determinada o a su vez la rapidez de reacción una vez conocida la concentración deseada.

Para ello se utilizarán conceptos de cinética de reacciones.

### **3.4.7. Metodología para realizar análisis de nutrientes de compost.**

La muestra que llega al laboratorio, se le asigna un número, se separa un poco de muestra húmeda para por medio de pesos húmedo y seco sacar el porcentaje de humedad. El resto de la muestra se la seca al sol y luego se la muele y tamiza. (Agrobiolab, 2006).

Con ésta muestra se procede a realizar una digestión ácida en plancha caliente, usando para ello ácido nítrico y ácido perclórico. Ya digestaza la muestra se le añade ácido clorhídrico 0,25N y se la lleva a un volumen de 500 ml en matraz aforado. Se la homogeniza, con ésta muestra se procede a realizar los procesos de análisis, tanto en colorimetría, como en absorción atómica. (Agrobiolab, 2006).

Aparte de determina nitrógeno total usando el método Kjeldhal; Boro y Azufre por métodos colorimétrico, utilizando el extractante fosfato monocálcico pH en una relación 1:2,5 con agua destilada, conductividad eléctrica utilizando el conductivímetro y porcentaje de materia orgánica, de donde se obtiene el dato de carbón para sacar la relación C/N. (Agrobiolab, 2006).

Para obtener los datos en porcentaje de  $P_2O_5$ ,  $K_2O_7$ , CaO, MgO, se usan factores de conversión

Para la determinación de  $NO_3$  se usa el método colorimétrico que emplea ácido sulfosalicílico y también hidróxido de sodio. (Agrobiolab, 2006).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 4.1. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

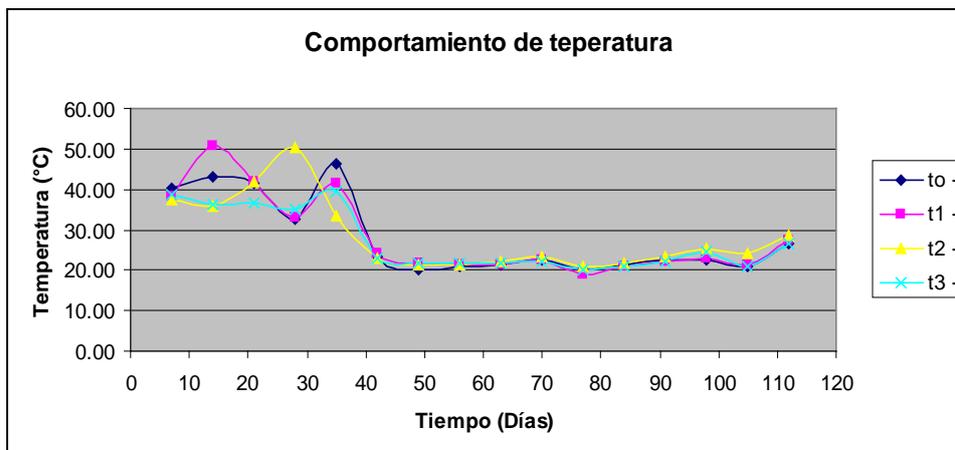
Las variaciones en el comportamiento del proceso se ven reflejadas en los resultados de laboratorio. A continuación se analiza las variables más relevantes dentro del compostaje:

##### Temperatura.

Según el cuadro 3, del análisis de varianza resultado de los datos del Anexo 1-a para apreciar la temperatura, se observa que no hay diferencia significativa entre repeticiones pero si las hay entre tratamientos, predominando la alta significancia, es decir que las dosis de urea aplicada si influye en la temperatura, esto se debe posiblemente al incremento de actividad microbiana que por procesos metabólicos desprenden energía en forma de calor, elevando la temperatura.

En gráfico 1 nos presenta el comportamiento de la temperatura a lo largo del ensayo. Todos los tratamientos presentaron temperaturas iniciales en rango mesofílico entre 10 y 40 °C lo cual coincide con lo expresado por Sztern (2004), que indica la presencia de procesos de nitrificación y oxidaciones aeróbicas al inicio del compostaje.

**Gráfico 1. Comportamiento de la variable temperatura en 112 días de ensayo.**



Se manifestó temperaturas en el límite inferior de rango termofílico (40°C – 75°C) entre los 20 y 35 días ( $t_0$  de 43.17 y 41.42,  $t_1$  de 50.70 y 41.87,  $t_2$  de 41.81 y 50.81 y mientras

que  $t_3$  no supero los 39°C a los 42 días). Posiblemente no ascendió la temperatura debido a la ubicación del área de compostaje, la cual presenta fuertes vientos, lo cual pudo influir en la disminución de temperatura de los tratamientos.

Una vez culminado el periodo experimental las temperaturas se situaron en el rango mesofílico bordeando los valores de 20 a 28°C, siendo  $t_2$  el mas alto con 28.5°C y el menor  $t_0$  con 26.4°C. Esto nos manifiesta la madurez de los tratamientos.

CUADRO 3. RESUMEN DE ADEVAS PARA LA VARIABLE TEMPERATURA

F de V	G. L.	CUADRADOS MEDIOS							
		14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
Total	11								
Repeticiones	2	0,007 NS	2,774 NS	0,019 NS	0,153 NS	0,017 NS	0,168 NS	0,031 NS	0,265 NS
Tratamientos	3	4,833 **	26,529 *	85,397 **	1,527 *	0,328 NS	2,88 **	1,148 **	7,52 **
Error Experimental	6	0.029	3.55	0.009	0.217	0.194	0.063	0.046	0.184
Coefficiente de Variación %		0.44	4.6	0.23	2.18	2.04	1.24	0.96	1.95

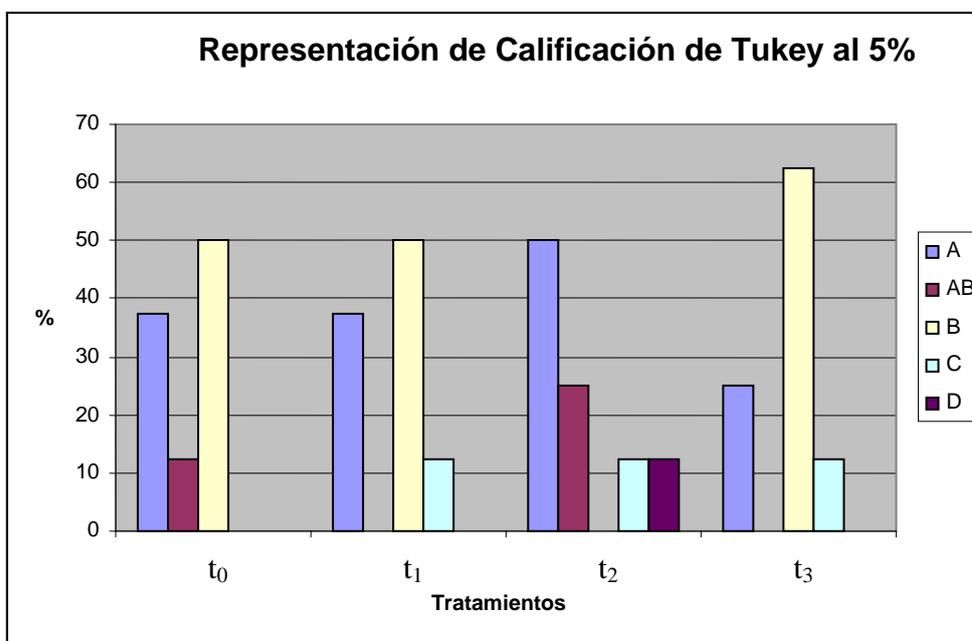
F d V : Fuentes de variación  
 G, L. : Grados de libertad  
 \* : Significancia estadística  
 \*\* : Alta significancia estadística

Según el cuadro 4 y gráfico 4 se observa que después de aplicar Tukey al 5%, las temperaturas a los 14, 42 y 62 días con los valores de 40.35, 46.49 y 21.2 °C el tratamiento con más altas temperaturas es el  $t_0$  , mientras que a los 27, 56 y 69 días las mas altas temperaturas se presentaron en el tratamiento  $t_1$  con valores iguales a 41.87, 21.8 y 22.6 °C, el tratamiento  $t_2$  presentó los valores mas altos a los 27, 56, 69, 84, 98 y 112, con temperaturas de 41.81, 21.5, 23.4, 21.8, 25.4 y 28.5 °C, mientras el tratamiento  $t_3$  presentó valores altos a los 56 y 69 días con valores de 21.8 y 22.1 °C.

CUADRO 4.- RESUMEN DE PROMEDIOS Y TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE TEMPERATURA

Tratamientos	Promedios y Rangos de significancia							
	14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
t <sub>0</sub>	40,35 A	41,42 AB	46,49 A	20,23 B	22,00 A	20,20 B	22,50 B	21,00 B
t <sub>1</sub>	38,29 B	43,87 A	41,65 B	21,80 A	21,60 A	19,10 C	22,08 B	21,48 B
t <sub>2</sub>	37,3 C	41,80 AB	33,6 D	21,50 AB	21,50 A	21,23 A	23,40 A	24,30 A
t <sub>3</sub>	38,51 B	36,82 B	39,65 C	21,80 A	21,20 A	20,30 B	22,10 B	21,01 B

El tratamiento t<sub>2</sub> con dosis de urea de 350g es el que mas persistencia de valores altos presenta, se puede observar en el gráfico 2 que obtuvo las temperaturas más altas a lo largo del proceso.



**Gráfico 2. Representación de la calificación obtenida con Tukey al 5% para la variable temperatura**

Donde A significa los mas altos valores, AB y B valores medianamente altos, C valores bajos y D valores muy bajos.

### pH

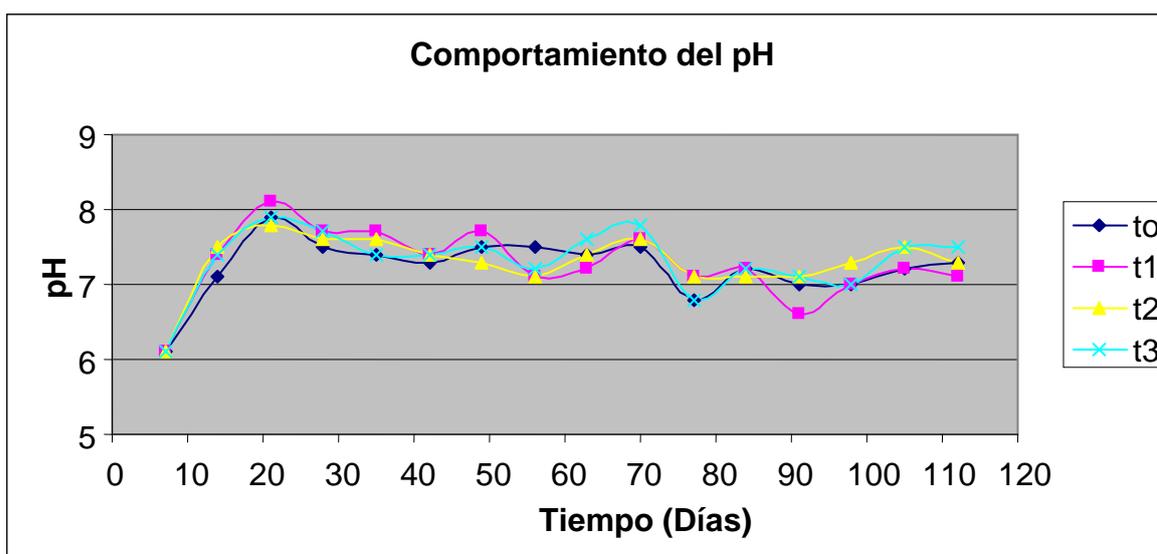
Según el gráfico 3, resultado de los datos de pH obtenidos en la parte experimental (Anexo 1-b), todos los tratamientos iniciaron con un valor de 6, lo que coincide con lo

recomendado por Coyne en el año 2000 que el valor óptimo está situado entre 5.5 y 8.5. Si bien hay que evitar niveles de pH extremos, un pH de 6.5 a 7.2 es ideal,

El incremento de pH entre los 7 y 20 días puede deberse a productos intermedios del metabolismo como la amonificación o a la lixiviación de sales. Se presenta además un descenso a partir de los 20 días quizá por la formación de sustancias orgánicas propias de la descomposición de la materia orgánica y formación de sales.

Coyne además considera un pH ideal de 6.5 a 7.2 en el producto terminado. Experimentalmente todos los tratamientos se ubicaron en éste rango (Gráfico 3), presentando  $t_0$  un valor de 7.3,  $t_1$  de 7.1,  $t_2$  de 7.3 y  $t_3$  de 7.5.

No se realizó análisis de significancia para ésta variable puesto que todos los tratamientos presentan similitud de datos como se observa en el gráfico 3.



**Gráfico 3. Representación gráfica del comportamiento del pH en 112 días de ensayo.**

Las pequeñas fluctuaciones en los valores de pH se deben quizá a la cantidad de sales generadas durante el proceso de compostaje, producto de la biotransformación de la materia orgánica sujeta a procesos de mineralización.

## **Materia orgánica.**

El gráfico 4 muestra la variación de la materia orgánica en porcentaje, obtenida de los datos del Anexo 1-c. Esta variable debe disminuir por la acción de los microorganismos. Este comportamiento no se ve en el gráfico 4 debido a que el eje Y, representado por la materia orgánica se encuentra en porcentaje (%) y no simboliza la realidad de la variación de ésta.

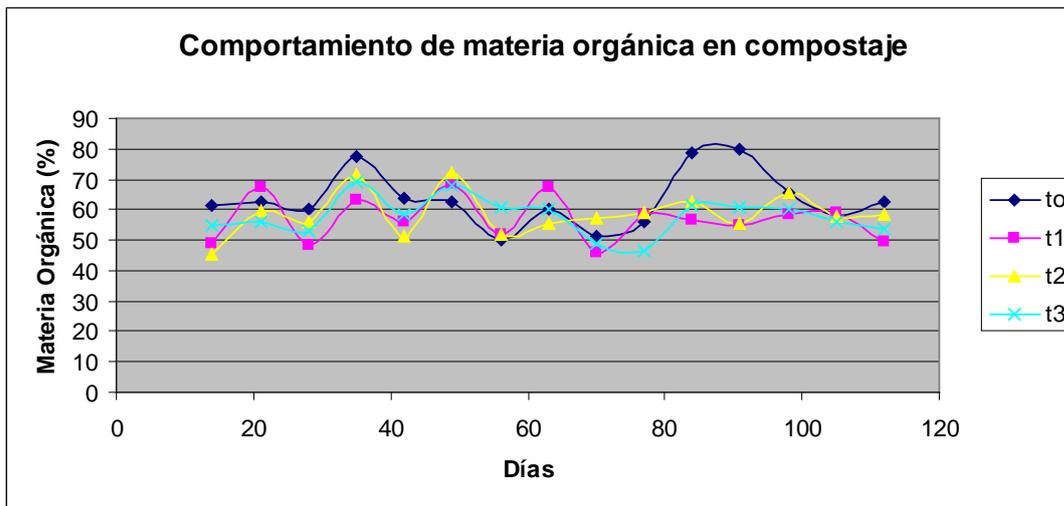
La irregularidad del porcentaje de materia orgánica reflejada en el gráfico 4 es posiblemente por factores como humedad, volteos, al muestreo.

Coyne en el año 2000 expresa que el metabolismo puede dar lugar a la mineralización pero a su vez también genera productos biológicamente activos o inactivos y la incorporación de materia orgánica. Tal vez es una explicación a incrementos y disminución del porcentaje de materia orgánica a lo largo del proceso de compostaje.

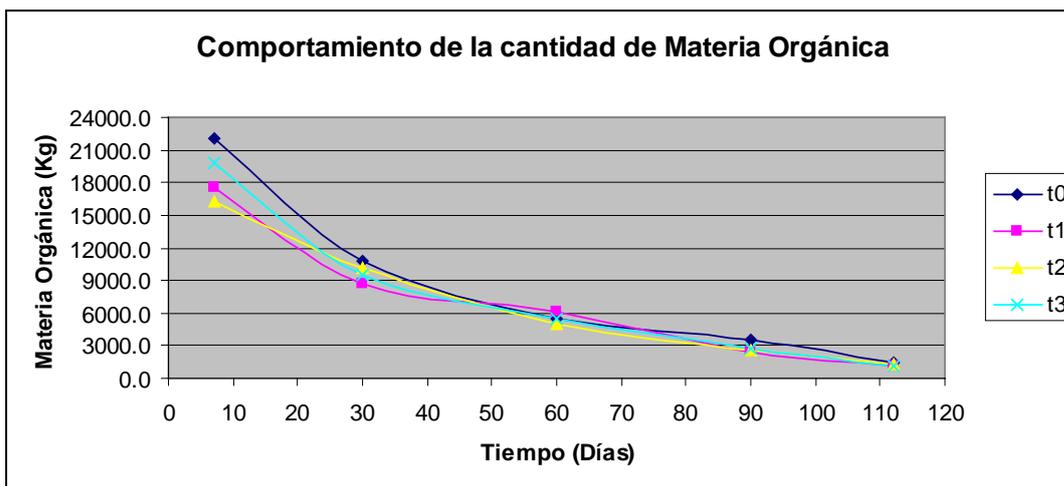
Para conocer el comportamiento aproximado de la materia orgánica en función del peso aproximado de los tratamientos y del porcentaje de materia orgánica (Gráfico 5), se toma las siguientes consideraciones teóricas que a pesar de no ser reales sirven para fines demostrativos:

1. Todos los tratamientos tienen un mismo peso.
2. La tasa de disminución de material es la misma para todos los tratamientos: 50% cada 30 días.
3. No existen pérdidas ni adición de material.
4. La Base de Cálculo es 360 Kg (Peso inicial aproximado por tratamiento).

Valiéndose de las consideraciones se obtuvo la conversión del porcentaje a kilogramos de materia orgánica.



**Gráfico 4.-** Representación gráfica del comportamiento de la materia orgánica (%) en 112 días de experimentación.



**Gráfico 5. Cantidad de Materia Orgánica en función del tiempo.**

Recordemos que, en la materia orgánica ocurren tantos cambios físico-químicos que cada ensayo se convierte en un ente individual y único completamente impredecible.

Los valores de materia orgánica al culminar la etapa experimental fueron de:

$t_0 = 62.66\%$  y  $14010\text{ Kg}$

$t_1 = 49.46\%$  y  $1113\text{ Kg}$

$t_2 = 58.26\%$  y  $1311\text{ Kg}$

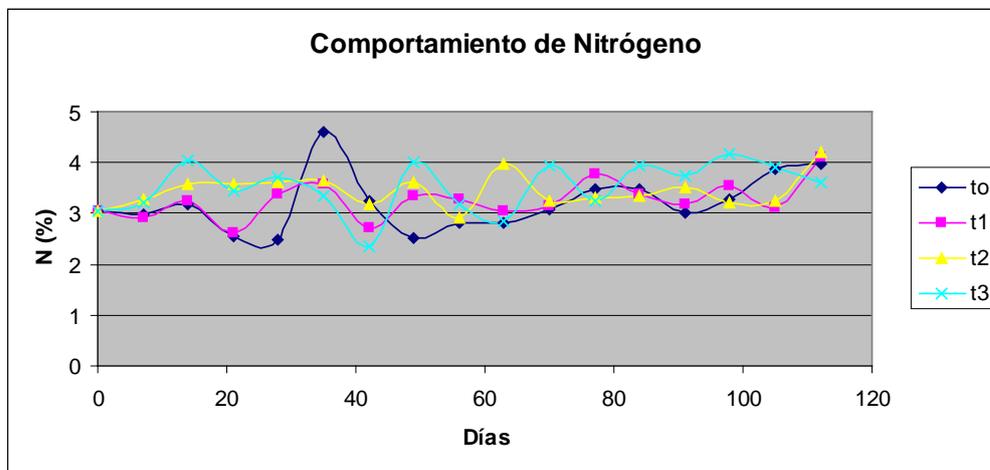
$t_3 = 53.6\%$  y  $1206\text{ Kg}$

Los niveles recomendados de porcentaje de materia orgánica no están definidos aún debido a la dependencia de los materiales utilizados para la compostación así como también influye el clima y la actividad microbiana.

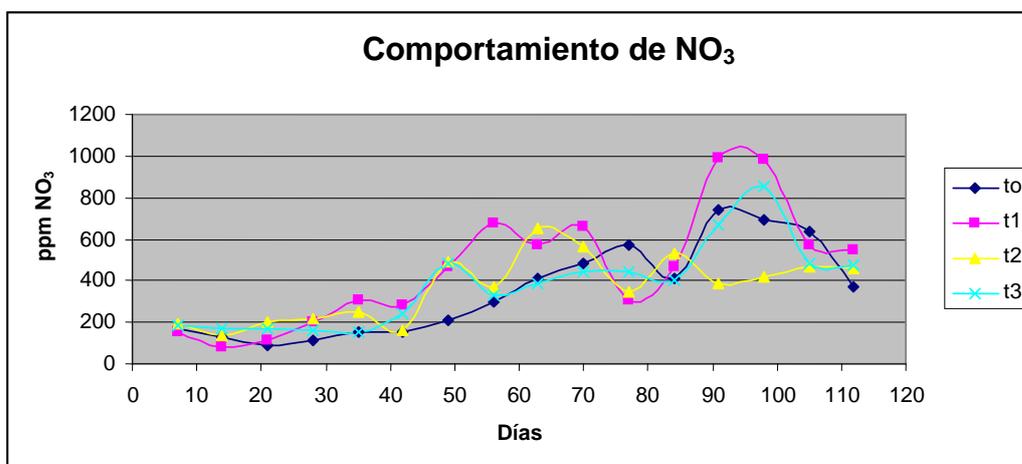
### Nitrógeno

Los reportes de laboratorio expresan el nitrógeno de dos maneras: % de Nitrógeno y  $\text{NO}_3$ .

En el gráfico 6 se muestran el comportamiento de N (%) y en el gráfico 7 la conducta de  $\text{NO}_3$  (ppm), los datos para obtenerlos se encuentran en el Anexo 1-d y 1-e. Estos demuestran una tendencia creciente.



**Gráfico 6. Representación comportamiento de N (%)**



**Gráfico 7. Representación comportamiento de  $\text{NO}_3$  (ppm)**

Coyne dice que la mineralización de la materia orgánica, tanto fresca como humificada, es la descomposición de compuestos orgánicos de nitrógeno para liberar nitrógeno inorgánico que quedan en formas asimilables, por ejemplo NO<sub>3</sub>.

Las variaciones que se presenta en los gráficos 6 y 7 se deben quizá a que la materia orgánica a ser compostada está sujeta a procesos de mineralización, nitrificación y a su vez amonificación, esto sumado a variables como humedad, aireación y forma de muestreo pueden variar los valores entre una fecha y otra.

En cuanto a los resultados obtenidos del análisis de significancia se observó que existe alta significancia entre tratamientos lo que demuestra la influencia de la dosificación de la urea y por ello se realizó la prueba de Tukey al 5% para conocer cual de los ensayos es calificado como el mejor según rangos de significancia.

El cuadro 6 nos indica los resultados de ADEVA para N (%) el cual nos revela que hay diferencias significativas entre tratamientos.

CUADRO 6.- RESUMEN DE ADEVAS PARA LA VARIABLE PORCENTAJE DE NITRÓGENO

F de V	G. L.	CUADRADOS MEDIOS							
		14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
Total	11								
Repeticiones	2	0 NS	0,046 NS	0,009 NS	0,04 NS	0,054 NS	0,064 NS	0,006 NS	0,02 NS
Tratamientos	3	0,097 **	0,84 **	0,901 **	1,158 *	0,902 **	0,166 NS	0,32 **	0,508 **
Error Exper.	6	0	0.024	0.004	0.178	0.013	0.064	0.014	0.031
Coefficiente de Variación %		0.7	5.06	1.58	12.52	3.6	7.32	3.56	4.98

F d V : Fuentes de variación  
 G, L. : Grados de libertad  
 \* : Significancia estadística  
 \*\* : Alta significancia estadística

Una vez conocida la existencia de diferencias significativas entre tratamientos, se aplica Tukey al 5% de probabilidad se obtiene el cuadro 7 que nos da la calificación obtenida.

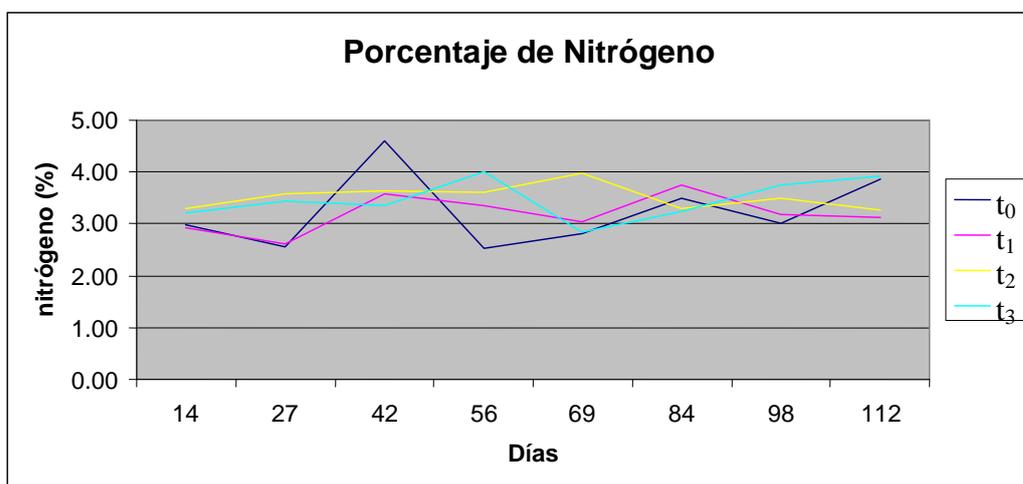
CUADRO 7 . RESUMEN DE PROMEDIOS Y TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE PORCENTAJE DE NITRÓGENO

Tratamientos	Promedios y Rangos de significancia							
	14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
t <sub>0</sub>	2.97B	2,563 B	4,593 A	2,53 B	2,81 B	3,483 A	3,023 C	3,873 A
t <sub>1</sub>	2.92B	2,62 B	3,58 B	3,34 AB	3,05 B	3,76 A	3,18 BC	3,12 B
t <sub>2</sub>	3.28B	3,573 A	3,627 B	3,603 AB	3,98 A	3,30 A	3,5 AB	3,26 B
t <sub>3</sub>	3.22B	3,43 A	3,36 C	4,00 A	2,85 B	3,24 A	3,753 A	3,917A

Donde A significa los mas altos valores, AB y B valores medianamente altos, C valores bajos.

El cuadro 7 nos dice que a los 42, 84 y 112 días el mejor tratamiento es t<sub>0</sub> con valores de 4.59, 3.47 y 3.96 (%). A los 84 días el tratamiento t<sub>1</sub> presentó el valor mas alto que fue 3.39%. A los 27, 69 y 84 días el tratamiento t<sub>2</sub> presentó los valores superiores respecto al resto de tratamientos, con valores de 3.57, 3.25 y 3.34 (%). Mientras que a los 27, 56 84 y 112 días el tratamiento t<sub>3</sub> presentó valores altos de nitrógeno de 3.43, 4, 3.93 y 3.62 (%).

Resultado de ello podemos observar en el gráfico 8 el cual nos muestra que el tratamiento t<sub>2</sub> es el que presenta más estabilidad de %N.



**Gráfico 8. Representación comportamiento de N (%) análisis ADEVA.**

En el gráfico 8 se observa que el tratamiento t<sub>2</sub> es aquel que presenta menor variación a lo largo del periodo experimental, mientras el tratamiento t<sub>0</sub> es el que mas variación presenta, los tratamientos.

En cuanto a Nitratos, al aplicar ADEVA se obtiene la existencia de diferencias entre tratamientos (Cuadro 8) y una vez aplicado Tukey 5% se revela mayor niveles de nitrógeno en forma de NO<sub>3</sub> lo largo del proceso en el tratamiento t<sub>2</sub>. (Cuadro 9, Gráfico 6).

CUADRO 8. RESUMEN DE ADEVAS PARA LA VARIABLE CONTENIDO DE NO<sub>3</sub> (ppm)

F de V	G. L	CUADRADOS MEDIOS							
		14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
Total	11								
Repeticiones	2	3,25 NS	0,00 NS	2,25 NS	1,083 NS	6,75 NS	9,00 NS	16,75 NS	37 NS
Tratamientos	3	778 **	8189,35 7 **	16868,7 5 **	54823,41 7 **	47500, 0 **	40180,7 5 **	182675,0 0 **	19400,0 0 **
Error Exper.	6	3.25	2.327	1.583	2.417	3.75	3	40.417	13
Coefficiente de Variación %		1.03	1.07	0.58	0.38	0.38	0.41	0.91	0.67

F d V : Fuentes de variación

G, L. : Grados de libertad

\* : Significancia estadística

\*\* : Alta significancia estadística

CUADRO 9. RESUMEN DE PROMEDIOS Y TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE CONTENIDO DE NO<sub>3</sub> (ppm)

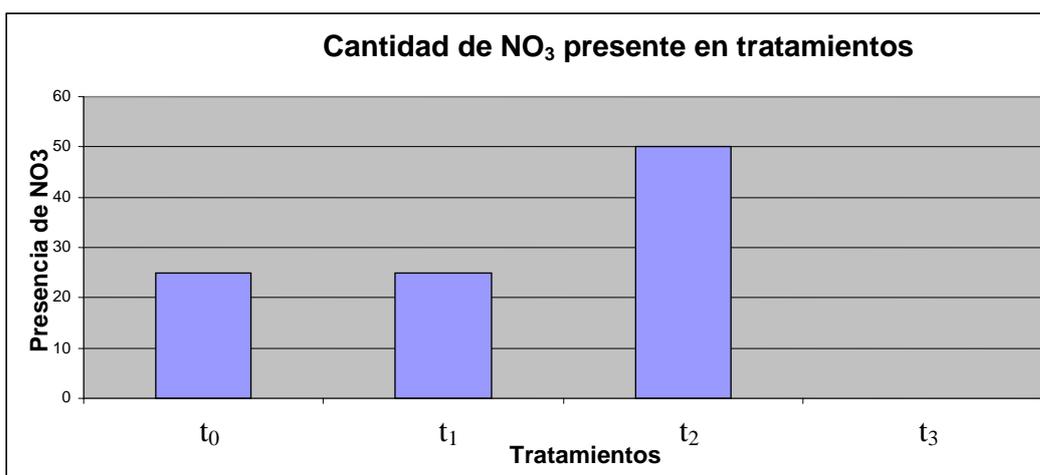
Tratamientos	Promedios y Rangos de significancia							
	14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
t <sub>0</sub>	170 C	89 D	154 C	210 D	410 C	571 A	740 B	640 A
t <sub>1</sub>	155 D	111 C	308 A	470 C	570 B	310 D	990 A	570 B
t <sub>2</sub>	192 A	204 A	247 B	489,7 A	650 A	350 C	390 D	470 C
t <sub>3</sub>	183 B	166 B	156 C	480 B	390 D	440 B	670 C	480 C

Donde A significa los mas altos valores, AB y B valores medianamente altos, C valores bajos.

El cuadro 9 nos explica que a los 84 y 112 días el tratamiento t<sub>0</sub> presento los valores mas altos de NO<sub>3</sub> que son 571 y 640 (ppm NO<sub>3</sub>) A los 42 y 98 días el mejor fue el tratamiento t<sub>1</sub> con valores de 308 y 990 (ppm NO<sub>3</sub>). A los 14, 27, 56 y 69 días el tratamiento t<sub>2</sub>

presentó mas valores altos de nitrógeno asimilable en forma de  $\text{NO}_3$ , los valores fueron 192, 204, 490 y 650 (ppm  $\text{NO}_3$ ). El tratamiento  $t_3$  no registró valores altos de nitrógeno como para ubicarlos en un rango de significancia A.

Por la explicación anterior resulta que el tratamiento  $t_2$  es aquel que muestra mayor cantidad de nitrógeno en forma asimilable ( $\text{NO}_3$ ), presentando la mayor estabilidad.



**Gráfico 8. Representación comportamiento de  $\text{NO}_3$  (ppm) análisis Anova**

### Carbono

Para obtener una relación C/N baja se debe tener niveles de carbono bajo, para conocer el comportamiento del C en cada uno de los tratamientos se aplicó al análisis de significancia de los datos presentados en el Anexo 1- f, sus resultados revelaron la existencia de alta significancia entre tratamientos (Cuadro 10), lo que indica la influencia en la dosificación de la urea en la variable carbono.

Se observó que los tratamientos  $t_1$  y  $t_3$  tienen valores finales bajos de carbono (28.7 y 31.3 %C), a pesar de que todos los ensayos bordean el mismo dato final que es 34% (Gráfico 9).

CUADRO10. RESUMEN DE ADEVAS PARA LA VARIABLE PORCENTAJE DE CARBONO

F de V	G. L .	CUADRADOS MEDIOS							
		14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
Total	11								
Repeticiones	2	0,138 NS	0,75 NS	0,158 NS	0,67 NS	0,344 NS	0,018 NS	0,097 NS	0,438 *
Tratamientos	3	50,235 **	24,44 **	27,947 **	23,85 **	25,068 **	32,89 **	137,108 **	1,32 **
Error Exper.	6	0.064	0.267	0.394	0.307	0.135	0.054	0.121	0.077
Coeficiente de Variación %		0.83	1.64	1.89	1.78	1.04	0.73	0.95	0.83

F d V : Fuentes de variación

G, L. : Grados de libertad

\* : Significancia estadística

\*\* : Alta significancia estadística

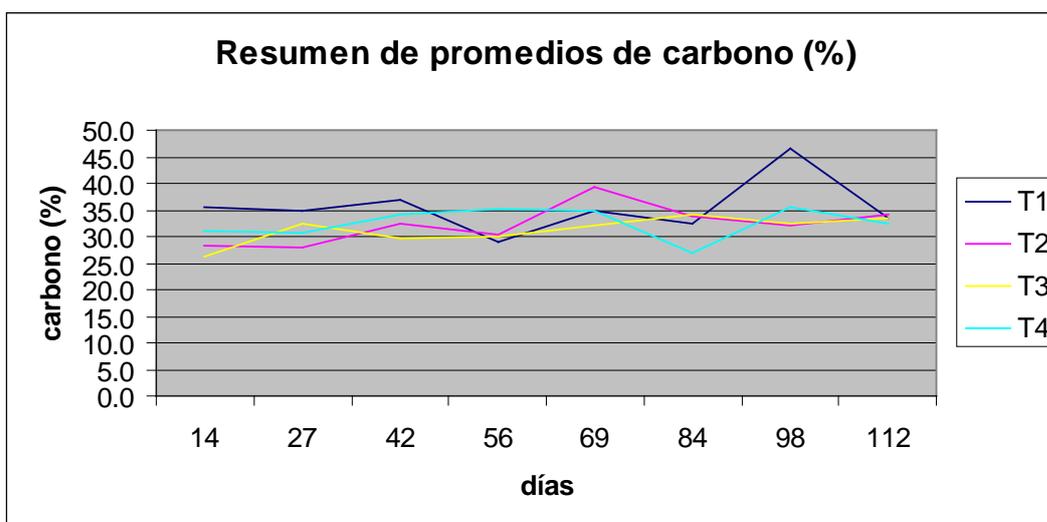


Gráfico 9. Representación comportamiento de C (%) análisis ADEVA

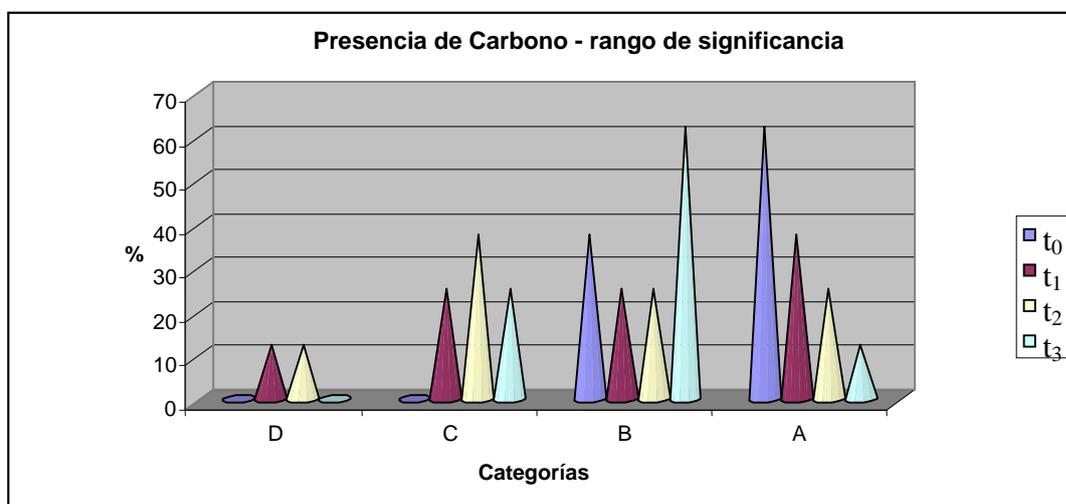
Una vez aplicado Tukey al 5% se obtiene los tratamientos que tienen valores más bajos a lo largo del proceso son T1 y t2 (cuadro 11), como se representa en el gráfico 10 donde A es mayor cantidad de carbono y D es menor cantidad de carbono presente con relación al rango de significancia.

CUADRO 11. RESUMEN DE PROMEDIOS Y TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE CARBONO (%)

Tratamientos	Promedios y Rangos de significancia							
	14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
t <sub>0</sub>	35,5 A	34,8 A	37,0 A	29,0 B	34,9 B	32,5 B	46,4 A	33,5 A
t <sub>1</sub>	28,2 C	28,0 D	32,4 B	30,2 B	39,2 A	33,7 A	32,0 C	34,1 A
t <sub>2</sub>	26,3 D	32,4 B	29,7 C	30,1 B	32,2 C	34,2 A	32,3 C	33,5 A
t <sub>3</sub>	31,01 B	30,8 C	34,0 B	35,3 A	35,0 B	27,0 C	35,4 B	32,5 B

Donde A significa los mas altos valores, AB y B valores medianamente altos, C valores bajos.

Para obtener una relación carbono baja es necesario tener un dato bajo de carbono, por lo que se estimará el cuadro 11 por la cantidad mas baja de carbono. El tratamiento t<sub>0</sub> presentó valores en los días 56, 69 y 84 con valores de 29, 34.9 y 32.5 (% C). El tratamiento t<sub>1</sub> expulsa valores más bajos que el tratamiento t<sub>0</sub> a los 27 días con un valor de 28 %. El tratamiento t<sub>2</sub> presentó datos bajos la mayoría del tiempo, a los 14, 27, 42, 56, 69 y 98 días con valores de 26.3, 32.4, 29.7, 30.1, 32.3, y 32.3 respectivamente. El tratamiento t<sub>3</sub> al igual que el tratamiento t<sub>2</sub> presenta valores bajos la mayoría del tiempo de experimentación bordeando el rango de 27 a 34 % de carbono.



**Gráfico 10. Representación comportamiento de C (%) análisis ADEVA**

El gráfico 10 nos muestra la representación del cuadro 11, donde el tratamiento t<sub>3</sub> predomina en el rango de significancia B calificado como medio. El tratamiento t<sub>2</sub> predomina en un rango de significancia bas bajo que el tratamiento t<sub>3</sub> que es el rango C que puede ser calificado como bajo. En el rango de significancia D que es el mas bajo en carbono se situaron los tratamientos t<sub>1</sub> y t<sub>2</sub>. Por lo que cualquiera de ellos puede ser escogido como el más adecuado para disminuir la relación carbono nitrógeno.

## Relación C/N

La relación carbono/nitrógeno inicial fue de 16, esto representa un valor bajo con relación a otros materiales expuestos con anterioridad, tal es el caso de la papa, la cuál tiene una relación C/N entre 14 y 28, Esto pudo ser por la frescura del material original, que contenía gran cantidad de agua en su composición, mermando el % de carbono y nitrógeno.

Lógicamente al ser un producto, se ve afectado directamente por sus componentes C y N. Los cuales han sido analizados con anterioridad.

Según las pruebas de significancia resultado de los datos del Anexo 1-g, se revela que existe diferencia significativa entre tratamientos (Cuadro 12), lo que nos indica la influencia de la dosificación de la úrea en la variable carbono/nitrógeno, que es predecible al conocer que existe influencia de la úrea en variables como carbono (%) y nitrógeno (%) por separado.

Valiéndonos de Tukey a 5% se demuestra que t2 es el tratamiento es aquel que contiene la mejor relación C/N (Cuadro 13). Con ello queremos decir que es la más baja, aquella que proporcionará un nitrógeno inmediato y asimilable para las plantas. Y por sus condiciones físicas y retención de agua mejorarán la estructura del suelo. Ayudará a la incrementar la disponibilidad de nutrientes.

CUADRO 12. RESUMEN DE ADEVAS PARA LA VARIABLE C/N

F de V	G. L .	CUADRADOS MEDIOS							
		14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
Total	11								
Repeticiones	2	0,073 NS	0,147 NS	0,012 NS	0,302 NS	0,755 NS	0,853 NS	0,02 NS	0,093 NS
Tratamientos	3	7,844 **	13,801 **	2,612 **	5,843 *	3,625 **	2,292 NS	25,66 **	4,674 **
Error Exper.	6	0.038	0.099	0.058	0.774	0.182	0.667	0.095	0.175
Coefficiente de Variación %		1.98	2.97	2.72	9.31	3.55	8.83	2.79	4.38

F d V : Fuentes de variación

G, L. : Grados de libertad

\* : Significancia estadística

\*\* : Alta significancia estadística

CUADRO13. RESUMEN DE PROMEDIOS Y TUKEY AL 5% PARA LA VARIABLE C/N

Tratamientos	Promedios y Rangos de significancia							
	14 días	27 días	42 días	56 días	69 días	84 días	98 días	112 días
t <sub>0</sub>	11,96 A	13,6 A	8,10 C	11,50 A	12,40 A	10,40 A	15,40 A	8,70 B
t <sub>1</sub>	9,7 B	10,71 B	9,10 B	9,10 AB	12,90 A	9,30 A	10,10 B	10,90 A
t <sub>2</sub>	8,02 C	9,10 C	8,20 C	8,40 B	10,40 B	8,99 A	9,20 C	10,30 A
t <sub>3</sub>	9,90A	9,00 C	10,10 A	8,80 B	12,30 A	8,30 A	9,50 BC	8,30 B

Donde A significa los mas altos valores, AB y B valores medianamente altos, C valores bajos.

El cuadro 13 nos indica que a los 56 días el tratamiento t<sub>0</sub> presenta relación carbono /nitrógeno (R C/N) baja con un valor de 8.10. El tratamiento t<sub>1</sub> muestra una R C/N baja desde los 14 hasta los 69 días bordeando valores de 9 y 10. El tratamiento t<sub>2</sub> presenta valores mas bajos que los tratamientos t<sub>0</sub> y t<sub>1</sub> , con un rango de significancia C que indica que los valores de la variable con bastante bajos, entre 8 y 9 la mayoría, finalizando a los 112 días con un valor de 10.3. El tratamiento t<sub>3</sub> expulsa valores bajos de R C/N a los 27, 56, 98 y 112 días pero en rango de significancia intermedios como lo son B y BC, lo que indica una relación carbono /nitrógeno baja y aceptable pero no persistente a lo largo del tiempo.

La representación gráfica de los resultados del cuadro 13 se pueden ver en el gráfico 11, el cual nos demuestra que el tratamiento t2 es aquel que presenta la relación C/N más baja de todos los tratamientos.

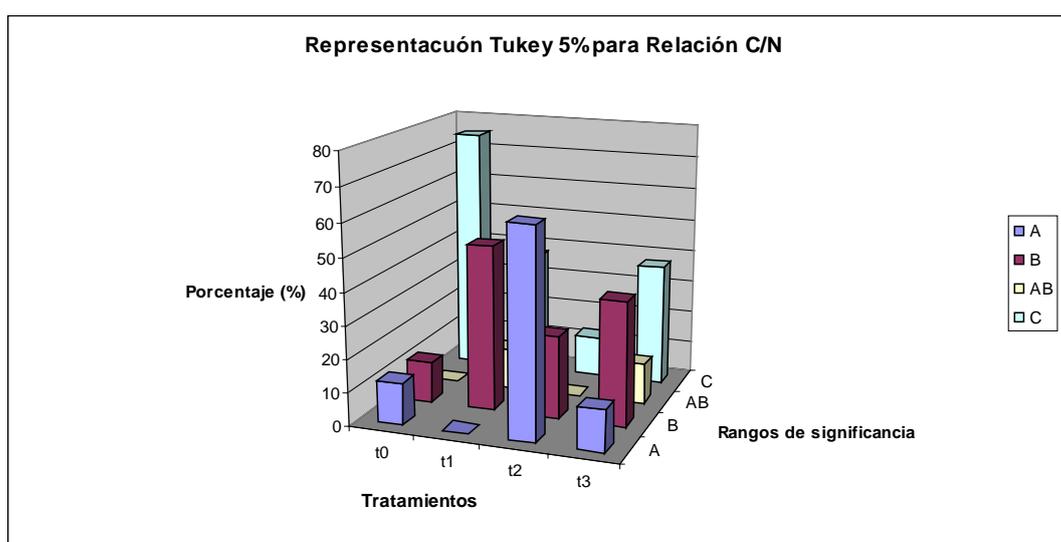
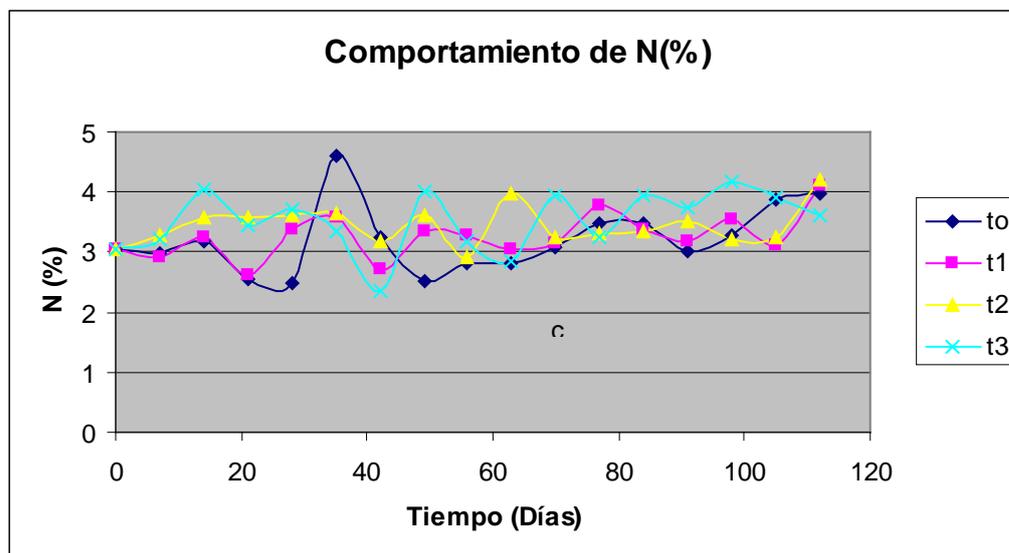


Gráfico 11. Representación comportamiento de la relación C/N - análisis ADEVA

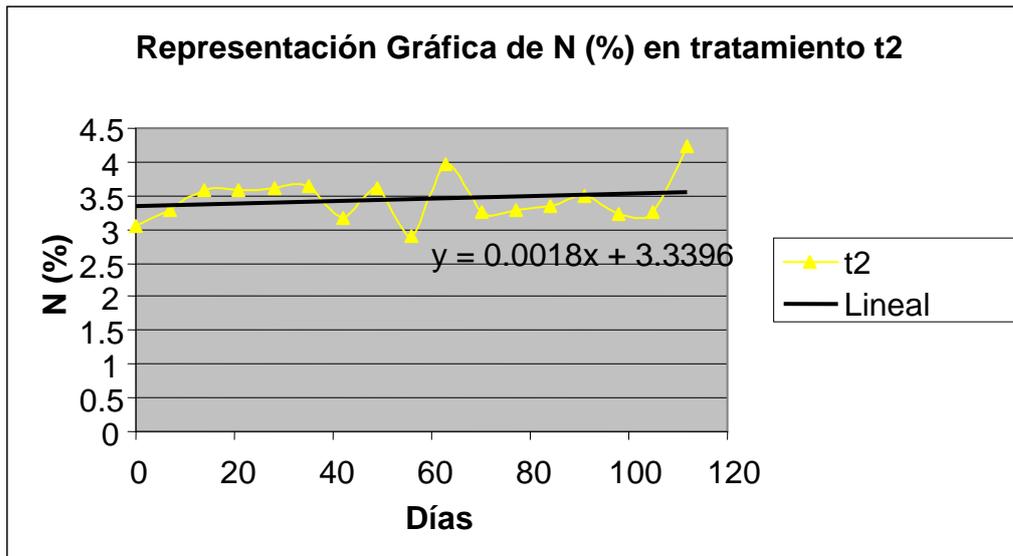
El gráfico 11 nos indica que la persistencia de valores bajos a lo largo del periodo experimental es el tratamiento  $t_2$ , lo que nos indica que es aquel que más baja relación C/N presentó.

### Velocidad de reacción

Resultado del gráfico 12, el cual representa la variación de nitrógeno en el periodo experimental, se puede ver que la línea que representa al tratamiento  $t_2$  es aquella que presenta menor variación y puede ser ajustada mejor a una línea recta, como se puede apreciar en el gráfico 12.



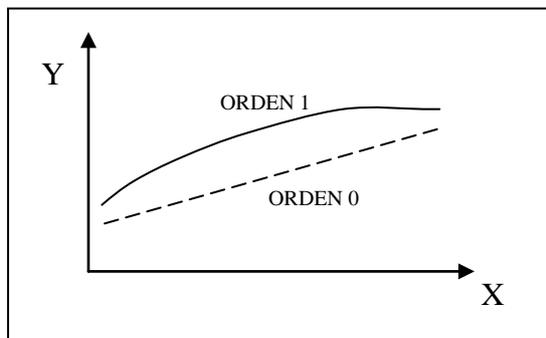
**Gráfico 12. Variación de Nitrógeno en compostaje**



**Gráfico 13. Nitrógeno en tratamiento t2**

t2 nos revela un comportamiento constante y de fácil predicción, y perfectamente ajustable a línea de tendencia.

Por ésta causa se considerará una reacción de orden O. (Figura 13).



**Figura 13. Representación de reacciones de orden 0 y 1.**  
Elaborado por: Sánchez, C.

Una vez encontrado el tratamiento de guía se procede al desarrollo del modelo cinético y a la aplicación de la ecuación cinética .

**Modelo Cinético:** 
$$\frac{\partial C_A}{\partial t} = k(C_A)^n$$

**Ecuación Cinética:**  $C_n = C_o + kt$

Donde:

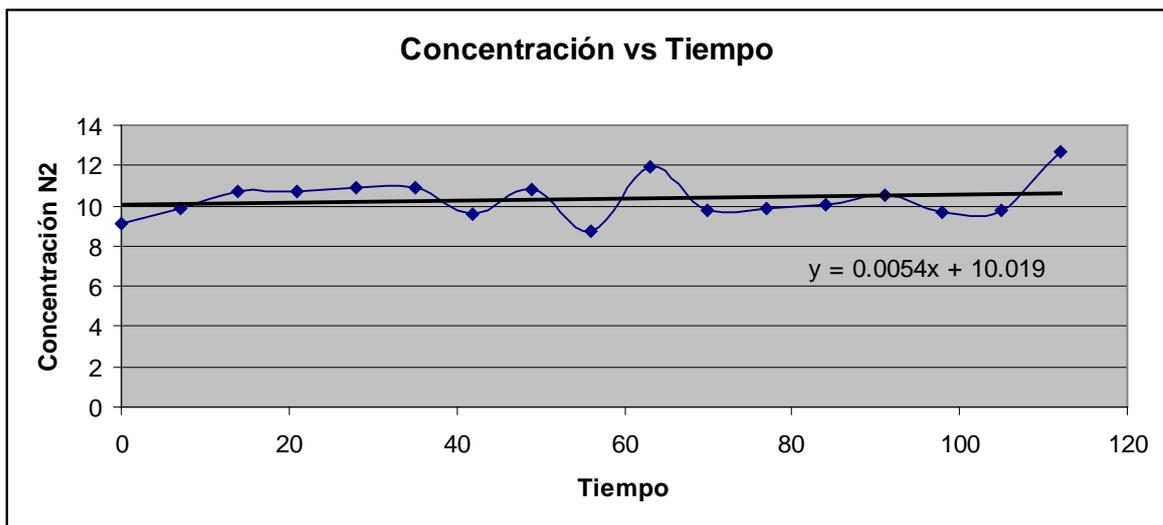
n : Número de Orden

$C_n$  : Concentración final

$C_o$  : Concentración inicial

k : Constante cinética

Consecuencia de ello resulta el gráfico 14 que nos presenta el comportamiento del nitrógeno en el tratamiento t2 en concentración, tomando en cuenta la densidad del material fresco (300g/L) una vez desarrollada la ecuación cinética.



**Gráfico 14. Aplicación de la Ecuación Cinética**

Gráficamente se encuentra la constante cinética mediante línea de tendencia de donde se obtiene la ecuación cinética desarrollada para éste caso:

$$\text{Concentración N}_2 = 0.0054t + 10.019$$

Con ésta ecuación se conocerá cualquiera de sus componentes en caso de requerir alguno de ellos.

Una vez más se aprueba t2 como el mejor tratamiento que expulsa ésta investigación.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1- CONCLUSIONES

Resultado de la presente investigación se puede concluir:

- El compostaje permite la reducción de los residuos orgánicos dando además valor productivo, puesto que sirve como apoyo para la fertilización inorgánica.
- El compost puede ser utilizado fácilmente por pequeños agricultores por la sencillez de su producción,
- La calidad del producto final depende de las condiciones de ubicación del proyecto y factores como temperatura, pH, humedad y aireación.
- El compost generado a partir de residuos de post-cosecha de flores constituye una gran opción para la producción de abonos orgánicos.
- El proceso de compostaje se define por las fases meso y termogénicas, para asegurar
- El material a ser compostado debe ser picado a una longitud de 8 cm. aproximadamente para aumentar el área de contacto con los microorganismos.
- Durante el proceso de degradación de materia orgánica se libera gran cantidad de calor, producto de las reacciones aerobias.
- La estabilización de pH es un indicativo de la maduración del compost.
- La relación C/N debe ser baja siempre y cuando el agricultor requiera Nitrógeno inmediato y de fácil acceso para los cultivos.
- La relación C/N debe ser alta cuando el agricultor desee destinarlo para mejorar la estructura y textura del suelo y poseer nutrientes a largo plazo.
- La calidad del producto obtenido tras un proceso de compostaje depende de la cantidad de materia orgánica, del valor d pH y temperatura final, cantidad de nitrógeno asimilable ( $\text{NO}_3$ ), porcentaje de nitrógeno total (N), porcentaje de carbono y valor de la relación carbono/nitrógeno.
- Debido al proceso de biotransformación de materia orgánica, la relación carbono/nitrógeno disminuye con y sin adición de urea. Sin embargo las dosis de

urea influyen significativamente en la calidad del producto final, comprobándose así la hipótesis alternativa.

- A pesar de las diferencias significativas de variables como nitrógeno y carbono, en todos los tratamientos se apreció características físicas excelentes de color (marrón negruzco), olor (similar al de tierra húmeda) y textura (material desmenuzable).
- De los resultados obtenidos y discutidos se concluye que el mejor tratamiento es el denominado t2 por su alto contenido de nitrógeno asimilable (570 ppm), bajo contenido de carbono (33.5), baja relación C/N (10.3) y por presentar uniformidad de valores a lo largo del proceso. Por ello es recomendado a la florícola como el mas adaptable a sus necesidades.
- Los tratamientos 0 y 1 presentaron buenas características químicas, sin embargo no son tan útiles para las necesidades de la finca.
- El tratamiento t3 demuestra que no es proporcional la cantidad de urea agregada a la calidad del producto final.
- El tratamiento ideal para obtener una ecuación cinética es t<sub>2</sub> a la cual se le aplicó 350 g de urea.
- La ecuación cinética:  $\text{Concentración N}_2 = 0.0054t + 10.019$  permitirá conocer la concentración de Nitrógeno en un tiempo dado o a su vez, el tiempo de reacción conociendo la concentración requerida.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la trituración de material previo a la construcción de pilas de compostaje a un tamaño aproximado de 8 cm. de largo para una mejor degradación.
- Realizar éste tipo de ensayos en épocas secas para escapar del enfriamiento excesivo de los ensayos y pérdida de material y nutrientes.
- Se recomienda construir zanjas que bordeen el ensayo para impedir la presencia de charcos y recolectar lixiviados para su posible uso como biol,
- Se recomienda impedir el exceso de humedad en los tratamientos para evitar lixiviación de nutrientes, convertir anaerobio el proceso y en el peor de los casos la pudrición del material orgánico.
- Cubrir los ensayos con cualquier material protector permitiendo la respectiva aireación para obtener mejores resultados.
- No descuidar los horarios de volteo para los tratamientos.
- Realizar los volteos lo más homogéneamente posible para asegurar la degradación uniforme del material.
- Monitorear variables físico. químicas, especialmente color, olor, textura, humedad, temperatura, pH y nutrientes.
- Generar un protocolo de muestreo para asegurar que la muestra sea verdaderamente representativa del ensayo.
- Se recomienda para próximas investigaciones espaciar por lo menos a 15 días el análisis de laboratorio.
- Es necesario la investigación de proyectos similares a éste, probando dosificaciones diferentes de urea.
- Comparar la calidad final de cada uno de los tratamientos examinados, especialmente el tratamiento recomendado  $t_2$  con otros obtenidos a partir de residuos de producción de otras empresas.
- Es necesario en el país impulsar proyectos de ley que regulen la finalidad del producto.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA.

- ATLAS, R. BARTHA, R. “*Ecología Microbiana y Microbiología Ambiental*”. Addison Wesley, España, 2001.
- CEGARRA, J. 1994. “*compostaje de desechos orgánicos y criterios de calidad de compost*”. VII Congreso colombiano de Ciencias de Suelo. Colombia.
- CORPORACIÓN DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA. 1999. “*Manual de Compostaje*”. Chile.
- COYNE, M. 2000. “*Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio*”. Editorial Paraninfo. España.
- CLAVERO, A. s/f. “*La fertilización orgánica y el compostaje*”. Asociación Vida Sana. España.
- DEFFIS, A. 1994. “*La Basura es la solución*”. Arbol Editorial. Colombia
- FARIAS, D. BALLESTEROS, M. BENDECK, M. 1999. “*Variación de parámetros Físicoquímicos durante el proceso de compostaje*”. Revista de Química. Volumen 28. Número 1. Colombia.
- FOTH, H. 1992. “*Fundamentos de la Ciencia del suelo*”. Editorial Continental. México.
- GUTIERREZ, M. 1991. “*Manual para tratamiento integral de basuras : Producción de desechos orgánicos*”. Fondo Rotatorio Editorial. Colombia.
- HOWARD, A. s/f. “*El método Indore de compostaje*”. Asociación Vida Sna para el fomento de la cultura y el desarrollo biológico. España.
- INIAP, “*Manual de Compostaje*”
- KOEPF, H. 1998. “*El compost: su naturaleza, preparación y actuación*”. Revista Biodinamics. Número 77. España.
- LEVENSPIEL, O. 1998. “*Ingeniería de las Reacciones*”. Editorial Reveté. España.
- LITTLE, T. HILLS, J. 1989. “*Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura*”. Editorial Trillas. Segunda Edición. México.
- MONROY, O. 1990. “*Biotecnología para el aprovechamiento de desperdicios orgánicos*”. AGT editorial. México.

- NAVARRO, G. 2003. “*Química Agrícola*”. Ediciones MundiPress. Segunda edición. España.
- PARRA, R. CASTRO, D. 2004. “*Producción Aeróbica de compost a partir de residuos de materiales de reses y mercados*”. Instituto de Investigación de Desarrollo de procesos químicos. Universidad Mayor de San Andrés. Bolivia. La Paz.
- PATIÑO, H. 2000. “*Extractos acuosos de compost para el control de enfermedades foliares*”. Asociación de bananeros de Colombia. Colombia.
- RADICKEL, K. 1996. “*Preparación del Compost*”. Centro de Agricultura Biológica. Ecuador
- RAMIREZ, Pablo. 2003. “*Degradación enzimática de celulosa por actinomicetes termófilos*”. Laboratorio macromolecular. Universidad Nacional de San Marcos.
- RODALE, J. 1973. “*The Complete Book of Composting*”. Rodale Books. Cuarta edición. Estados Unidos.
- SAÑA, J. MORE, J. COHI, A. 1996. “*La Gestión de la fertilidad de los suelos*”. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid.
- SHEGEL, H. 1998. “*Microbiología General*”. Ediciones Omega. Barcelona.
- SOCIEDAD ECUATORIANA DE LA CIENCIA DEL SUELO. 2003. “*II Curso: La materia orgánica del suelo y sus repercusiones ambientales*”.
- SUQUILANDA, M. 1995. “*Fertilización Orgánica: Manual Técnico*”. Fundación para el desarrollo Agropecuario. Ecuador.
- SZTERN, D. PRAVIA, M. 2002. “*Manual para la elaboración de compost; bases conceptuales y procedimientos*”. Organización Panamericana de la Salud.
- VELÁSQUEZ, T. 1996. “*Use compost y mejorará su suelo*”. Instituto Nacional de Investigación Agraria. Perú.
- VILLE y otros. “*Biología*”. McGraw-Hill Interamericana. México. 1998.

## BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

- Centro de Estudios Ecológicos Argentinos. “*Diseño de la finca y del cultivo*”. Argentina, s/f  
Disponible en: <http://www.cdeea.com/agorganica.htm>
- Corporación autónoma Regional del Centro, “*Manejo y Evaluación de la Porquinaza mediante procesos de compostación*”. Colombia. 2003.
- ESPINOZA, R Y OTROS. “*Kinetic Study of Batch Biodegradation of Diapers*”. International Journal of chemical reactor engineering. Volume. 2003.
- GUIDO, M. “*Modelo de simulación del compostaje*”. Boletín de Dinámica de sistemas.  
Disponible en: <http://www.upcnet.es/~jmg2/sistemas/0605f.htm>
- INIGUEZ, G y otros. “*Utilización de Subproductos de la Industria Tequilera. Parte 7*”. México. 2000  
Disponible en:  
[http://www.atmosfera.unam.mx/area\\_web/acervo/vol\\_21\\_1/iniguez.pdf](http://www.atmosfera.unam.mx/area_web/acervo/vol_21_1/iniguez.pdf).
- OTINIANO, A. “*La Materia orgánica, Importancia y experiencias de su uso en la Agricultura*”. Volumen 24, Chile, 2006.
- SILVA, M. “*Producción de Compost y resultados asociados a su uso en Chile*”. Chile. 2004.

ANEXOS

# ANEXO 1

## DATOS BASE

ANEXO 1-a. Datos de Temperatura (°C)

Fecha	Días	t0	t1	t2	t3
17-Mar-06		-	-	-	-
31-Mar-06	7	40.35	38.29	37.30	38.51
06-Abr-06	14	43.17	50.70	35.73	36.13
13-Abr-06	21	41.42	41.87	41.81	36.82
21-Abr-06	28	32.64	33.09	50.51	35.03
28-Abr-06	35	46.49	41.65	33.60	39.65
05-May-06	42	23.42	23.99	22.87	22.89
12-May-06	49	20.3	21.8	21.5	21.8
19-May-06	56	21.1	21.3	21.4	21.8
25-May-06	63	21.2	21.5	22	21.6
02-Jun-06	70	22.5	22.6	23.4	22.1
09-Jun-06	77	20.2	19.1	21.1	20.3
16-Jun-06	84	21.5	20.8	21.8	21.1
23-Jun-06	91	22.5	22.08	23.4	22.1
30-Jun-06	98	22.5	22.8	25.4	24.7
07-Jul-06	105	21	21.48	24.3	21.01
14-Jul-06	112	26.4	27.3	28.5	26.7

ANEXO 1-b. Datos de pH

Fecha	Días	t0	t1	t2	t3
17-Mar-06	7.0	6.1	6.1	6.1	6.1
31-Mar-06	14.0	7.1	7.4	7.5	7.4
06-Abr-06	21.0	7.9	8.1	7.8	7.9
13-Abr-06	28.0	7.5	7.7	7.6	7.7
21-Abr-06	35.0	7.4	7.7	7.6	7.4
28-Abr-06	42.0	7.3	7.4	7.4	7.4
05-May-06	49.0	7.5	7.7	7.3	7.5
12-May-06	56.0	7.5	7.1	7.1	7.2
25-May-06	63.0	7.4	7.2	7.4	7.6
02-Jun-06	70.0	7.5	7.6	7.6	7.8
09-Jun-06	77.0	6.8	7.1	7.1	6.8
16-Jun-06	84.0	7.2	7.2	7.1	7.2
23-Jun-06	91.0	7.0	6.6	7.1	7.1
30-Jun-06	98.0	7.0	7.0	7.3	7.0
07-Jul-06	105.0	7.2	7.2	7.5	7.5
14-Jul-06	112.0	7.3	7.1	7.3	7.5

ANEXO 1-c. Datos de Materia Orgánica (%)

Fecha	Días	to	t1	t2	t3
31-Mar-06	14	61.23	48.7	45.36	55.13
06-Abr-06	21	62.43	67.63	59.34	55.95
13-Abr-06	28	60	48.23	55.94	53.04
21-Abr-06	35	77.71	63.14	71.79	69.36
28-Abr-06	42	63.81	55.94	51.24	58.7
05-May-06	49	62.61	68.7	72.03	67.94
12-May-06	56	49.96	52.13	51.93	60.83
25-May-06	63	60.21	67.59	55.47	60.36
02-Jun-06	70	51.36	46.13	57.49	49
09-Jun-06	77	56.02	58.14	58.94	46.59
16-Jun-06	84	78.48	56.85	62.74	61.56
23-Jun-06	91	80.05	55.12	55.68	60.95
30-Jun-06	98	65.45	58.54	65.55	60
07-Jul-06	105	57.72	58.81	57.71	56.03
14-Jul-06	112	62.66	49.46	58.26	53.6

ANEXO 1-d. Datos de Nitrógeno (%)

Fecha	Días	to	t1	t2	t3
17-Mar-06	7	3.05	3.05	3.05	3.05
31-Mar-06	14	2.97	2.92	3.28	3.22
06-Abr-06	21	3.17	3.26	3.58	4.04
13-Abr-06	28	2.56	2.62	3.57	3.43
21-Abr-06	35	2.5	3.37	3.62	3.72
28-Abr-06	42	4.59	3.58	3.63	3.36
05-May-06	49	3.23	2.71	3.18	2.35
12-May-06	56	2.53	3.34	3.6	4
25-May-06	63	2.81	3.05	3.98	2.85
02-Jun-06	70	3.09	3.16	3.25	3.95
09-Jun-06	77	3.48	3.76	3.3	3.24
16-Jun-06	84	3.47	3.39	3.34	3.93
23-Jun-06	91	3.02	3.18	3.5	3.75
30-Jun-06	98	3.28	3.53	3.22	4.16
07-Jul-06	105	3.87	3.12	3.26	3.92
14-Jul-06	112	3.96	4.1	4.22	3.62

ANEXO 1-e. Datos de NO<sub>3</sub> (ppm)

Fecha	Días	t0	t1	t2	t3
17-Mar-06	7	-	-	-	-
31-Mar-06	14	170	155	192	183
06-Abr-06	21	130	80	140	170
13-Abr-06	28	89	111	204	166
21-Abr-06	35	110	200	220	160
28-Abr-06	42	154	308	247	156
05-May-06	49	150	280	160	240
12-May-06	56	210	470	490	480
25-May-06	63	410	570	650	390
02-Jun-06	70	480	660	560	440
09-Jun-06	77	571	310	350	440
16-Jun-06	84	410	470	530	400
23-Jun-06	91	740	990	390	670
30-Jun-06	98	690	980	420	850
07-Jul-06	105	640	570	470	480
14-Jul-06	112	372	548	458	472

ANEXO 1-f. Datos de Carbono (%)

Fecha	Días	t0	t1	t2	t3
17-Mar-06	7	48.82	48.82	48.82	48.82
31-Mar-06	14	35.5	28.2	26.3	32
06-Abr-06	21	36.2	39.2	34.4	32.5
13-Abr-06	28	34.8	28	32.4	30.8
21-Abr-06	35	35.1	26.6	31.6	30.2
28-Abr-06	42	37	32.4	29.7	34
05-May-06	49	36.3	39.8	41.8	39.4
12-May-06	56	29	30.2	30.1	35.3
25-May-06	63	34.9	39.2	32.2	35
02-Jun-06	70	29.8	26.8	33.3	28.4
09-Jun-06	77	32.5	33.7	34.2	27
16-Jun-06	84	45.5	33	36.4	35.7
23-Jun-06	91	46.4	32	32.3	35.4
30-Jun-06	98	38	34	38	34.8
07-Jul-06	105	33.5	34.1	33.5	32.5
14-Jul-06	112	36.3	28.7	33.8	31.1

ANEXO 1-g. Datos de Relación Carbono/Nitrógeno

Fecha	Días	to	t1	t2	t3
17-Mar-06	7	16	16	16	16
31-Mar-06	14	12	9.7	8	9.9
06-Abr-06	21	11.4	12	9.6	8
13-Abr-06	28	13.6	10.7	9.1	9
21-Abr-06	35	10	10.9	11.5	10.8
28-Abr-06	42	8.1	9.1	8.2	10.1
05-May-06	49	11.2	14.7	13.1	16.8
12-May-06	56	11.5	9.1	8.4	8.8
25-May-06	63	12.4	12.9	10.4	12.3
02-Jun-06	70	9.6	8.5	10.3	7.2
09-Jun-06	77	9.3	9	10.4	8.3
16-Jun-06	84	13.1	9.7	10.9	9.1
23-Jun-06	91	15.4	10.1	9.2	9.5
30-Jun-06	98	11.6	9.6	11.8	8.4
07-Jul-06	105	8.7	10.9	10.3	8.3
14-Jul-06	112	9.2	7	8	8.6

**ANEXO 2**  
**GALERÍA DE FOTOS**

## MATERIALES UTILIZADOS



Picadora



Tamaño a picar material



Diseño de Bloques completos al azar



Cubierta de plástico sobre el ensayo

## CONTROL DE VARIABLES EN CAMPO



Temperatura



Humedecimiento de pilas



Volteos

## ESTADO DE TRATAMIENTOS A LOS 30 DÍAS DE PROCESO



## ESTADO DE TRATAMIENTOS A LOS 60 DÍAS DE PROCESO



## ESTADO DE TRATAMIENTOS A LOS 90 DÍAS DE PROCESO



# ANEXO 3

ANÁLISIS DE SIGNIFICANCIA (ADEVA)  
Y TUKEY 5%

Variable 3: %C 31MARZO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	151.37	
repeticiones	2	0.28	0.138 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	150.71	50.235 <sup>**</sup>
Error	6	0.39	0.064

Grand Mean= 30.502 Grand Sum= 366.030 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.83%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 35.50 A	Mean 1 = 35.50 A
Mean 2 = 28.20 C	Mean 4 = 32.01 B
Mean 3 = 26.30 D	Mean 2 = 28.20 C
Mean 4 = 32.01 B	Mean 3 = 26.30 D

Variable 4: %C 13ABRIL

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	76.42	
repeticiones	2	1.50	0.750 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	73.32	24.440 <sup>**</sup>
Error	6	1.60	0.267

Grand Mean= 31.500 Grand Sum= 378.000 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.64%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 34.80 A	Mean 1 = 34.80 A
Mean 2 = 28.00 D	Mean 3 = 32.40 B
Mean 3 = 32.40 B	Mean 4 = 30.80 C
Mean 4 = 30.80 C	Mean 2 = 28.00 D

Variable 5: %C 28ABRIL

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	86.52	
repeticiones	2	0.32	0.158 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	83.84	27.947 <sup>**</sup>
Error	6	2.36	0.394

Grand Mean= 33.275 Grand Sum= 399.300 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.89%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 37.00 A	Mean 1 = 37.00 A
Mean 2 = 32.40 B	Mean 4 = 34.00 B
Mean 3 = 29.70 C	Mean 2 = 32.40 B
Mean 4 = 34.00 B	Mean 3 = 29.70 C

Variable 6: %C 12MAYO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	74.73	
repeticiones	2	1.34	0.670 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	71.55	23.850 <sup>**</sup>
Error	6	1.84	0.307

Grand Mean= 31.150 Grand Sum= 373.800 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.78%

TUKEY 5%

Original Order		Ranked Order	
Mean 1 =	29.00 B	Mean 4 =	35.30 A
Mean 2 =	30.20 B	Mean 2 =	30.20 B
Mean 3 =	30.10 B	Mean 3 =	30.10 B
Mean 4 =	35.30 A	Mean 1 =	29.00 B

Variable 7: %C 25MAYO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	76.70	
repeticiones	2	0.69	0.344 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	75.20	25.068 <sup>**</sup>
Error	6	0.81	0.135

Grand Mean= 35.325 Grand Sum= 423.900 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.04%

TUKEY 5%

Original Order		Ranked Order	
Mean 1 =	34.90 B	Mean 2 =	39.20 A
Mean 2 =	39.20 A	Mean 4 =	35.00 B
Mean 3 =	32.20 C	Mean 1 =	34.90 B
Mean 4 =	35.00 B	Mean 3 =	32.20 C

Variable 8: %C 9JUNIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	99.03	
repeticiones	2	0.04	0.018 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	98.67	32.890 <sup>**</sup>
Error	6	0.33	0.054

Grand Mean= 31.850 Grand Sum= 382.200 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.73%

TUKEY 5%

Original Order		Ranked Order	
Mean 1 =	32.50 B	Mean 3 =	34.20 A
Mean 2 =	33.70 A	Mean 2 =	33.70 A
Mean 3 =	34.20 A	Mean 1 =	32.50 B
Mean 4 =	27.00 C	Mean 4 =	27.00 C

Variable 9: %C 23JUNIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	412.24	
repeticiones	2	0.19	0.097 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	411.32	137.108 <sup>**</sup>
Error	6	0.73	0.121

Grand Mean= 36.525 Grand Sum= 438.300 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.95%

TUKEY 5%

Original Order		Ranked Order	
Mean 1 =	46.40 A	Mean 1 =	46.40 A
Mean 2 =	32.00 C	Mean 4 =	35.40 B
Mean 3 =	32.30 C	Mean 3 =	32.30 C
Mean 4 =	35.40 B	Mean 2 =	32.00 C

Variable 10: %C 7JULIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	5.30	
repeticiones	2	0.88	0.438 <sup>*</sup>
tratamientos	3	3.96	1.320 <sup>**</sup>
Error	6	0.46	0.077

Grand Mean= 33.400 Grand Sum= 400.800 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.83%

TUKEY 5%

Original Order		Ranked Order	
Mean 1 =	33.50 A	Mean 2 =	34.10 A
Mean 2 =	34.10 A	Mean 1 =	33.50 A
Mean 3 =	33.50 A	Mean 3 =	33.50 A
Mean 4 =	32.50 B	Mean 4 =	32.50 B

Variable 11: %N 31MARZO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	0.30	
repeticiones	2	0.00	0.000 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	0.29	0.097 <sup>**</sup>
Error	6	0.00	0.000

Grand Mean= 3.100 Grand Sum= 37.200 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.70%

TUKEY 5%

Var 11

Mean

-----  
2.973  
2.920  
3.283  
3.223

Variable 12: %N 13ABRIL

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	2.75	
repeticiones	2	0.09	0.046 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	2.52	0.840 <sup>**</sup>
Error	6	0.14	0.024

Grand Mean= 3.047 Grand Sum= 36.560 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 5.06%

TUKEY 5%

Original Order

Ranked Order

Mean 1 = 2.563 B    Mean 3 = 3.573 A  
Mean 2 = 2.620 B    Mean 4 = 3.430 A  
Mean 3 = 3.573 A    Mean 2 = 2.620 B  
Mean 4 = 3.430 A    Mean 1 = 2.563 B

Variable 13: %N 28ABRIL

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	2.74	
repeticiones	2	0.02	0.009 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	2.70	0.901 <sup>**</sup>
Error	6	0.02	0.004

Grand Mean= 3.790    Grand Sum= 45.480    Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.58%

TUKEY 5%

Original Order

Ranked Order

Mean 1 = 4.593 A    Mean 1 = 4.593 A  
Mean 2 = 3.580 B    Mean 3 = 3.627 B  
Mean 3 = 3.627 B    Mean 2 = 3.580 B  
Mean 4 = 3.360 C    Mean 4 = 3.360 C

Variable 14: %N 12MAYO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	4.62	
repeticiones	2	0.08	0.040 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	3.47	1.158 <sup>*</sup>
Error	6	1.07	0.178

Grand Mean= 3.368    Grand Sum= 40.420    Total Count= 12

Coefficient of Variation= 12.52%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 2.530 B	Mean 4 = 4.000 A
Mean 2 = 3.340 AB	Mean 3 = 3.603 AB
Mean 3 = 3.603 AB	Mean 2 = 3.340 AB
Mean 4 = 4.000 A	Mean 1 = 2.530 B

Variable 15: %N 25MAYO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	2.89	
repeticiones	2	0.11	0.054 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	2.71	0.902 <sup>**</sup>
Error	6	0.08	0.013

Grand Mean= 3.172 Grand Sum= 38.070 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 3.60%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 2.810 B	Mean 3 = 3.980 A
Mean 2 = 3.050 B	Mean 2 = 3.050 B
Mean 3 = 3.980 A	Mean 4 = 2.850 B
Mean 4 = 2.850 B	Mean 1 = 2.810 B

Variable 16: %N 9JUNIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	1.01	
repeticiones	2	0.13	0.064 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	0.50	0.166 <sup>NS</sup>
Error	6	0.38	0.064

Grand Mean= 3.447 Grand Sum= 41.360 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 7.32%

Var 16  
 Mean  
 -----  
 3.483  
 3.763  
 3.300  
 3.240

Variable 17: %N 23JUNIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	1.06	
repeticiones	2	0.01	0.006 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	0.96	0.320 <sup>**</sup>
Error	6	0.09	0.014

Grand Mean= 3.364 Grand Sum= 40.370 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 3.56%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 3.023 C	Mean 4 = 3.753 A
Mean 2 = 3.180 BC	Mean 3 = 3.500 AB
Mean 3 = 3.500 AB	Mean 2 = 3.180 BC
Mean 4 = 3.753 A	Mean 1 = 3.023 C

Variable 18: %N 7JULIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	1.75	
repeticiones	2	0.04	0.020 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	1.52	0.508 <sup>**</sup>
Error	6	0.19	0.031

Grand Mean= 3.542 Grand Sum= 42.510 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 4.98%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 3.873 A	Mean 4 = 3.917 A
Mean 2 = 3.120 B	Mean 1 = 3.873 A
Mean 3 = 3.260 B	Mean 3 = 3.260 B
Mean 4 = 3.917 A	Mean 2 = 3.120 B

Variable 19: NO3 31MARZO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	2360.00	
repeticiones	2	6.50	3.250 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	2334.00	778.000 <sup>**</sup>
Error	6	19.50	3.250

Grand Mean= 175.000 Grand Sum= 2100.000 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.03%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 170.0 C	Mean 3 = 192.0 A
Mean 2 = 155.0 D	Mean 4 = 183.0 B
Mean 3 = 192.0 A	Mean 1 = 170.0 C
Mean 4 = 183.0 B	Mean 2 = 155.0 D

Variable 20: NO3 13ABRIL

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	24582.03	
repeticiones	2	0.00	0.000 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	24568.07	8189.357 <sup>**</sup>
Error	6	13.96	2.327

Grand Mean= 142.499 Grand Sum= 1709.990 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.07%

Original Order		Ranked Order		
Mean 1 =	89.00	D	Mean 3 =	204.0 A
Mean 2 =	111.0	C	Mean 4 =	166.0 B
Mean 3 =	204.0	A	Mean 2 =	111.0 C
Mean 4 =	166.0	B	Mean 1 =	89.00 D

Variable 21: NO3 28ABRIL

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	50620.25	
repeticiones	2	4.50	2.250 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	50606.25	16868.750 <sup>**</sup>
Error	6	9.50	1.583

Grand Mean= 216.250 Grand Sum= 2595.000 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.58%

Original Order		Ranked Order		
Mean 1 =	154.0	C	Mean 2 =	308.0 A
Mean 2 =	308.0	A	Mean 3 =	247.0 B
Mean 3 =	247.0	B	Mean 4 =	156.0 C
Mean 4 =	156.0	C	Mean 1 =	154.0 C

Variable 22: NO3 12MAYO

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	164486.92	
repeticiones	2	2.17	1.083 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	164470.25	54823.417 <sup>**</sup>
Error	6	14.50	2.417

Grand Mean= 412.417 Grand Sum= 4949.000 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.38%

Original Order		Ranked Order	
Mean 1 =	210.0 D	Mean 3 =	489.7 A
Mean 2 =	470.0 C	Mean 4 =	480.0 B
Mean 3 =	489.7 A	Mean 2 =	470.0 C
Mean 4 =	480.0 B	Mean 1 =	210.0 D

Variable 23: NO3 25MAYO

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	142536.00	
repeticiones	2	13.50	6.750 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	142500.00	47500.000 <sup>**</sup>
Error	6	22.50	3.750

Grand Mean= 505.000 Grand Sum= 6060.000 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.38%

Original Order		Ranked Order	
Mean 1 =	410.0 C	Mean 3 =	650.0 A
Mean 2 =	570.0 B	Mean 2 =	570.0 B
Mean 3 =	650.0 A	Mean 1 =	410.0 C
Mean 4 =	390.0 D	Mean 4 =	390.0 D

Variable 24: NO3 9JUNIO

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	120578.25	
repeticiones	2	18.00	9.000 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	120542.25	40180.750 <sup>**</sup>
Error	6	18.00	3.000

Grand Mean= 417.750 Grand Sum= 5013.000 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.41%

Original Order		Ranked Order	
----------------	--	--------------	--

Mean 1 = 571.0 A    Mean 1 = 571.0 A  
 Mean 2 = 310.0 D    Mean 4 = 440.0 B  
 Mean 3 = 350.0 C    Mean 3 = 350.0 C  
 Mean 4 = 440.0 B    Mean 2 = 310.0 D

Variable 25: NO3 23JUNIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	548301.00	
repeticiones	2	33.50	16.750 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	548025.00	182675.000 <sup>**</sup>
Error	6	242.50	40.417

Grand Mean= 697.500    Grand Sum= 8370.000    Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.91%

Original Order                      Ranked Order

Mean 1 = 740.0 B    Mean 2 = 990.0 A  
 Mean 2 = 990.0 A    Mean 1 = 740.0 B  
 Mean 3 = 390.0 D    Mean 4 = 670.0 C  
 Mean 4 = 670.0 C    Mean 3 = 390.0 D

Variable 26: NO3 7JULIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	58352.00	
repeticiones	2	74.00	37.000 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	58200.00	19400.000 <sup>**</sup>
Error	6	78.00	13.000

Grand Mean= 540.000    Grand Sum= 6480.000    Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.67%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 640.0 A	Mean 1 = 640.0 A
Mean 2 = 570.0 B	Mean 2 = 570.0 B
Mean 3 = 470.0 C	Mean 4 = 480.0 C
Mean 4 = 480.0 C	Mean 3 = 470.0 C

Variable 27: C/N 31MARZO

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	23.91	
repeticiones	2	0.15	0.073 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	23.53	7.844 <sup>**</sup>
Error	6	0.23	0.038

Grand Mean= 9.894 Grand Sum= 118.730 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.98%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 11.96 A	Mean 1 = 11.96 A
Mean 2 = 9.700 B	Mean 4 = 9.897 B
Mean 3 = 8.017 C	Mean 2 = 9.700 B
Mean 4 = 9.897 B	Mean 3 = 8.017 C

Variable 28: C/N 13ABRIL

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	42.29	
repeticiones	2	0.29	0.147 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	41.40	13.801 <sup>**</sup>
Error	6	0.60	0.099

Grand Mean= 10.601 Grand Sum= 127.210 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 2.97%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 13.60 A	Mean 1 = 13.60 A
Mean 2 = 10.71 B	Mean 2 = 10.71 B
Mean 3 = 9.100 C	Mean 3 = 9.100 C
Mean 4 = 9.000 C	Mean 4 = 9.000 C

Variable 29: C/N 28ABRIL

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	8.21	
repeticiones	2	0.02	0.012 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	7.84	2.612 <sup>**</sup>
Error	6	0.35	0.058

Grand Mean= 8.874 Grand Sum= 106.490 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 2.72%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 8.100 C	Mean 4 = 10.10 A
Mean 2 = 9.100 B	Mean 2 = 9.100 B
Mean 3 = 8.197 C	Mean 3 = 8.197 C
Mean 4 = 10.10 A	Mean 1 = 8.100 C

Variable 30: C/N 12MAYO

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	22.78	
repeticiones	2	0.60	0.302 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	17.53	5.843 <sup>*</sup>
Error	6	4.64	0.774

Grand Mean= 9.451 Grand Sum= 113.410 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 9.31%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 11.50 A	Mean 1 = 11.50 A
Mean 2 = 9.100 AB	Mean 2 = 9.100 AB
Mean 3 = 8.403 B	Mean 4 = 8.800 B
Mean 4 = 8.800 B	Mean 3 = 8.403 B

Variable 31: C/N 25MAYO

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	13.47	
repeticiones	2	1.51	0.755 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	10.88	3.625 <sup>**</sup>
Error	6	1.09	0.182

Grand Mean= 12.001 Grand Sum= 144.010 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 3.55%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 12.40 A	Mean 2 = 12.90 A
Mean 2 = 12.90 A	Mean 1 = 12.40 A
Mean 3 = 10.40 B	Mean 4 = 12.30 A
Mean 4 = 12.30 A	Mean 3 = 10.40 B

Variable 32: C/N 9JUNIO

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	12.04	
repeticiones	2	1.17	0.583 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	6.88	2.292 <sup>NS</sup>
Error	6	4.00	0.667

Grand Mean= 9.249 Grand Sum= 110.990 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 8.83%

Ranked Order

Mean 3 = 10.40 A  
 Mean 1 = 9.300 A  
 Mean 2 = 8.997 A  
 Mean 4 = 8.300 A

Variable 33: C/N 23JUNIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	77.59	
repeticiones	2	0.04	0.020 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	76.98	25.660 <sup>**</sup>
Error	6	0.57	0.095

Grand Mean= 11.049 Grand Sum= 132.590 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 2.79%

Original Order

Ranked Order

Mean 1 = 15.40 A    Mean 1 = 15.40 A  
 Mean 2 = 10.10 B    Mean 2 = 10.10 B  
 Mean 3 = 9.200 C    Mean 4 = 9.497 BC  
 Mean 4 = 9.497 BC    Mean 3 = 9.200 C

Variable 34: C/N 7JULIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	15.26	
repeticiones	2	0.19	0.093 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	14.02	4.674 <sup>**</sup>
Error	6	1.05	0.175

Grand Mean= 9.550 Grand Sum= 114.600 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 4.38%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 8.700 B	Mean 2 = 10.90 A
Mean 2 = 10.90 A	Mean 3 = 10.30 A
Mean 3 = 10.30 A	Mean 1 = 8.700 B
Mean 4 = 8.300 B	Mean 4 = 8.300 B

Variable 35: TEMP 31MARZO

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	14.69	
repeticiones	2	0.01	0.007 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	14.50	4.833 <sup>**</sup>
Error	6	0.18	0.029

Grand Mean= 38.614 Grand Sum= 463.370 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.44%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 40.35 A	Mean 1 = 40.35 A
Mean 2 = 38.29 B	Mean 4 = 38.51 B
Mean 3 = 37.30 C	Mean 2 = 38.29 B
Mean 4 = 38.51 B	Mean 3 = 37.30 C

Variable 36: TEMP 13ABRIL

#### ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	106.43	
repeticiones	2	5.55	2.774 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	79.59	26.529 <sup>*</sup>
Error	6	21.30	3.550

Grand Mean= 40.978 Grand Sum= 491.740 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 4.60%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 41.42 AB	Mean 2 = 43.87 A
Mean 2 = 43.87 A	Mean 3 = 41.80 AB
Mean 3 = 41.80 AB	Mean 1 = 41.42 AB
Mean 4 = 36.82 B	Mean 4 = 36.82 B

Variable 37: TEMP 28ABRIL

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	256.28	
repeticiones	2	0.04	0.019 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	256.19	85.397 <sup>**</sup>
Error	6	0.05	0.009

Grand Mean= 40.348 Grand Sum= 484.170 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.23%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 46.49 A	Mean 1 = 46.49 A
Mean 2 = 41.65 B	Mean 2 = 41.65 B
Mean 3 = 33.60 D	Mean 4 = 39.65 C
Mean 4 = 39.65 C	Mean 3 = 33.60 D

Variable 38: TEMP 12MAYO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	6.19	
repeticiones	2	0.31	0.153 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	4.58	1.527 <sup>*</sup>
Error	6	1.30	0.217

Grand Mean= 21.349 Grand Sum= 256.190 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 2.18%

TUKEY 5%

Original Order

Ranked Order

Mean 1 = 20.30 B	Mean 2 = 21.80 A
Mean 2 = 21.80 A	Mean 4 = 21.80 A
Mean 3 = 21.50 AB	Mean 3 = 21.50 AB
Mean 4 = 21.80 A	Mean 1 = 20.30 B

Variable 39: TEMP 25MAYO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	2.18	
repeticiones	2	0.03	0.017 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	0.98	0.328 <sup>NS</sup>
Error	6	1.17	0.194

Grand Mean= 21.575 Grand Sum= 258.900 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 2.04%

Ranked Order

Mean 3 = 22.00 A
Mean 4 = 21.60 A
Mean 2 = 21.50 A
Mean 1 = 21.20 A

Variable 40: TEMP 9JUNIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	7.58	
repeticiones	2	0.34	0.168 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	6.86	2.288 <sup>**</sup>
Error	6	0.38	0.063

Grand Mean= 20.209 Grand Sum= 242.510 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.24%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 20.20 B	Mean 3 = 21.23 A
Mean 2 = 19.10 C	Mean 4 = 20.30 B
Mean 3 = 21.23 A	Mean 1 = 20.20 B
Mean 4 = 20.30 B	Mean 2 = 19.10 C

Variable 41: TEMP 23JUNIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	3.78	
repeticiones	2	0.06	0.031 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	3.44	1.148 <sup>**</sup>
Error	6	0.28	0.046

Grand Mean= 22.519 Grand Sum= 270.230 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 0.96%

TUKEY 5%

Original Order	Ranked Order
Mean 1 = 22.50 B	Mean 3 = 23.40 A
Mean 2 = 22.08 B	Mean 1 = 22.50 B
Mean 3 = 23.40 A	Mean 4 = 22.10 B
Mean 4 = 22.10 B	Mean 2 = 22.08 B

Variable 42: TEMP 7JULIO

ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

Source	Degrees of Freedom	Sum of Squares	Mean Square
Total	11	24.19	
repeticiones	2	0.53	0.265 <sup>NS</sup>
tratamientos	3	22.56	7.520 <sup>**</sup>
Error	6	1.10	0.184

Grand Mean= 21.949 Grand Sum= 263.390 Total Count= 12

Coefficient of Variation= 1.95%

TUKEY 5%

Original Order

Ranked Order

Mean 1 = 21.00 B  
Mean 2 = 21.48 B  
Mean 3 = 24.30 A  
Mean 4 = 21.01 B

Mean 3 = 24.30 A  
Mean 2 = 21.48 B  
Mean 4 = 21.01 B  
Mean 1 = 21.00 B