

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción.**

Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a
partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales
azucareros+

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y BIOLÓGICO

Presentada por:

Fabián Alberto Gordillo Manssur

GUAYAQUIL . ECUADOR

Año: 2010

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, a mis padres por haber sido los pilares más importantes en mi vida y siempre haberme dado su apoyo y transmitido su convicción y su fe para lograr este objetivo. A mis hermanas por su ayuda, buena influencia y ánimos para continuar. A todos mis compañeros del CIBE por su aliento y apoyo.

DEDICATORIA

Al culminar una etapa más de mi vida dedico este proyecto, especialmente a Dios y a mis padres, gracias por todo su amor, dedicación, esfuerzo que siempre han tenido conmigo. A mis queridas hermanas, quienes me han cuidado toda mi vida y a toda mi familia y amigos que incondicionalmente han disfrutado y viajado conmigo durante esta etapa de mi vida.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Francisco Andrade S.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE

Ing. Eduardo Chávez N.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Edwin Jiménez R.
VOCAL PRINCIPAL

Dr. Paúl Herrera S.
VOCAL ALTERNO

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL+

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

Fabián Alberto Gordillo Manssur.

RESUMEN

En la actualidad la agricultura orgánica ha alcanzado gran importancia ya que la utilización de abonos y productos de origen natural contribuye a minimizar la contaminación al medio ambiente debido al uso de los agroquímicos. Los desechos orgánicos son producidos en grandes cantidades en todas partes del planeta, creando serios problemas de contaminación. Trátese de desechos urbanos, domésticos, animales y agroindustriales que despiden fetidez, los cuales ocupan grandes superficies irregularmente manejadas contaminando así fuentes hídricas por lixiviación e infiltración a mantos acuíferos.

Los desechos agroindustriales principalmente los provenientes de los ingenios azucareros son un problema difícil de manejar, una alternativa para el manejo de dichos desechos es la del compostaje que se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica.

El compost es un producto que elaborado correctamente puede colaborar con el mejoramiento de las condiciones edáficas y así obtener una mejora en la producción de cultivos. La mano de obra que ocupa su procesamiento, las posibilidades de obtener producciones ambientalmente amigables, la

disminución de materia a eliminar y su valor como elemento formativo ambiental, son otros de los valores agregados de su producción.

Con estos antecedentes, el siguiente estudio estuvo enfocado a desarrollar alternativas para la reutilización de los residuos azucareros de forma técnicamente viable por medio de la elaboración y estandarización del proceso de compostaje y la evaluación de la calidad final del producto, utilizando los principales residuos del proceso de elaboración de la azúcar de caña: cachaza, bagazo, ceniza y vinaza.

Para lograr los objetivos propuestos de esta investigación se elaboraron tres combinaciones de materia prima (desechos agroindustriales), con dos fuentes de microorganismos. La primera fuente fueron microorganismos capturados y reproducidos artesanalmente en la zona de Taura y la otra fue un producto comercial actualmente usado para este proceso. Se probaron también dos formas de aireación en las pilas: mediante volteos semanales y a través de tubos de aireación estáticos. Las pilas se establecieron bajo un diseño de tres factores, y se valoraron dos veces por semana parámetros como: salinidad, densidad aparente, temperatura, pH, conductividad eléctrica. Otros parámetros como: materia orgánica, población microbiana, porcentaje de humedad, macro y micronutrientes y relación carbono-nitrógeno, se evaluaron al inicio y al final del proceso de compostaje, junto al

método de cromatografía de papel de Pfeifer para valorar la parte orgánica, mineral, porcentaje de oxígeno y actividad enzimática del material.

Los resultados obtenidos muestran la poca eficiencia del método de aireación por tubos estáticos, de igual manera se pudo determinar que la formulación más estable desde el punto de vista de macro y micronutrientes fue la formulación tres, que consta de 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza. Además, al finalizar el proceso: la formulación que tuvo la relación C/N más aceptable fue la que tiene una composición de 40% bagazo, 30% cachaza y 30% ceniza; ningún tratamiento llegó a la humedad necesaria para finalizar el proceso por lo que se necesita un mayor tiempo de compostaje en época seca. Se observó además una reducción generalizada de la población microbiana, siendo los microorganismos comerciales los que mantuvieron una mayor población durante y al finalizar el proceso. Desde el punto de vista de la temperatura se logró llegar a una temperatura adecuada; los valores de la conductividad eléctrica se mantuvieron por debajo de los 3000 μ S/cm; el pH para el proceso fue el óptimo aunque finalizó elevado; y para finalizar, la formulación tres que contiene 50% de bagazo, 25% cachaza y 25% ceniza fue la que permitió obtener la mayor concentración de materia orgánica en el producto final.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	...II
ÍNDICE GENERAL	.V
ABREVIATURAS	VIII
SIMBOLOGÍA	.X
ÍNDICE DE FIGURAS	..XI
ÍNDICE DE TABLAS	..XIII
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO 1

1. ENMIENDAS ORGÁNICAS A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES5
1.1 Residuos agroindustriales azucareros....	..6
1.1.1. Problemas de contaminación.8
1.2. Características de los residuos a compostar	10
1.3 Proceso de descomposición de los residuos	...22
1.4 Introducción a las enmiendas orgánicas y sus principales parámetros de proceso	...25

1.5	Descripción del proceso de compostaje aeróbico	.38
1.6	Sistemas de compostaje	43
1.7	Calidad de las enmiendas orgánicas	..45

CAPÍTULO 2

2.	MATERIALES Y MÉTODOS	.52
2.1.	Materiales52
2.2	Metodología	..53
2.3	Análisis de la calidad del proceso de compostaje	.64
2.4	Análisis de la calidad del producto final	..64

CAPÍTULO 3

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	.65
3.1	Efecto de las técnicas aplicadas en el proceso de compostaje	..65

ABREVIATURAS

cm	Centímetro
g	Gramos
l	Litros
kg	Kilogramos
t	Toneladas
N	Nitrógeno
CO ₂	Anhídrido carbónico
H ₂ CO ₃	Ácido Carbónico
N	Normalidad
S	Azufre
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
K	Potasio
Fe	Hierro
Cu	Cobre
Zn	Zinc
Mn	Manganeso
SO ₄	Sulfato
MgO	Óxido de Magnesio
CaO	Monóxido de Calcio
K ₂ O	Monóxido de Potasio
pH	Potencial de Hidrógeno
C	Carbono
mm	milímetros
m ³	Metro cúbico
ppm	Partes por millón
us	Microsiemens
P	Fósforo
H ₂ O	Agua
CH ₄	Metano
B	Boro
Na	Sodio
ms	Milisiemens
NH ₃	Amoníaco
O ₂	Oxígeno

ml	Mililitros
D	Densidad
M	Masa
V	Volumen
mg	Miligramos
ppt	Partes por mil
CE	Conductividad Eléctrica
MO	Materia Orgánica
p	Peso
H	Humedad

SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje
c	Formulación
R	Repetición
°C	Grados Centígrado

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Los 20 Países con más especies en riesgo	9
Figura 1.2	Esquema del proceso de descomposición de los residuos orgánicos	22
Figura 1.3	Esquema del proceso de compostaje	23
Figura 1.4	Esquema del proceso de descomposición anaeróbica	24
Figura 1.5	Esquema general del proceso de Compostaje	27
Figura 1.6	Pasos para la elaboración artesanal de Biol...	31
Figura 1.7	Relación entre la temperatura y humedad en el proceso de compostaje	35
Figura 1.8	Etapas en el proceso de Compostaje	42
Figura 2.1	Aplicación de Microorganismos	56
Figura 2.2	Pilas de Compost	57
Figura 2.3	Volteo de Pilas	57
Figura 2.4	Medición de Temperatura y Altura en las pilas de compost	58
Figura 2.5	Cromatografía de papel	58
Figura 2.6	Medición de la Conductividad Eléctrica	61
Figura 2.7	Medición de PH	63
Figura 2.8	Siembra líquida para obtención de microorganismos	63
Figura 3.1	A. Variación de la altura a través del tiempo correspondiente al T2, T4 y T6	66
Figura 3.1	B. Variación de la altura a través del tiempo correspondiente al T8, T10 y T12	66
Figura 3.1	C. Variación de la altura a través del tiempo correspondiente al T14, T16 y T18	67
Figura 3.2	A. Variación de la conductividad eléctrica a través del tiempo correspondiente al T2, T4 y T6	68
Figura 3.2	B. Variación de la conductividad eléctrica a través del tiempo correspondiente al T8, T10 y T12	68
Figura 3.2	C. Variación de la conductividad eléctrica a través del tiempo correspondiente al T14, T16 y T18	69
Figura 3.3	A. Variación del pH a través del tiempo correspondiente al T2, T4 y T6	70
Figura 3.3	B. Variación del pH a través del tiempo correspondiente al T8, T10 y T12	70
Figura 3.3	C. Variación del pH a través del tiempo correspondiente al T14, T16 y T18	71
Figura 3.4	A. Variación de la temperatura a través del tiempo correspondiente al T2, T4 y T6	72

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 1	Composición físico-química de la Cachaza a compostar	12
Tabla 2	Composición físico-química del Bagazo a compostar	13
Tabla 3	Composición físico-química de la Ceniza a compostar	14
Tabla 4	Composición química de la vinaza según proceda de jugo, melaza o la mezcla de ambos.	15
Tabla 5	Caracterización de las Enmiendas Orgánicas Solidas.	26
Tabla 6	Parámetros para evaluar la calidad de un compost dependiendo del uso	46
Tabla 7	Concentraciones máximas de metales pesados en compost.	47
Tabla 8	Métodos de Ensayo	48
Tabla 9	Parámetros para el control de estabilidad del compost	49
Tabla 10	Análisis complementarios para determinar madurez en compost	50
Tabla 11	Requisitos microbiológicos	50
Tabla 12	Contenido máximo de materiales inertes de tamaño $\leq 6\text{mm}$ en compost	51
Tabla 13	Caracterización de Materia prima para la elaboración de las pilas de compost	53
Tabla 14	Porcentaje de residuos para cada una de las formulaciones	54
Tabla 15	Combinación de las fuentes de variación para los tratamientos	54
Tabla 16	Agrupación de los tratamientos	55
Tabla 17	A. Valoración inicial de macro nutrientes	74
Tabla 17	B. Valoración final de macro nutrientes	75
Tabla 18	A. Valoración inicial de micro nutrientes	78
Tabla 18	B. Valoración final de micro nutrientes	78
Tabla 19	Valoración de Humedad, Materia orgánica y Relación C/N	81
Tabla 20	Conteo de colonias de microorganismos presentes en los tratamientos	85
Tabla 21	A. Medidas iniciales de las partes que se describen en la cromatografía de papel para cada tratamiento	87
Tabla 21	B. Medidas finales de las partes que se describen en la cromatografía de papel para cada tratamiento	88
Tabla 22	Análisis comparativo	90

INTRODUCCIÓN

A nivel mundial existe una crisis total de energía, con el consecuente aumento de los costos de los fertilizantes inorgánicos, por otro lado, los serios problemas de contaminación atribuidos al uso excesivo de fertilizantes inorgánicos han incrementado las áreas que sufren procesos degradativos por la disminución de la fracción orgánica de los suelos ante el intenso uso agrícola. Este panorama, renueva a nivel mundial, el interés por el uso y manejo de los sistemas productivos tales como el manejo de las enmiendas agrícolas aplicadas al suelo, para la recuperación, reutilización y/o transformación de los residuos en insumos útiles a los sectores productivos.

El empleo de abonos orgánicos se inició en la prehistoria, cuando el hombre comenzó a esparcir los estiércoles en las tierras en donde se realizaban los primeros cultivos. Ya en épocas históricas, las sociedades más avanzadas continuaron aplicando tales desechos a los suelos, fundamentalmente con propósitos de fertilización. La aparición en el siglo XX de los fertilizantes inorgánicos y su empleo a escala masiva disminuyó hasta épocas recientes la atención por el empleo de las enmiendas orgánicas, particularmente en los países más desar rollados.

La conservación de la fertilidad del suelo es una tarea necesaria para mantener sus características de productividad después de cada cosecha. Eso implica restituir al suelo las sustancias que se pierden por causa de los procesos de nutrición de las plantas al desarrollarse. Uno de los métodos empleados para minimizar esta pérdida consiste en la incorporación de enmiendas orgánicas sólidas ricas en materia orgánica y microorganismos.

Las enmiendas orgánicas varían en su composición química de acuerdo al proceso de elaboración, duración del proceso, actividad biológica y tipos de materiales que se utilicen. La calidad de las enmiendas orgánicas se determina a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo.

HIPÓTESIS

Los desechos obtenidos en el proceso de elaboración del azúcar tienen un alto potencial como materia prima principal en la elaboración de enmiendas orgánicas sólidas para rehabilitar suelos agrícolas agotados.

OBJETIVOS

Objetivo General

- La estandarización del proceso de compostaje y la evaluación de la calidad final del producto utilizando los principales residuos del proceso de elaboración de la azúcar de caña: cachaza, bagazo, ceniza y vinaza en tres combinaciones, dos microorganismos que aceleren la descomposición y dos métodos de aireación.

Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros y rangos ideales para un correcto desarrollo del proceso de compostaje.
- Evaluar el efecto del uso de dos fuentes de microorganismos sobre la descomposición de los residuos.
- Evaluar el efecto del uso de dos métodos de aireación en la velocidad de descomposición de los residuos.

- Valorar los parámetros físico-químicos y microbiológicos considerados importantes en la determinación de la calidad del compost.

CAPÍTULO 1

1. ENMIENDAS ORGÁNICAS A PARTIR DE DESECHOS AGROINDUSTRIALES

Los desechos o residuos agroindustriales son materiales de gran importancia en la práctica de la agricultura orgánica, pues debidamente procesados son capaces de mejorar la calidad física, química y biológica de los suelos de cultivos [59].

Existen cultivos agrícolas que con el tiempo degradan al suelo reduciendo su calidad, por lo tanto es importante realizar labores de rehabilitación del suelo por medio de prácticas orgánicas mediante la

aplicación de enmiendas; las mismas que consisten en la degradación controlada de los residuos o desechos acelerando su velocidad de descomposición para su posterior uso en los cultivos, facilitando la asimilación adecuada de nutrientes por las plantas.

1.1 RESIDUOS AGROINDUSTRIALES AZUCAREROS

La sociedad realiza diferentes actividades productivas de las cuales se generan inevitablemente una serie de desechos sólidos, líquidos o gaseosos que pueden tener efectos negativos sobre el ambiente y la salud humana. De entre ellos, los residuos sólidos son importantes porque pueden tener efectos tóxicos significativos y frecuentemente se depositan en lugares donde la población humana puede estar expuesta.

Las características cuantitativas y cualitativas de los mismos dependen de numerosos factores, entre otros [50]:

- Características de las materias primas
- Procesos de industrialización
- Intensidad de la producción
- Características de los productos obtenidos

Los ingenios azucareros son grandes contaminadores por la gran cantidad de desechos generados en el proceso agroindustrial, estos residuos pueden revalorizarse dando un tratamiento y uso adecuado, transformándose en materiales orgánicos con la ayuda del desarrollo de tecnologías y el aporte de microorganismos para que estos procesos degradativos sean aprovechados por las diversas actividades del ser humano [55].

Los residuos que se producen en este tipo de industria son el bagazos, cachazas, efluentes líquidos (vinaza, aceites), grasas y barbojos (Cogollos, Vainas, Hojas y Trozos de cañas), las cenizas de la combustión del bagazo; los cuales son contaminantes del ambiente si no tienen un uso adecuado y responsable [55].

Por cada tonelada de tallos molidos en el proceso de transformación agroindustrial, se extraen 250 kg de bagazo, 6 kg de cenizas, 45 kg de melaza, 30 kg de cachaza y 14 l de vinaza por cada litro de alcohol producido a partir de la melaza [55].

1.1.1 Problemas de contaminación

El ambiente se considera contaminado cuando cambia su condición atentando contra la salud de la población y el normal desarrollo de las actividades, contra la calidad de los recursos naturales y la supervivencia de otros organismos vivos que se manifiestan en pérdida de la biodiversidad e inhibición de sistemas productivos, destrucción de la capa de ozono, en general degradación de la calidad de vida [6, 17, 21].

El desconocimiento de estos efectos, la ausencia de medios suficientes para su tratamiento, así como las malas prácticas medioambientales, han tenido como consecuencia más inmediata el vertido o depósito incontrolado de los residuos, lo que a su vez ha originado la contaminación progresiva de muchos suelos ya que juegan un papel importante como almacén de residuos [43].

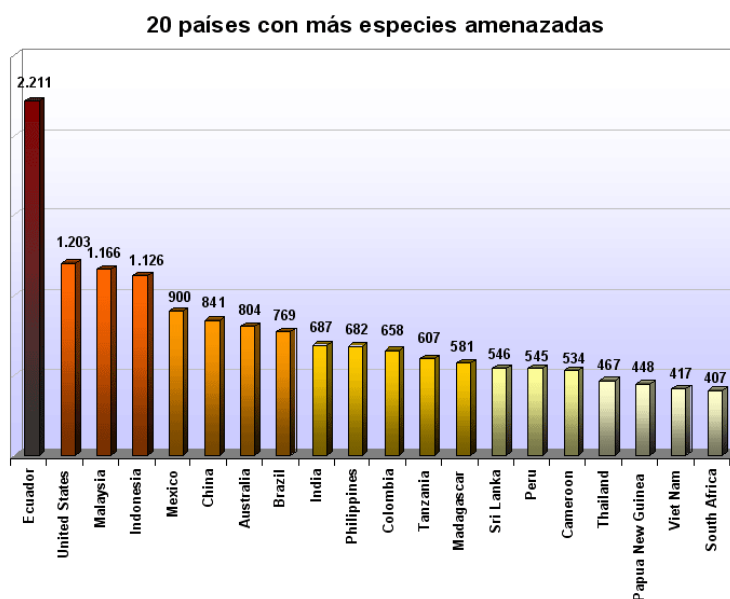


FIGURA 1.1: Los 20 Países con más especies en riesgo

Fuente: UICN, 2009 [2].

Ecuador cuenta con una valiosa diversidad, pero la falta de conocimientos para reducir la contaminación ambiental, la atención a las especies y su economía insipiente hacen que esté encabezando la lista de los países con mayores especies amenazadas como se muestra en la FIGURA 1.1.

La solución es buscar medidas de mitigación como lo son el reciclaje de los residuos mediante un proceso de degradación controlado, evitando así el uso indiscriminado de contaminantes ocasionando un cambio irreversible en el ambiente y en la calidad de vida.

1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS A COMPOSTAR

CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL

- **Cachaza**

La cachaza es el principal residuo de la industria del azúcar de caña, produciéndose de 30 a 50 kg. por tonelada de materia prima procesada, lo cual representa entre tres y cinco % de la caña molida. Este porcentaje y su composición varían con las características agroecológicas de la zona [8, 9, 69].

Este material contiene muchos de los coloides de la materia orgánica originalmente dispersa en el jugo, conjuntamente con aniones orgánicos e inorgánicos que precipitan durante la clarificación. Otros compuestos no azúcares son incluidos en esos precipitados [8, 9, 53, 69].

La cachaza generalmente es rica en fósforo, calcio y nitrógeno y pobre en potasio. Esto se debe a que algunas fábricas tratan con fosfato al jugo para clarificarlo más rápido. El contenido de calcio de este subproducto varía con las cantidades de cal empleadas durante la clasificación del jugo. El pobre contenido

de potasio que exhibe la cachaza es por la gran solubilidad de este elemento. Los altos contenidos en nitrógeno se deben a la elevada cantidad de materia orgánica que presenta este residuo, se desconoce la cantidad de N aprovechable que puede liberar la cachaza en el tiempo, pues esto es controlado por varios factores ambientales. También este material es fuente importante de magnesio y zinc [36, 44, 46, 56, 69].

Físicamente la cachaza es un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua [5, 69].

Como enmienda, incrementa temporalmente la capacidad de intercambio catiónico del suelo, por la producción de humus; aumenta el contenido o la capacidad de retención de humedad del mismo y durante su descomposición se produce gran cantidad de CO₂, que al transformarse en H₂CO₃, junto con otros ácidos de origen orgánico, disolverían los nutrientes insolubles en suelos de pH alcalino [33, 60, 67, 69].

Sus principales limitaciones para usarla con fines agronómicos son el alto contenido de humedad (75-80%) que presenta en estado fresco, lo cual encarece los costos de transporte, y su alta relación Carbono/Nitrógeno (TABLA 1). Estas limitaciones pueden ser solventadas si la cachaza es compostada ya que se produce una deshidratación de la misma y un balance en su relación carbono/nitrógeno [69].

TABLA 1: Composición físico-química de la Cachaza a compostar

COMPONENTE	% (PORCENTAJE)
Humedad	86,751
Cenizas	2,739
M. Orgánica	10,51

Fuente: CIBE, 2010.

- **Bagazo**

Es un residuo fibroso que se obtiene de la extracción del jugo, heterogéneo en cuanto a su composición granulométrica y estructural, que presenta relativamente baja densidad y un alto contenido de humedad, en las condiciones en que se obtiene del proceso de molienda de la caña [35, 45].

El bagazo al salir del molino o del difusor recibe el nombre de bagazo verde con 50% de fibra leñosa y aproximadamente 55% de humedad (TABLA 2) [39, 52].

TABLA 2: Composición físico-química del Bagazo a compostar

COMPONENTES	PORCENTAJE (%)
Cenizas	4,476
Humedad	46,539
Materia Orgánica	48,98

Fuente: CIBE, 2010.

Además está constituida por la fracción sólida soluble orgánica insoluble en agua, presente originalmente en el tallo de la caña de azúcar [52].

- **Ceniza**

El contenido en cenizas del bagazo natural puede considerarse moderado, ubicándose entre dos y cinco% (b.s.). Sin embargo, como consecuencia directa de la mecanización de la cosecha, y sobre todo en época de lluvia, este parámetro puede elevarse considerablemente, llegándose a reportar valores extremos de 12 a 15 % [45].

Las cenizas minerales pueden ser aplicadas como fertilizantes de los suelos (TABLA 3) [49, 66].

TABLA 3: Composición físico-química de la Ceniza a compostar

COMPONENTE	% (PORCENTAJE)
Humedad	53,903
Cenizas	40,139
M. Orgánica	5,958

Fuente 1: CIBE, 2010.

- **Vinaza**

La vinaza constituye el principal residuo líquido producto de la fermentación de la melaza para la obtención de alcohol; por cada litro de alcohol producido se generan 13 litros de vinaza [15, 27, 51].

La vinaza contiene principalmente Azufre (S), Magnesio (Mg), y Calcio (Ca), elevadas concentraciones de K, Ca y materia orgánica disuelta, así como niveles medios de N y P; sin embargo, esta composición es variable según provenga de melaza, jugo o la mezcla de ambos como se muestra en la TABLA 4 [8, 51].

TABLA 4: Composición química de la vinaza según proceda de jugo, melaza o la mezcla de ambos.

PROPIEDAD	JUGO	MELAZA	MIXTO DE MELAZA Y JUGO
N (kg/m ₃)	0,28	0,77	0,46
2O ₅ (kg/m ₃)	0,2	0,19	0,24
K ₂ O (kg/m ₃)	1,47	6	3,6
CaO (kg/m ₃)	0,46	2,45	1,18
MgO (kg/m ₃)	0,29	1,04	0,53
SO ₄ (kg/m ₃)	1,32	3,73	2,67
Materia orgánica (kg/m ₃)	23,44	52,04	32,63
Fe (ppm)	69	80	78
Cu (kg/m ₃)	7	5	21
Zn (kg/m ₃)	2	3	19
Mn (kg/m ₃)	7	8	6
pH	3,7	4,4	4,1

Fuente: Gloria y Orlando, 1983 [16].

La materia orgánica presente en la vinaza y los contenidos de calcio y otras bases intercambiables pueden facilitar la neutralización del aluminio intercambiable en suelos extremadamente ácidos o el desplazamiento del sodio en suelos fuertemente alcalinos y sódicos [27, 51].

Además, las características que se consideran relevantes de los residuos y que inciden en forma directa en la evolución del proceso y en la calidad del producto final son las siguientes:

- **Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)**

La relación C/N, expresa en 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 [50].

Una relación C/N óptima de inicial es de 25 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno, es decir $C(25)/N(1) = 25$. En términos generales, una relación C/N de entrada de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Los residuos de origen vegetal, presentan por lo general una relación C/N elevada. Las plantas y montes, contienen más nitrógeno cuando son jóvenes y menos en su madurez. Los residuos de origen animal presentan por lo general una baja relación C/N [42].

- **Estructura y tamaño de los residuos**

Numerosos materiales pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje como las excretas, así también materiales que son muy resistentes

como es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales. En este caso la superficie de contacto entre el microorganismo y los desechos es pobre, tomando en cuenta el carácter osmótrofo de la gran mayoría de las bacterias [50].

Para el proceso de compostaje el tamaño indicado de 20 mm a 10 mm el cual es aconsejable para este tipo de materiales [29, 42].

- **Humedad**

El contenido en humedad de los desechos orgánicos crudos es muy variable, si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50 %, necesariamente se debe buscar la forma de que el material pierda humedad antes de conformar las pilas o camellones [29].

La humedad idónea para una biodegradación con franco predominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35 % (del 40 al 70 % sí se puede mantener una buena aireación), con valores superiores a los indicados producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica con lo que el medio se volvería anaerobio, mientras

que, valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento [29].

Para la finalización de un proceso aeróbico la humedad idónea es del 20 al 30% [62, 30].

- **El pH**

El rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante pH cercanos al neutro (pH 6,5-7,5) ligeramente ácidos o ligeramente alcalinos aseguran el desarrollo favorable de la gran mayoría de los grupos fisiológicos siendo el óptimo para empezar el proceso. Valores de pH inferiores a 5,5 (ácidos) inhiben el crecimiento de la gran mayoría de los grupos fisiológicos, estando en este grupo los microorganismos anaeróbicos por lo que toleran hasta pH de 3,75. Valores superiores a 8 (alcalinos) dando paso a un proceso anaeróbico. Durante el proceso de compostaje se produce una sucesión natural del pH, que es necesaria para el proceso y que es acompañada por una sucesión de grupos fisiológicos que se cumple en un proceso aeróbico [42, 50].

- **Conductividad Eléctrica (CE)**

La conductividad eléctrica de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio y nitrato formados durante el proceso. Sus valores no deben superar los 3000 μ S/cm [28, 54].

- **Aireación**

La aireación es conjuntamente con la relación C/N uno de los principales parámetros a controlar en el proceso de Compostaje Termoaeróbico [42].

Una mala aireación puede contribuir a la pérdida del carácter aerobio, en la práctica, esta situación se diagnostica por la aparición de olores nauseabundos producto de la respiración por la vía de la putrefacción o fuerte olor a amoníaco producto de la amonificación [50].

- **Nutrientes**

La característica química más importante de los sustratos es su composición elemental. La utilidad agronómica de los

residuos con posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean [10, 42].

Entre los elementos que componen el sustrato destacan el C, N, y P, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. El Carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico. El Nitrógeno es el elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; la calidad de un compost está directamente relacionada con su contenido de N. El Fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano [29].

Además de C, N y P existen otros nutrientes presentes en menor cantidad. Estos tienen un importante papel en la síntesis de las enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular [41].

- **Materia Orgánica**

Se considera como el principal factor para determinar su calidad agronómica. Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono; estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% al 30% en peso de la masa compostada [42, 71].

La velocidad de transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones físico-químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH) [40].

- **El Precompostaje**

Se denomina Precompostaje, a todos aquellos procedimientos que se realizan antes de la conformación de las parvas o camellones y tienen como objetivo acondicionar la masa de residuos para optimizar el proceso [50].

1.3 PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS

Cuando un organismo vivo es descompuesto, sus componentes son rápidamente mineralizados por los microorganismos que digieren y oxidan en presencia de oxígeno. Conforme el oxígeno se consume el microambiente se hace anaeróbico, condición que favorece el desarrollo de microorganismos fermentadores, cuando casi la totalidad del compuesto orgánico se ha convertido en CO₂, las condiciones se harán nuevamente aeróbicas y se desarrollarán organismos autótrofos [29, 50].

Dichos microorganismos para crecer y desarrollar sus actividades, deben disponer en el ambiente nutrientes específicos que le provean energía y materiales para la biosíntesis [50].

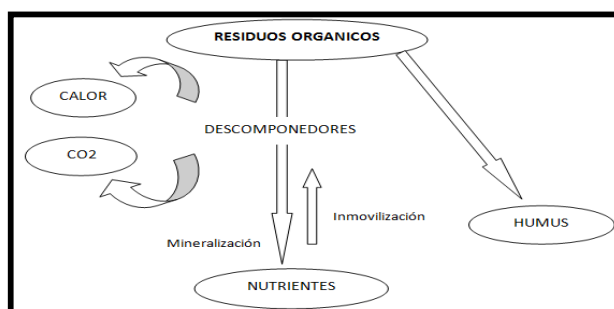


FIGURA 1.2: Esquema del proceso de descomposición de los residuos orgánicos

Fuente: Facultad de Agronomía de la Universidad de la República

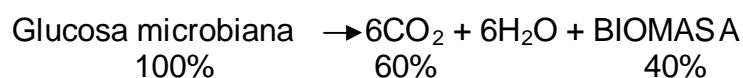
[23].

Los procesos de descomposición de residuos dependen de diferentes factores internos y externos, entre los cuales se encuentran [31]:

- Las condiciones climáticas y meteorológicas en el sitio
- Las propiedades físico-químicas de los residuos dispuestos
- La tecnología aplicada
- La edad

Proceso de descomposición aerobio.

Dicho proceso que se caracteriza por la presencia de oxígeno.



Particularmente el compostaje cumple el siguiente proceso:

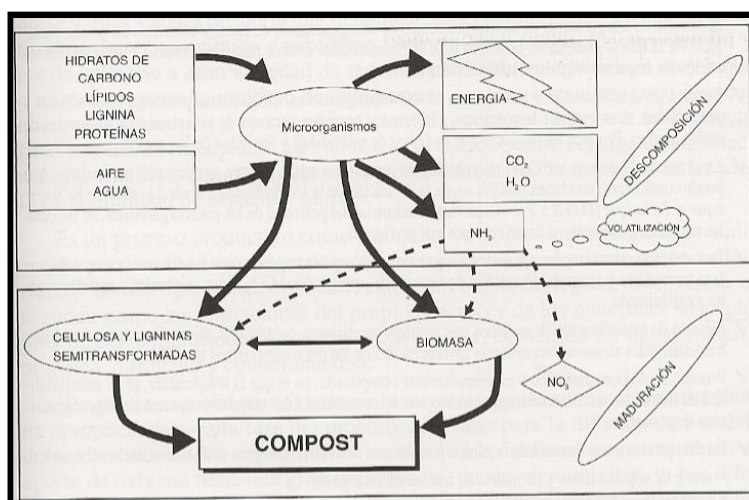


FIGURA 1.3: Esquema del proceso de compostaje

Fuente: Compostaje, M. Joaquín., y M. Raúl., 2008.

Proceso de descomposición anaerobio.

Proceso se caracteriza por la ausencia de oxígeno y producción de gas metano (FIGURA 1.4).

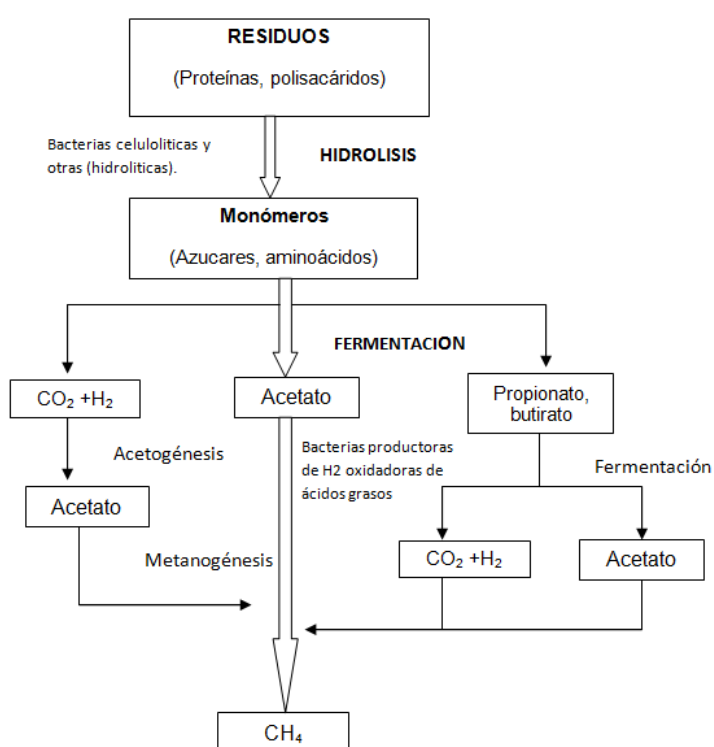
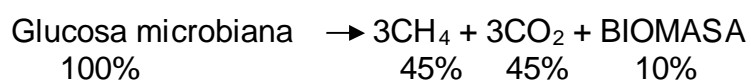


FIGURA 1.4: Esquema del proceso de descomposición anaeróbica.

Fuente: Facultad de Agronomía de la Universidad de la República

[23].

1.4 INTRODUCCIÓN A LAS ENMIENDAS ORGÁNICAS Y SUS PRINCIPALES PARÁMETROS DE PROCESO

Los abonos orgánicos bioproductos de origen animal, mineral y vegetal que se incorporan al suelo para modificar o mejorar las propiedades y características físicas, químicas y biológicas, o que se aplican al follaje para potenciar su vigor y resistencia, la aplicación de estos bioinsumos permite aportar elementos nutritivos en forma orgánica al suelo, con lo que se incrementa el nivel de fertilidad así como la reserva de los mismos [11, 24].

Su composición química varía de acuerdo a múltiples factores, entre estos: proceso de elaboración, duración del mismo, actividad biológica y tipos de materiales que se utilicen [38, 48].

ENMIENDAS ORGÁNICAS SÓLIDAS.

La elaboración de enmiendas orgánicas sólidas se puede describir como el proceso por el cual la materia orgánica prima es descompuesta de forma controlada, imitando los ciclos naturales de fermentación. Este proceso de descomposición es realizado principalmente por medio de bacterias aeróbicas termófilas y las temperaturas alcanzadas son superiores a los 60°C [25].

TABLA 5: Caracterización de las Enmiendas Orgánicas Solidas

Indicadores/Parámetros	Rango
Químicos	
Nitrógeno total (N)	0,5 - 2,5 %
Fósforo (P)	0.1 - 1.3%
Potasio (K)	1.5 - 3.0%
Carbono Total	54%
Materia Orgánica (MO)	20 - 35 %
Conduct. Eléctrica (CE)	5 -25 mS/cm
pH	6,5 - 8,5
Coef. Inter. Catiónico (CIC)	> 60meq/100g
Ácidos Húmicos	5 - 15 %
Físicos	
Humedad	30 - 40 %
Microbiológicos	
Hongos y levaduras	1,00E+03 - 1,00E+05 CFU/g
Actinomicetos	1,00E+06 - 1,00E+06 CFU/g

Fuente: María Isabel Jiménez, 2009.

Métodos usados para su elaboración.

Compostaje: El compost es el producto estabilizado e higienizado que se obtiene de la descomposición biológica oxidativa (aeróbica) de materiales orgánicos frescos de desechos animales y vegetales, en la cual la principal transformación la sufren los carbohidratos y las proteínas.

Para la elaboración de compost se requieren los siguientes materiales [59]:

- Fuente de materia carbonada (rica en: celulosa, lignina, azúcares).
- Fuente de materia nitrogenada (estiércoles, sangre, hierba tierna).
- Fuente de materia mineral (cal agrícola, roca fosfórica, ceniza vegetal, tierra común, agua).

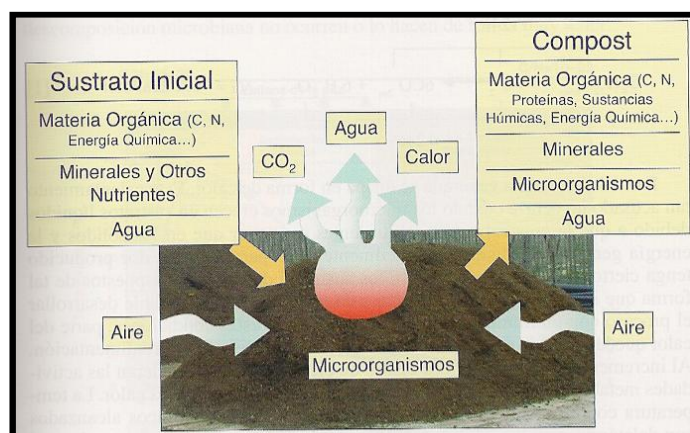


FIGURA 1.5: Esquema general del proceso de Compostaje

Fuente: Compostaje, M. Joaquín., y M. Raúl ., 2008.

Vermicompost: Es el resultado de la acción de las lombrices domésticas (roja californiana) sobre la materia orgánica. Como se aplica materia orgánica ésta se calienta y puede llegar a 70°C, por lo que hay que airear

y humedecer, manteniendo una humedad adecuada del 75% para contribuir a su proliferación [12].

Está compuesto principalmente por carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio e hidrógeno, encontrándose también una gran cantidad de microorganismos y de enzimas que desintegran la materia orgánica así como una alta concentración bacteriana. Las cantidades de estos elementos dependerán de las características del sustrato utilizado en la alimentación de las lombrices [19, 59].

Es un abono rico en fitohormonas, sustancias producidas por el metabolismo de las bacterias, que estimulan los procesos fisiológicos de la planta. Estos agentes reguladores del crecimiento son: *Auxina*, *Gibberelina* y *Citoquinina* [19].

Troceado y molido: Es un proceso independiente o complementario para el ataque microbiológico como

labor previa a la elaboración de compost y vermicompost [11].

En la actualidad la actividad bananera está utilizando técnicas para aprovechar el raquis y así aportar nutrientes y materia orgánica al suelo.

Beneficio de las enmiendas orgánicas sólidas [30]

- Mejora cualidades físicas como textura y estructura
- Mejora la biodiversidad
- Fuente de nutrientes
- Supresor de enfermedades de plantas

ENMIENDAS ORGÁNICAS LÍQUIDAS.

Consiste en soluciones de agua con estiércol fresco o previamente compostado y elementos nutritivos mayores y/o menores, la adición de microorganismos eficientes, melaza y en ocasiones levaduras que hacen que el producto final sea un bioestimulante y supresor de problemas fitosanitarios [30].

Los abonos orgánicos líquidos son un buen complemento a la fertilización integral aplicada al suelo, ricos en nitrógeno

amoniaco, hormonas, vitaminas, aminoácidos y una gran cantidad de microorganismos beneficios que permiten regular el metabolismo vegetal y además puede ser un buen complemento a la fertilización integral aplicada al suelo de manera confiable [59].

Métodos usados para su elaboración.

Orina: Es un producto líquido rico en nitrógeno. Se estima que 1 litro de orina equivale a 20 gramos de nitrógeno.

Es necesario que la orina se guarde en un recipiente con tapa para evitar malos olores, moscas y que además se pierda su valor fertilizante [59].

Té de estiércol: Es una preparación que convierte el estiércol sólido en un abono líquido mediante un proceso aeróbico. En el proceso de hacerse té, el estiércol suelta sus nutrientes al agua y así se hacen disponibles para las plantas [59].

Biol: El biol es una fuente de fitorreguladores, que se obtiene como producto de descomposición anaeróbica de

los desechos orgánicos y su elaboración es muy simple como se muestra en la FIGURA 1.6 [25].

Es capaz de promover actividades fisiológicas y de estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para las siguientes actividades agrícolas: enraizamiento, acción sobre el follaje, mejoramiento de la floración y aumenta la germinación de las semillas.

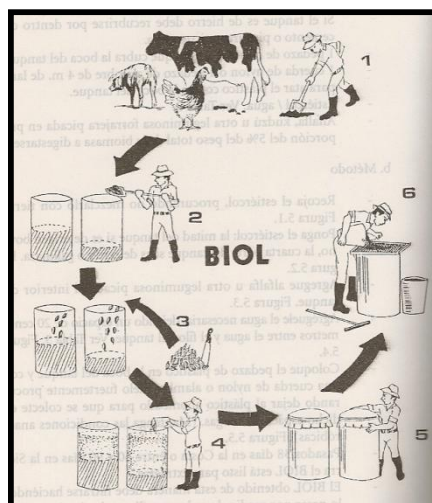


FIGURA 1.6: Pasos para la elaboración artesanal de Biol

Fuente: Manuel Suquilanda V, 1996.

Purines: El purin es un bioinsumo que sirve para el control de plagas y enfermedades muy eficaz. Se trata de un líquido obtenido a través de la fermentación de hierbas, restos vegetal es y/o estiércol [46].

Los ingredientes utilizados en la preparación del purin también determinan donde y para que pueden ser utilizados. Los purines aportan al suelo del cultivo una gran cantidad de sustancias beneficiosas que se traducen en aumento de la disponibilidad de nutrientes, disminución de las plagas, una mayor fijación de nitrógeno y disponibilidad de carbono [46].

Lixiviados de compost: Es el producto que se obtiene a partir de la descomposición de la materia orgánica en un proceso de compostaje, es rico en metabolitos secundarios y en microorganismos benéficos.

Beneficio de las enmiendas orgánicas líquidas [30]

- Fuente de nutrientes
- Fuente de componentes orgánicos
- Fuente de la fauna microbial
- Supresor de enfermedades de plantas

PARÁMETROS DEL PROCESO.

Temperatura: Es el parámetro que mejor indica el desarrollo del proceso. Debe mantenerse entre 35°C-65°C. Cada grupo de microorganismos tiene una temperatura óptima para realizar su actividad: criófilos de cinco a 15°C, mesófilos de 15 a 45°C o termófilos de 45 a 70°C. El grupo de microorganismos favorecido descompondrá la materia orgánica para obtener materia y energía, y en la operación se emitirá calor que puede hacer variar la temperatura de la pila de residuos, dependiendo del volumen de la pila y de las condiciones ambientales [61].

Durante el proceso se observan tres fases en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial ($T < 45^{\circ}\text{C}$), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C}$); y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se llega a la temperatura inicial [17].

Humedad: La presencia de agua es imprescindible para los requerimientos fisiológicos de los microorganismos, ya que es el medio de transporte de las sustancias solubles que sirven de alimento a las células, y de los productos de desecho de las reacciones que tienen lugar durante el proceso [17].

La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa, para que permita la circulación tanto del oxígeno como la de otros gases [17, 71].

Los valores de humedad para que pueda darse una descomposición aeróbica están entre el 30%-70%; además hay que evitar valores inferiores a este rango ya que dificultan la actividad biológica, valores superiores a este rango hace que el agua desplaza al aire en los espacios libres existentes entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno y produciéndose una anaerobiosis. Sin embargo, la humedad óptima se encuentra entre el 40% al 45% dependerá del tipo de residuo ya que durante el proceso se debe llegar a un equilibrio entre los huecos entre partículas que pueden llenarse de aire o de agua [17, 26, 36, 65].

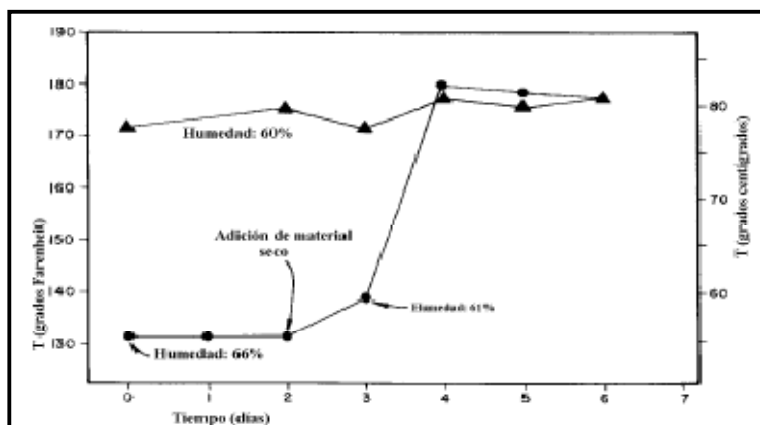


FIGURA 1.7: Relación entre la temperatura y humedad en el proceso de compostaje

Fuente: Ricardo Agreda G., y María Deza C.

Densidad aparente: Es la relación que existe entre el peso del material y el volumen. La mayor parte del compost presenta una densidad aparente entre 400 y 700 kg.m^3 lo cual se ve afectado por la humedad del producto, la distribución de las partículas, el contenido de materia orgánica y su grado de descomposición. La densidad se va incrementando con el tiempo de compostaje, como consecuencia de una mayor descomposición y reducción tamaño de las partículas [17].

pH: El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. Mediante el seguimiento del pH se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en

algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH [1, 17, 58].

Durante la fase mesófila inicial se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más frágil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. En la segunda fase se produce una alcalinización debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de proteínas. La tercera fase el pH tiende aproximadamente a la neutralidad, debido a la formación de los compuestos húmicos que tienen propiedades de tampón, aunque el pH para el producto final es entre siete y ocho, y durante el proceso se mantiene por encima de 7,5 cual es síntoma de una buena descomposición [1, 17, 54, 57].

Aireación: Es necesario asegurar el oxígeno para que se realiza un correcto desarrollo del compostaje ya que los microorganismos que intervienen son aerobios y controlados otros factores como la temperatura o la humedad; además, es necesaria ya que durante la fase biooxidativa, el porcentaje inicial

de oxígeno puede verse reducido hasta en un 20%, mientras que el dióxido de carbono aumenta hasta un cinco% [1, 18].

Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18-20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el dióxido de carbono va aumentando [1, 17, 18].

Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por los anaerobios que se expresa en retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores.; en cambio un exceso en la ventilación puede provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos [4, 17, 70].

Los niveles óptimos de oxígeno, dependen a su vez de otros factores tales como el tipo de materia prima, textura, humedad, frecuencia de volteo y/o presencia o ausencia de sistemas de aireación forzada [1].

Conductividad Eléctrica (CE): La Conductividad Eléctrica tiende generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento en la concentración de nutrientes. Ocurre a veces un descenso de la CE durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por una humectación excesiva de la misma. Sus valores al iniciar y finalizar el proceso no deben superar los 3000us/cm [17, 28].

1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE AERÓBICO

Una instalación de compostaje es un conjunto de operaciones diferentes que producen compost y una serie de subproductos a partir de distintas materias primas [17].

Proceso Biológico

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 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 [50].

Utilizando como criterio las temperaturas alcanzadas en el núcleo, podemos diferenciar las siguientes etapas:

Etapas de latencia: Es la etapa inicial, empieza el crecimiento de los microorganismos que se manifiesta por un aumento de la temperatura, con respecto a la temperatura del material inicial [50].

Si son correctos el balance C/N, el pH y la concentración parcial de oxígeno, entonces la temperatura ambiente y fundamentalmente la carga de biomasa microbiana que contiene el material, son los dos factores que definen la duración de esta etapa [50].

Etapa mesófila 1 (10-40°C): La duración de esta etapa es variable. En esta etapa, abundan las bacterias y hongos mesofílicos. El número de actinomicetos permanece relativamente bajo. Debido a la actividad metabólica de todos estos microorganismos la temperatura aumenta hasta 40°C, el PH disminuye desde un valor neutro hasta 5, debido a la descomposición de lípidos y glúcidos en ácidos pirúvicos y de proteínas en aminoácidos [14].

La relación C/N es de especial importancia ya que el carbono aportara la energía a los microorganismos y el nitrógeno es esencial para la síntesis de nuevas moléculas, por ello la relación debe estar entorno 30 y la humedad debe mantener siempre entorno 40-60%, ya que el agua distribuye los nutrientes por la masa (C, N, P, K, B, Ca, Mg, Na, etc). Además, se destacan las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila, en concordancia con oxidaciones aeróbicas (respiración aeróbica); se produce la acidificación de la materia y degradación de fracciones de carbono débiles. [50, 65].

Etapa termófila (40-75°C): Cuando la temperatura alcanza los 75°C las poblaciones de bacterias y hongos mesofílicos mueren o permanecen en estado de dormancia mientras que las bacterias termofílica, actinomicetos y hongos termofílicos encuentran su

óptimo, produciéndose CO₂ en volúmenes importantes que difunden desde el núcleo a la corteza eliminando todos los mesófilos patógenos, hongos, esporas, semillas, larvas de insectos y elementos biológicos indeseables [14, 65].

La degradación de los ácidos obtenidos en la etapa anterior provoca el incremento del pH pasando desde 5,5 hasta 7,5 donde permanecerá casi constante hasta el final del proceso, el color del compost se pone más oscuro paulatinamente y el olor original se comienza a sustituir por olor a tierra. Es en esta etapa cuando comienza la esterilización del residuo debido a las altas temperaturas, la mayoría de las semillas y patógenos como E.Coli mueren al estar sometidos durante días a temperaturas superiores a 55°C [14, 50].

Etapas mesófila 2: Con el agotamiento de los nutrientes y la energía la actividad de los termófilos empieza a escasear hasta desaparecer, consecuentemente la temperatura en la pila desciende desde los 75°C hasta la temperatura ambiente. Cuando la misma se sitúa aproximadamente a temperaturas iguales o inferiores a los 40°C se desarrollan nuevamente los microorganismos mesófilos que utilizarán la energía. Esta etapa se la conoce

generalmente como etapa de maduración cuando la temperatura desciende hasta temperatura ambiente se dice que el material se presenta estable biológicamente y se da por culminado el proceso [14].

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. La biomasa puede permanecer constante por un cierto período aún cuando la gran mayoría de la población este no viable [42, 50].

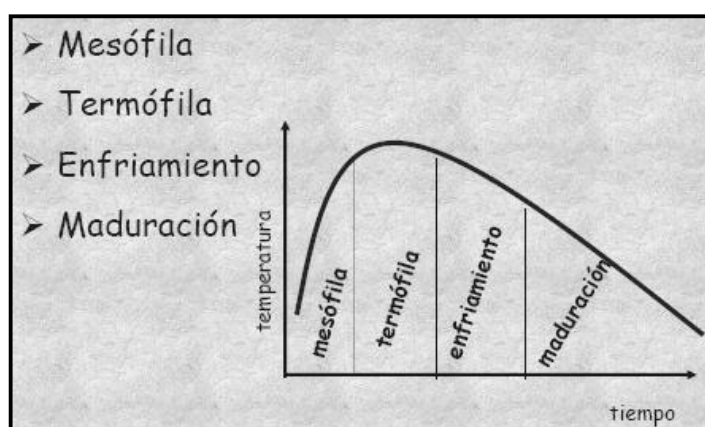


FIGURA 1.8: Etapas en el proceso de Compostaje

Fuente: Facultad de Agronomía de la Universidad de la República

[23]

1.6 SISTEMAS DE COMPOSTAJE

Existen varios sistemas de compostaje, no obstante, el objetivo de todos es además de transformar los residuos en compost, conseguir las condiciones consideradas letales para patógenos, parásitos, elementos germinativos y asegurar el aprovechamiento de todos los subproductos que genere el proceso de compostaje como es el caso del lixiviado [50].

Sistemas abiertos

La forma de amontonamiento del material es muy variado (pilas, mesetas, zanjas, etc.), así como sus métodos de manipulación. Lo más usual es utilizar sistemas dinámicos por medio de la disposición de volteos, siendo menos frecuentes que los métodos estáticos, con sistemas con aireación pasiva o forzada [42].

De acuerdo al método de aireación utilizado este sistema se subdivide además en:

- **Sistema en Camellones o Pilas Móviles:** cuando la aireación homogeneización se realiza por remoción y reconfiguración de las pilas.

- **Sistema de Camellones o Pilas Estáticas:** cuando la aireación se realiza mediante instalaciones fijas en las áreas o canchas de compostaje (métodos Beltsville y Rutgers) que permiten realizar una aireación forzada sin necesidad de movilizar las parvas [50].

Sistemas semi-cerrados

En este tipo de sistemas todo el conjunto de operaciones que se realizan se encuentran dentro de un contenedor cubierto y cerrado que dispone de un sistema de extracción de la atmosfera interior a través de tuberías colocadas a lo largo del techo; bajo este sistema se logra un mejor control de las operaciones [42].

El sistema más conocido es el de las trincheras o calles en las que el material se coloca entre muretes longitudinales y es volteado [42].

Sistemas cerrados o compostaje en reactores

En este sistema el material a compostar nunca está en contacto directo con el exterior, sino a través de un sistema de conductos y turbinas, facilitando el tratamiento de los olores generados en el proceso [42].

En este tipo de sistemas las distintas variables del proceso podrían ser registradas, controladas y optimizadas. Esto daría como resultado una degradación más rápida y completa minimizando el impacto ambiental [42].

1.7 CALIDAD DE LAS ENMIENDAS ORGÁNICAS

La calidad de las enmiendas orgánicas se determina a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas, que dependen esencialmente del uso que se le vaya a dar (TABLA 6) [3, 32, 34].

La calidad de una enmienda orgánica deben estar dirigidos a conseguir: aspecto y olor aceptables, higienización correcta, impurezas y contaminantes a nivel de trazas, nivel conocido de componentes agrónomicamente útiles y características homogéneas y uniformes [42].

TABLA 6: Parámetros para evaluar la calidad de un compost dependiendo del uso

PARÁMETRO DE CALIDAD	USO			
	SUSTRATO PARA SEMILLERO	VENTA COMO SUSTRATO	ENMIENDA O ABONO ORGÁNICO	MULCH
Respuesta al crecimiento	++	++	++	-
Contenido en nutrientes	-	+	+	-
pH/Sales solubles	++	++	+	-
Color/Olor	++	++	+	+
Presencia de inertes	+	++	-	+
Maduración/Estabilidad	++	++	+	-
Tamaño de partículas	++	+	+	+

(-) baja importancia; (+) moderada importancia: (++) alta importancia

Fuente: Sullivan y Miller, 2001.

De acuerdo al nivel de calidad, el compost tiene dos clases:

Clase A: Debe cumplir con las concentraciones máximas de metales pesados (TABLA 7). Su conductividad eléctrica debe ser menor a tres milisiemens por centímetro (tres mS/cm) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 25 [28].

Clase B: debe cumplir con las concentraciones máximas de metales pesado para este tipo de clase. Su conductividad eléctrica debe ser menor a ocho milisiemens por centímetro (ocho mS/cm) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 30 [28].

TABLA 7: Concentraciones máximas de metales pesados en compost

Metal pesado	Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca) ¹⁾
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Níquel	20
Plomo	100
Zinc	200
1) Concentraciones expresadas como contenidos totales.	

Fuente: Instituto Nacional de Normalización (INN), Chile.

Los factores a considerar contemplan las propiedades físicas, químicas y biológicas de los productos, con la finalidad de conocer el comportamiento del compost como se muestra en el APÉNDICE I, a su vez también se evalúan la madurez y la estabilidad como índices de calidad [42].

La evaluación de la madurez consiste en valorarla presencia de sustancias fitotóxicas de carácter orgánico que son producidas durante la fase más activa del proceso de compost, esto se muestra en la TABLA 6 Los compost que pueden ser aplicados al campo

desde este punto de vista presentan concentraciones insignificantes de componentes fitotóxicos tipo NH_3 [20, 28, 42].

TABLA 8: Métodos de Ensayo

Determinación de parámetros de madurez del compost	
Ensayo	Métodos a utilizar
Evolución de CO_2	TMECC 05.08-B ⁴⁾
Absorción de oxígeno	TMECC-05.08-A
Autocalentamiento	TMECC 05.08-D
Germinación de semillas de rabanito	TMECC 05.05-A
Ensayo de Solvita [®]	TMECC 05.08-E
1) Este método se debe emplear en forma obligatoria para ratificar resultados. 2) Este método se puede utilizar como alternativa para la determinación de carbono orgánico, considerando un factor de conversión de 1,8. 3) Se debe reemplazar tamiz de 15 mm por tamiz de 16 mm y tamiz de 5 mm por tamiz de 4 mm. 4) Se expresa como mg de C-CO_2 /g de materia orgánica por día.	

Fuente: Instituto Nacional de Normalización (INN), Chile.

La estabilidad del compost es el grado de descomposición de la materia orgánica en función directa del nivel de actividad de la biomasa microbiana que se evalúa mediante la respiración y determinada por medio del O_2 consumido, el CO_2 desprendido o el calor producido que se evalúa mediante la respiración. Los compost estables permanecen fríos cuando son envasados, puesto que no continúa la degradación de la materia orgánica [7, 63, 68].

TABLA 9: Parámetros para el control de estabilidad del compost.

Algunos Parámetros de control de estabilidad del Compost	
Temperatura	Estable
Color	Marrón oscuro-negro ceniza
Olor	sin olor desagradable
PH	alcalino (anaerobic. ,55°C,24 hs)
C/N	> =20
Nºde termófilos	decreciente a estable
Respiración	0 < 10 mg/g compost
Media	0 < 7.5 mg/compost
COD	< 700 mg/g (peso seco)
ATP	decreciendo a estable
CEC	> 60 meq/100 libre de cenizas
Actividad de enzimas hidrosolubles	Incrementándose-estable
Polisacáridos	< 30-50 mg glucidos/g. peso seco
Reducción de azucares	35%
Germinación	< 8
Nemmatodes	Ausentes

Fuente: Compostaje, M. Joaquín., y M. Raúl ., 2008.

Actualmente existen normativas que aportan con la documentación de acreditación de la utilidad y modo de empleo, para control de calidad mínimo. La Comisión Europea (Biological Treatment of Biowaste, 2nd draft) establece un procedimiento de trabajo y parámetros de control incorporado al proceso industrial del compostaje [20].

Además el Instituto Nacional de Normalización (INN) de Chile establece los siguientes parámetros para el control de la aceptación del compost (TABLA 10) (TABLA 11) y (TABLA 12):

TABLA 10: Análisis complementarios para determinar madurez en compost

Test del Grupo 1	Rangos de aceptación para compost
Evolución de CO_2 (Respiración)	Menor o igual a 8 mg de $C-CO_2$ /g de materia orgánica por día
Absorción de O_2	Menor o igual a 3,5 mg de oxígeno/g de materia orgánica por día
Autocalentamiento	Menor o igual a 20°C
Test del Grupo 2	
Relación Amonio / Nitrato	Menor o igual a 3
Concentración de Amonio	Menor o igual a 500 mg/kg
Contenido de ácidos orgánicos volátiles	Menor o igual a 300 mg/kg
Germinación de rabanitos	Mayor o igual a 80%

Fuente: Instituto Nacional de Normalización (INN), Chile.

TABLA 11: Requisitos microbiológicos

Tipo de microorganismo	Tolerancia
1. Coliformes fecales	< a 1 000 NMP por gramo de compost, en base seca
2. <i>Salmonella sp</i>	3 NMP en 4 g de compost, en base seca
3. Huevos de helmintos viables ¹⁾	1 en 4 g de compost, en base seca
NMP = Número Más Probable.	
1) El análisis sólo será exigible a requerimiento expreso de la Autoridad Competente.	

Fuente: Instituto Nacional de Normalización (INN), Chile.

TABLA 12: Contenido máximo de materiales inertes de tamaño $\leq 6\text{mm}$ en compost

Material	Dimensión (mm)	Cantidad (% masa en base seca)
Plásticos flexibles y/o películas	Mayor a 4	Menor o igual a 5
Piedras y/o terrones de barro	Mayor a 4	Menor o igual a 5
Vidrio y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos	Mayor o igual a 2	Menor o igual a 0,5

Fuente: Instituto Nacional de Normalización (INN), Chile.

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Materia Prima

Se utilizaron los residuos azucareros del Ingenio La Troncal localizado en el Cantón La troncal de la Provincia del Cañar, a los cuales se les realizó una caracterización (TABLA 13).

TABLA 13: Caracterización de Materia prima para la elaboración de las pilas de compost.

RESULTADOS			
MUESTRA	% HUMEDAD	% CENIZAS	% M. ORGÁNICA
Bagazo	46,539	4,476	48,985
Cachaza	86,751	2,739	10,510
Ceniza	53,903	40,139	5,958

Material Biológico

Se usaron dos fuentes de microorganismos producidos de manera diferente: uno artesanalmente en la hacienda San Humberto ubicada en el Cantón Taura de la Provincia del Guayas y el otro es un producto comercial cuyo nombre es Q Bio COMPOSTER elaborado por Quality Corporation.

2.2 Metodología

Fase de Campo

Se establecieron los porcentajes de cada uno de los residuos que conciernen a las tres formulaciones utilizadas, como se muestra en la TABLA 14:

TABLA 14: Porcentaje de residuos para cada una de las formulaciones

FORMULACIONES			
	BAGAZO(%)	CACHAZA(%)	CENIZA(%)
C1	25	50	25
C2	40	30	30
C3	50	25	25

Basándonos en la TABLA 14 junto a las variables: fuentes de microorganismos y método de aireación, se establecieron los tratamientos, como se muestra en la TABLA 15.

TABLA 15: Combinación de las fuentes de variación para los tratamientos

TRATAMIENTO	FUENTES DE MICROORGANISMOS	FORMULACIÓN	MÉTODO DE AIREACIÓN
T1	Locales	C1	Tubos
T2	Locales	C1	Volteo
T3	Locales	C2	Tubos
T4	Locales	C2	Volteos
T5	Locales	C3	Tubos
T6	Locales	C3	Volteos
T7	Comerciales	C1	Tubos
T8	Comerciales	C1	Volteos
T9	Comerciales	C2	Tubos
T10	Comerciales	C2	Volteos
T11	Comerciales	C3	Tubos
T12	Comerciales	C3	Volteos
T13	Ninguno	C1	Tubos
T14	Ninguno	C1	Volteos
T15	Ninguno	C2	Tubos
T16	Ninguno	C2	Volteos
T17	Ninguno	C3	Tubos
T18	Ninguno	C3	Volteos

Se estableció bajo un diseño de tres factores la agrupación de los tratamientos en el sitio de estudio. Los tratamientos quedaron agrupados como se muestra en la TABLA 16.

TABLA 16: Agrupación de los tratamientos

# FILA	R1	R2	R3
1	T5	T1	T5
2	T13	T17	T9
3	T17	T13	T1
4	T15	T5	T17
5	T11	T15	T7
6	T1	T9	T3
7	T7	T11	T13
8	T9	T3	T15
9	T3	T7	T11
10	T14	T6	T14
11	T4	T14	T4
12	T16	T10	T8
13	T8	T18	T6
14	T6	T2	T2
15	T12	T8	T12
16	T18	T4	T16
17	T2	T12	T10
18	T10	T16	T18

Se realizaron las pilas para el compost, las mismas que tuvieron una medida de ocho metros de largo por 2,5 metros de ancho y 1,5 metros de altura. Las pilas fueron realizadas con una cargadora para poner el material en cada sitio de los tratamientos.

Para la aplicación de los microorganismos comerciales se tomó la dosis recomendada por el fabricante (4,5 g/t), los que fueron reproducidos en un tanque de 1000 litros de agua durante 24 horas. Para la aplicación de los microorganismos locales se aplicó la dosis normalmente usada por el agricultor (1 l/kg), el cuál fue directamente suministrado con una mochila tipo C3 a la pila de compost como se muestra en la FIGURA 2.1.



FIGURA 2.1: Aplicación de Microorganismos

Una vez terminada la instalación de las pilas (FIGURA 2.2), se colocaron los tubos en los tratamientos que correspondían. Los tubos tuvieron una medida de un metro de largo y fueron colocados en tres lugares de cada pila, los mismos que permanecieron constantes durante el proceso de compostaje.



FIGURA 2.2: Pilas de Compost

A su vez en los tratamientos con el método de aireación de volteo, se realizó el volteo dos veces por semana a cada pila antes de tomar la lectura de los parámetros en estudio (FIGURA 2.3).



FIGURA 2.3: Volteo de Pilas

Parámetros a evaluar

Temperatura: Las lecturas para temperatura se tomaron en la parte media de cada pila antes de realizar el volteo en las pilas

que correspondía como se muestra en la FIGURA 2.4. Las lecturas fueron dos veces por semana con un termómetro para pilas de compost durante todo el proceso.

Altura: La altura se valoró en la parte media de cada pila con una regla vertical durante todo el proceso de compostaje con frecuencia de dos veces por semana (FIGURA 2.4).



FIGURA 2.4: Medición de Temperatura y Altura en las pilas de compost

Fase de laboratorio

Se recolectaron muestras en el campo de cada tratamiento y sus repeticiones, las mismas que fueron mezcladas dependiendo del tratamiento correspondiente.

Parámetros a evaluar

Cromatografía de papel: Es una técnica cualitativa que ofrece una descripción general de la actividad, salud y dirección biológica del suelo o compostas analizadas (FIGURA 2.5).

Para realizar la técnica se mezcló la muestra (1,25 g) con 25 ml de una solución alcalina (hidróxido de sodio, NaOH al 1%) dejando decantar por 24 horas. Luego se hicieron tres agujeros en los discos para delinear las capas que posteriormente se presenten [13, 22].

Para preparar el disco se lo impregnó con nitrato de plata al 95% por medio de una mecha de papel filtro hasta el primer agujero y se lo coloca en una cámara oscura durante seis horas como mínimo envuelto en papel absorbente.

En el momento que se cumplieron estos procedimientos previos, se realizó la corrida de las muestra mediante una segunda impregnación con una mecha de papel filtro.

Una vez obtenidos los discos se midieron las diversas capas de cada disco. Estas medidas se tomaron al principio y al final del proceso [22].

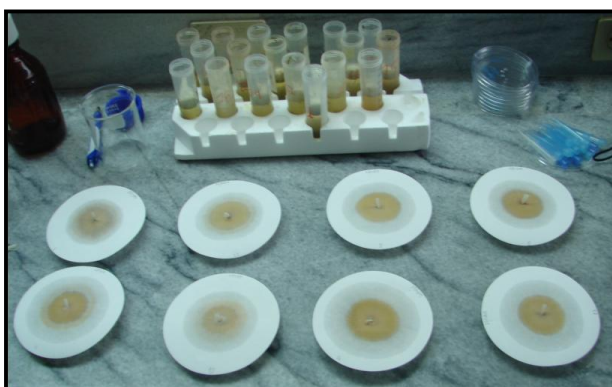


FIGURA 2.5: Cromatografía de papel (método del cromatograma o cromatografía de Pfeifer).

Conductividad Eléctrica, Salinidad y Solutos Totales: Se pesaron 10 g de muestra se diluyeron en 50 ml de agua destilada (dilución 1:5, p:v) y se dejó en agitación por 24 horas para que se realice una mezcla homogénea, de acuerdo a lo establecido en el método TMECC 04.10 que pertenece a la Norma Chilena 2880. Luego se tomó la lectura con un conductímetro METTLER

TOLEDO GmbH S67 (SevenGo pro), después de ser calibrado solución buffer para conductividad de pH 4 (FIGURA 2.6) [28, 29].

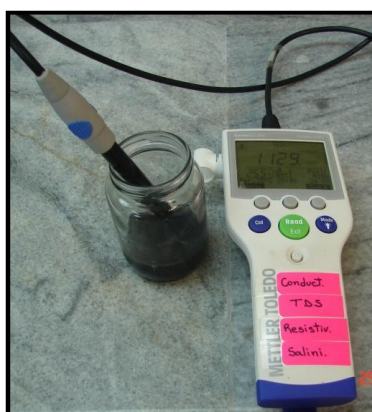


FIGURA 2.6: Medición de la Conductividad Eléctrica

Densidad aparente: Se efectuó por el método de desplazamiento de líquido que consistió en llenar una probeta con agua destilada hasta 70 u 80 ml y pesar 10 gr de la muestra a analizar. Luego inclinando la pipeta con cuidado para no derramar el agua, se introdujo en ella el material. Finalmente, enderezando la probeta, se procedió a leer el nuevo volumen de agua. La diferencia de los dos volúmenes corresponde al volumen del sólido.

El cálculo de la densidad aparente se la realizó mediante la fórmula $D=M/V$ [64].

pH: Se pesaron 10 gr de muestra antes tamizada y se mezcló en 50 ml de agua destilada (relación 1:5, p:v) manteniendo en agitación. Posteriormente se midió el pH como se muestra en la FIGURA 2.7 una vez estabilizada la lectura [62].



FIGURA 2.7: Medición de PH

Población Microbiana: Se realizó mediante siembra líquida en medio agar nutritivo con seis diluciones (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6}) para cada tratamiento.

La primera dilución (10^{-1} o 1/10) se preparó mezclando un gramo de la muestra en nueve ml de agua destilada. A partir de ésta, se realizaron diluciones decimales seriadas, tomando un ml de la dilución anterior mezclándolo con nueve ml de agua destilada hasta obtener la dilución 10^{-6} .

Se sembraron mediante siembra líquida (FIGURA 2.8) las diluciones 10^{-4} , 10^{-5} y 10^{-6} con el objetivo de realizar un mejor conteo microbiano. El conteo se lo realizó a las 24 horas después de la realización de la siembra.



FIGURA 2.8: Siembra líquida para obtención de microorganismos

Contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes, relación C/N y porcentaje de humedad: Los análisis de materia orgánica, macro y micronutrientes, así como la determinación del porcentaje de humedad y de la relación C/N se lo realizó en un laboratorio particular autorizado.

2.3 Análisis de la calidad del proceso de compostaje

Con los datos recolectados en el proceso se determinaron las curvas de compostaje para los parámetros más importantes con el objetivo de identificar el tratamiento que mejor se desarrolló a lo largo del proceso.

2.4 Análisis de la calidad del producto final

Se recolectaron muestras al inicio y al final del proceso, las mismas que fueron analizadas para determinar su contenido de macro y microelementos, porcentaje de humedad, materia orgánica, pruebas de población microbiana y relación C/N; se analizaron además mediante el método de cromatografía de papel de Pfeifer. Estos resultados se compararon entre sí para determinar el grado de madurez que tenían los productos al momento de su recolección.

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

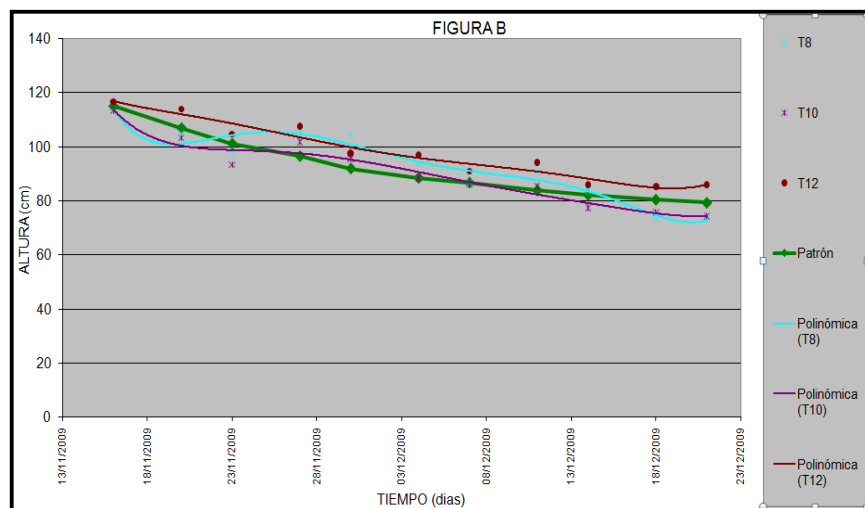
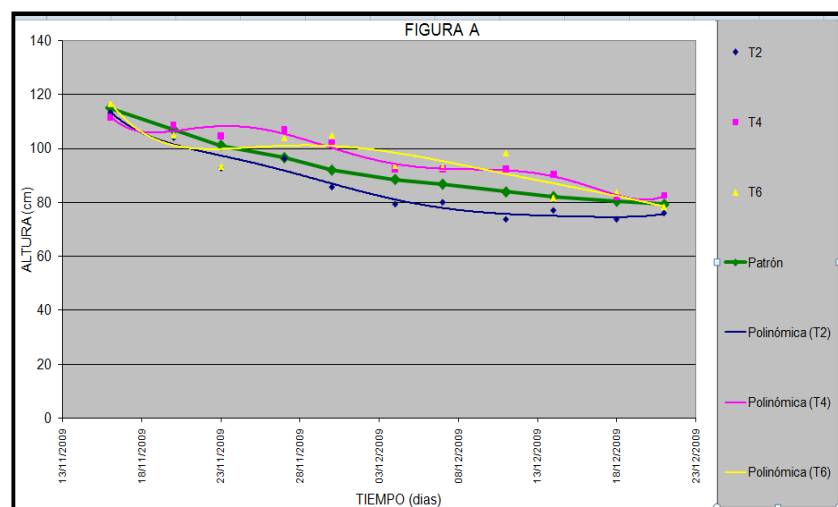
El método de aireación por tubos demostró ser muy poco eficiente para el material que se compostó, por tal motivo, el análisis de resultados y la discusión se la realizará en base a los tratamientos por aireación mecanizada.

3.1 Control del proceso de compostaje mediante parámetros físico-químicos.

A continuación se muestran los resultados de los parámetros medidos (altura, temperatura, pH y conductividad eléctrica).

- **Altura**

En la FIGURA 3.1 A, B y C se muestra la disminución de la materia de acuerdo a la pérdida de altura de las pilas. Para efectos de comparación se utilizó una curva patrón como modelo para evaluar la descomposición.



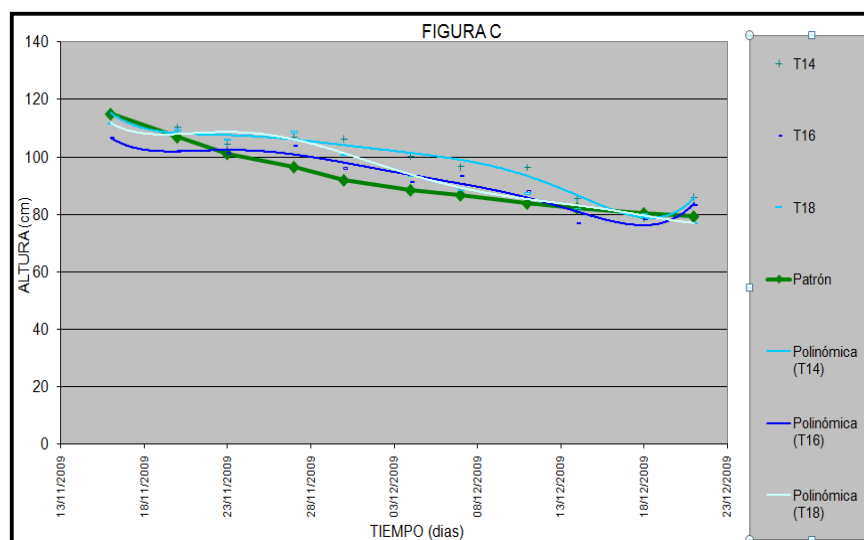
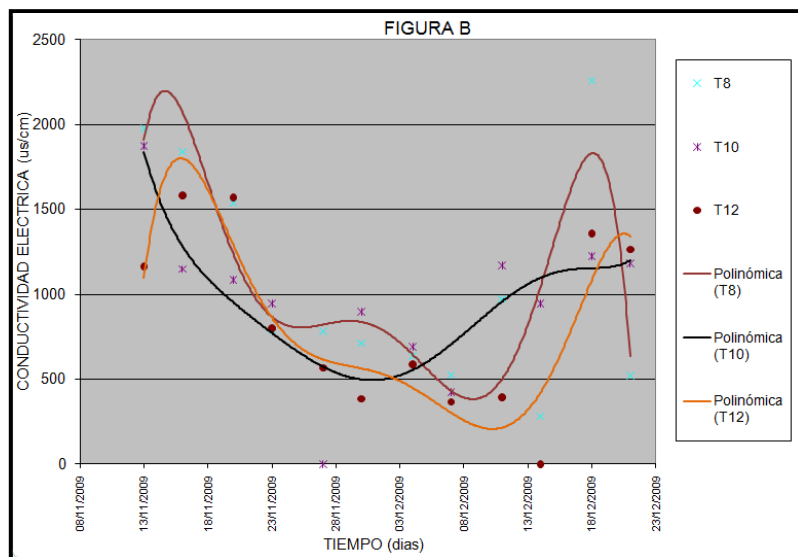
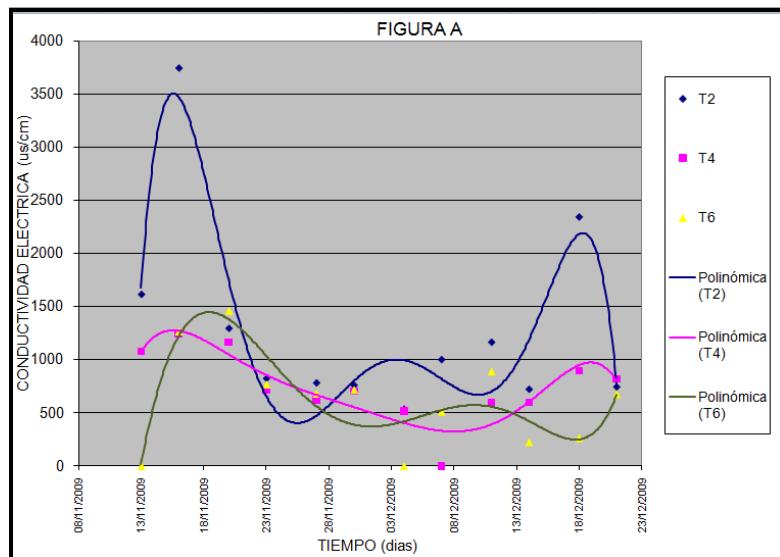


FIGURA 3.1: Variación de la altura a través del tiempo. A: Resultados correspondientes a los tratamientos T2, T4 y T6; B: tratamientos T8, T10 y T12; C: tratamientos T14, T16 y T18

Notoriamente todos los tratamientos presentaron una disminución de la materia orgánica acercándose a los rangos de descomposición requeridos que están entre el 20 y 30%, aunque los tratamientos que tuvieron una mayor velocidad de descomposición fueron T2 (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos), T8 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y volteos) y T10 (Microorganismos comerciales, Formulación dos y volteos). Sin embargo, no alcanzaron el índice de descomposición deseado que fue el del 50%

- **Conductividad Eléctrica**

En la FIGURA 3.2 A, B y C, se muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica de cada uno de los tratamientos.



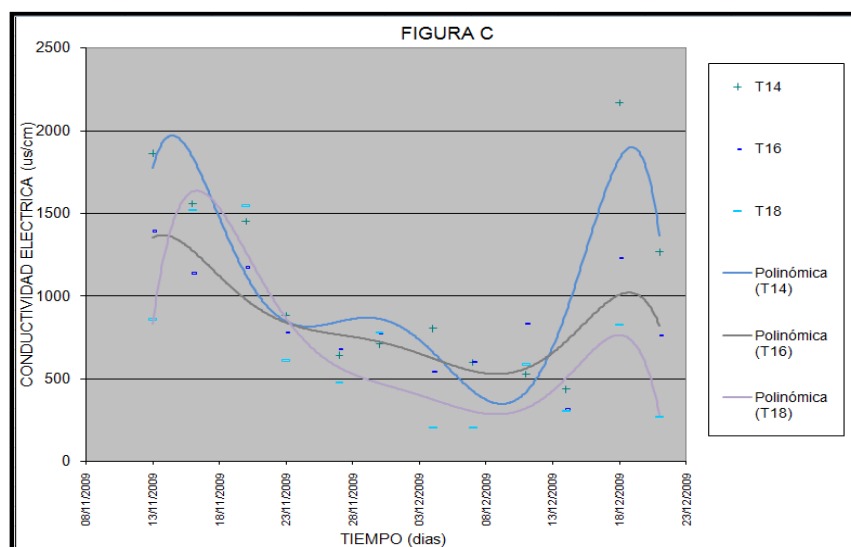
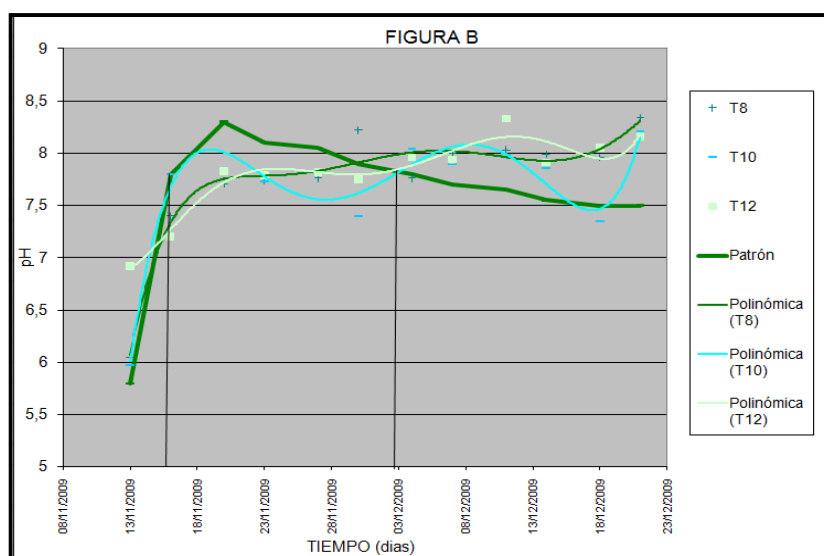
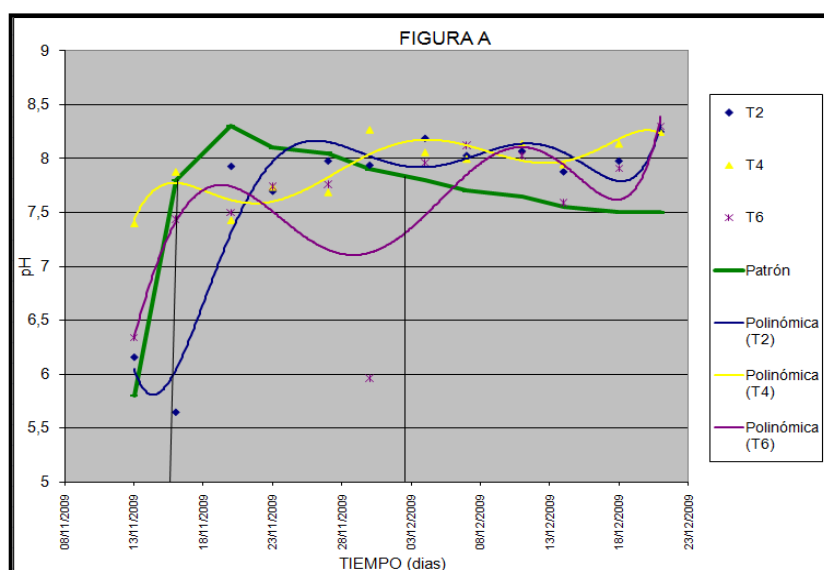


FIGURA 3.2: Variación de la conductividad eléctrica a través del tiempo. A: Resultados correspondientes a los tratamientos T2, T4 y T6; B: tratamientos T8, T10 y T12; C: tratamientos T14, T16 y T18.

Los T2 (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos), T12 (Microorganismos comerciales, Formulación tres y volteos) y T14 (Ninguno, Formulación uno y volteos) presentaron una curva de CE típica en descomposición, en estos tratamientos se pueden observar las fases de mineralización de la materia previamente descrita: es decir, la primera mineralización de la materia inicial, la segunda una lixiviación de metabolitos secundarios y material desecho en estado líquido rico en microorganismos, y la tercera, una última etapa de mineralización que nos indica el final de proceso.

- **pH**

En la FIGURA 3.3 A, B y C se muestran las variaciones del pH a través del tiempo. Para efectos de comparación se utilizó una curva patrón como modelo para la evaluación.



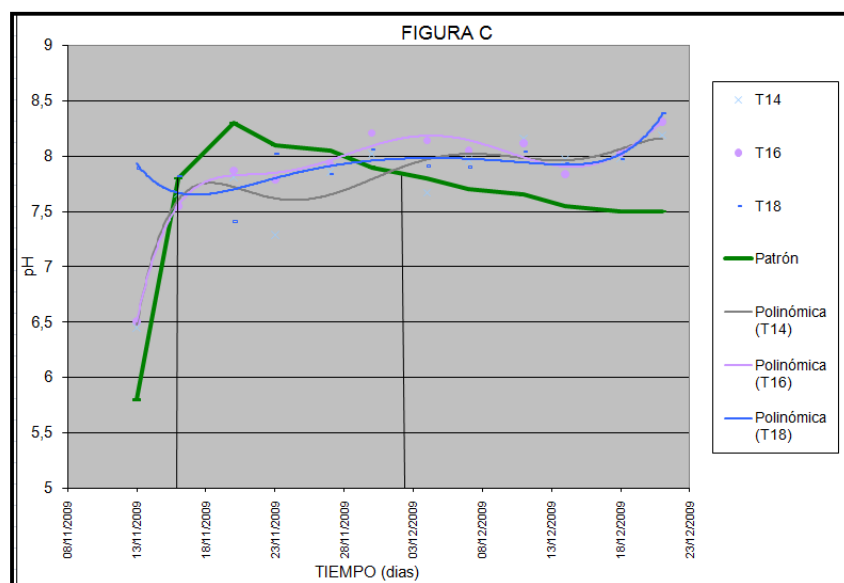
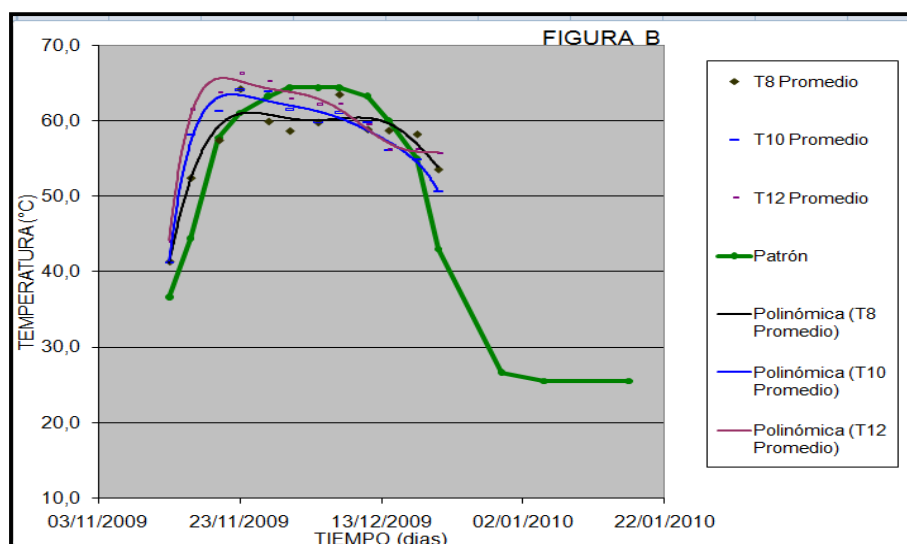
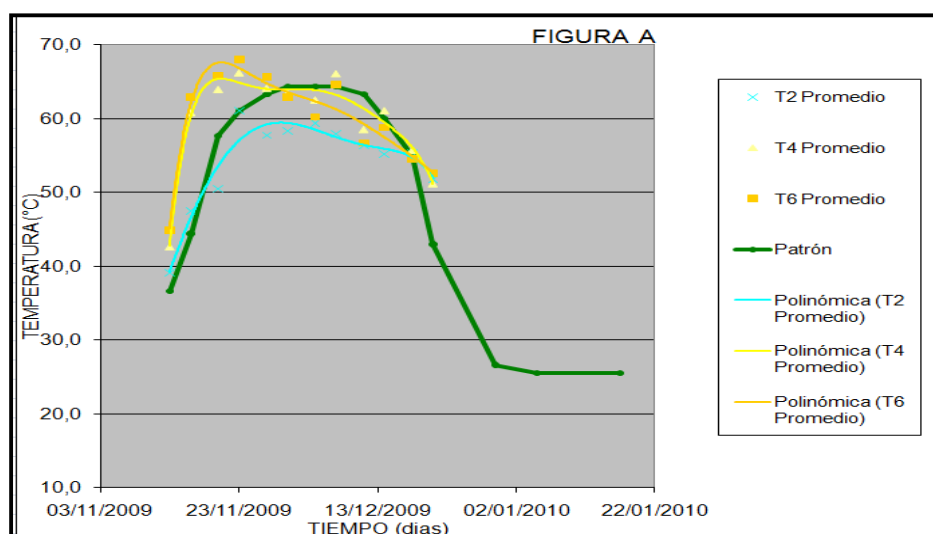


FIGURA 3.3: Variación del pH a través del tiempo. A: Tratamientos T2, T4 y T6; B: tratamientos T8, T10 y T12 y C: tratamientos T14, T16 y T18

Los valores de pH durante el proceso de descomposición siempre tendieron a la alcalinidad, exceptuando algunas evaluaciones del T6 (Microorganismos locales, Formulación tres y volteos); los tratamientos T2 (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos), T8 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y volteos), T10 (Microorganismos comerciales, Formulación dos y volteos) y T16 (Ninguno, Formulación dos y volteos), cumplieron las fases requeridas para una descomposición aeróbica. Así podemos observar, una fase de alcalinización inicial, una fase de acidificación y una maduración que tiende a la neutralidad.

- **Temperatura**

En la FIGURA 3.4 A, B y C se muestran las variaciones de la temperatura con respecto al tiempo. Se utilizó una curva patrón como modelo para la evaluación comparativa.



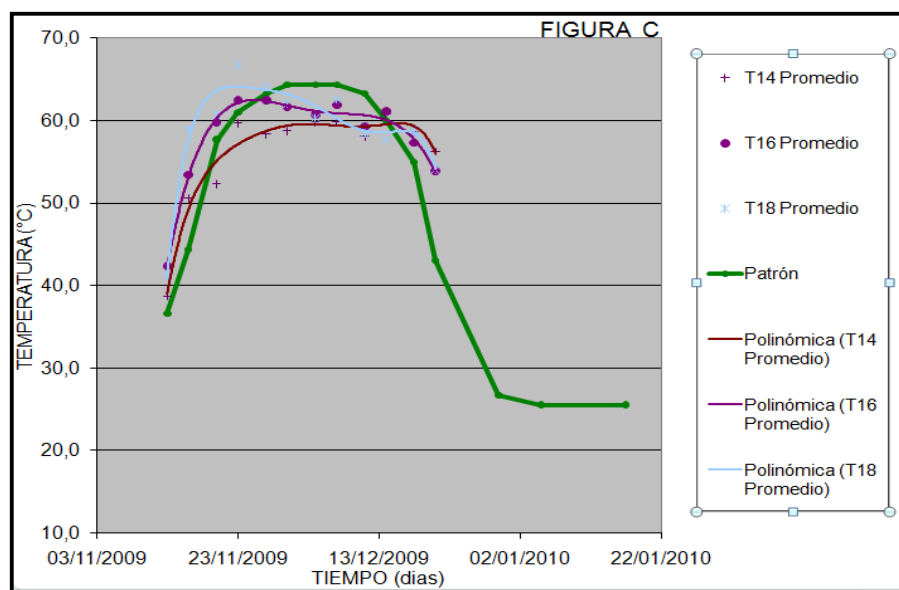


FIGURA 3.4: C. Variación de la temperatura a través del tiempo. A: Tratamientos T2, T4 y T6; B: tratamientos T8, T10 y T1; C: tratamientos T14, T16 y T18

Al iniciar el proceso todos los tratamientos excepto el T6 (Microorganismos locales, Formulación tres y volteos), presentaron una temperatura menor a 45°C, entre las dos primeras semanas de proceso todos los tratamientos incrementaron su temperatura por encima de los 60°C, así se cumplió la primera etapa mesofílica. Este incremento se mantuvo por un lapso de cuatro semanas lo cual garantiza que el producto final no contenga microorganismos patógenos ni contaminantes, esta constituyó la etapa termofílica. La temperatura comenzó a descender al finalizar la etapa termofílica para entrar a la última etapa, denominada mesofílica. Sin

embargo las temperaturas no descendieron hasta los niveles de maduración. Para lograr este objetivo se necesitarían cuatro evaluaciones adicionales.

3.2 Evaluación de la calidad final del compost producido

A continuación se presentan los resultados referidos a los parámetros medidos al inicio y al final del proceso (epígrafe 2.4) para poder valorar la calidad del compost producido.

- **Valores iniciales y finales de macronutrientes**

En la TABLA 17 A y B se muestran los valores iniciales y finales de macronutrientes para cada tratamiento.

TABLA 17: A. Valoración inicial de macronutrientes

TRATAMIENTO	MACRONUTRIENTES INICIAL				
	NITRÓGENO TOTAL (%)	FÓSFORO (%)	POTASIO (%)	CALCIO (%)	MAGNESIO (%)
1	0,27	1,11	0,3	2,12	0,69
2	0,81	2,03	0,26	3,08	0,89
3	0,83	0,67	0,24	1,56	0,65
4	0,71	1,56	0,28	2,47	0,74
5	0,93	0,396	0,27	1,58	0,51
6	0,68	1,73	0,25	2,71	0,76
7	0,89	1,87	0,36	2,68	0,72
8	1,03	2,31	0,23	3,43	0,82
9	0,63	1,3	0,2	1,96	0,79

10	0,6	1,69	0,25	2,56	0,73
11	0,57	1,07	0,27	1,98	0,69
12	0,59	1,12	0,22	1,85	0,54
13	0,74	1,66	0,26	2,48	0,58
14	0,84	1,53	0,31	2,45	0,81
15	0,55	1,43	0,25	2,13	0,63
16	0,63	1,002	0,2	2,08	0,76
17	0,47	1,37	0,23	2,13	0,58
18	0,62	1,5	0,21	2,52	0,84

TABLA 17: B. Valoración final de macronutrientes

TRATAMIENTO	MACRONUTRIENTES FINAL				
	NITRÓGENO TOTAL (%)	FÓSFORO (%)	POTASIO (%)	CALCIO (%)	MAGNESIO (%)
1	0,91	1,7	0,29	2,88	0,9
2	0,76	1,59	0,22	2,98	1
3	0,49	0,66	0,3	1,67	0,75
4	0,27	1,13	0,24	2,24	0,83
5	0,39	1,37	0,34	2,41	0,85
6	0,56	1,18	0,23	2,22	0,85
7	0,77	1,5	0,3	4,33	0,9
8	0,68	1,93	0,2	2,75	0,94
9	0,49	0,68	0,22	2,85	0,88
10	0,61	1,43	0,21	1,58	0,65
11	0,55	1,06	0,31	2,4	0,86
12	0,51	1,49	0,22	2,37	0,9
13	0,35	1,04	0,21	2,55	0,84
14	0,48	1,36	0,21	1,77	0,81
15	0,84	1,63	0,32	2,72	0,96
16	0,42	1,17	0,21	3,32	0,95
17	0,68	1,7	0,28	2,71	0,79
18	0,62	1,1	0,18	2,75	0,98

El contenido de Nitrógeno aumentó en los tratamientos T1, T10 y T15 durante el proceso de compostaje, mientras que el tratamiento T18 (Ninguno, Formulación tres y volteos) se mantuvo en su valor inicial y los demás tratamientos disminuyeron su contenido. El menor valor final se presentó en el tratamiento T4 (Microorganismos locales, Formulación dos y volteos) y el mayor valor final fue el del Tratamiento T1 (Microorganismos locales, Formulación uno y tubos).

El contenido de Fósforo se incremento al finalizar el proceso en los tratamientos T1, T5, T12, T15, T16 y T17. En el resto de los tratamientos el contenido de este macroelemento disminuyó debido al lavado de nutrientes por lixiviación. El menor valor final fue el del Tratamiento T3 (Microorganismos locales, Formulación dos y tubos) y el mayor se encontró en el tratamiento T8 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y volteos).

Para el contenido de Potasio se registró un aumento al final del proceso en los tratamientos T3, T5, T9, T11, T15 y T16; el tratamiento T12 (Microorganismos comerciales, Formulación tres y volteos) mantuvo su contenido inicial, mientras que en los restantes disminuyó el contenido potásico. El valor más alto de Potasio se

encontró en el tratamiento T5 (Microorganismos locales, Formulación tres y tubos).

Los tratamientos T2, T4, T6, T8, T10 y T14 disminuyeron su contenido de Calcio. El tratamiento T10 (Microorganismos comerciales, Formulación dos y volteos) presentó el menor valor final y T7 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y tubos) el mayor valor al finalizar el proceso.

El contenido de Magnesio se incrementó en todos los tratamientos con respecto a su valor inicial. Se exceptuaron los tratamientos T10 y T18 que lo disminuyeron y el T14, donde se mantuvo estable con respecto al valor inicial determinado. El tratamiento T10 (Microorganismos comerciales, Formulación dos y volteos) presentó el menor valor final, mientras que el T2 (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos) presentó el valor más elevado al finalizar el proceso de compostaje.

- **Valores iniciales y finales de micronutrientes**

En la TABLA 18 A y B se muestran los valores iniciales y finales de micronutrientes de cada tratamiento.

TABLA 18: A. Valoración inicial de micronutrientes

TRATAMIENTO	MICRONUTRIENTES INICIAL			
	MANGANESO (ppm)	COBRE (ppm)	HIERRO (%)	ZINC (ppm)
1	347,39	31,43	1,28	124,07
2	498,33	36,54	1,38	192,03
3	248,75	15,24	0,69	99,5
4	395,71	23,08	1,26	148,39
5	290,66	15,72	0,72	116,88
6	421,48	28,09	1,28	157,02
7	446,65	37,22	1,17	173,69
8	505,8	30,68	1,6	199
9	323,75	29,07	1,16	128,74
10	439,47	33,99	1,57	124,13
11	366,67	22,5	1,25	124,99
12	383,65	25,85	1,57	133,44
13	374,99	32,5	0,75	150,9
14	410,17	28,71	1,09	147,66
15	347,66	28,14	0,68	132,45
16	389,07	31,46	1,3	140,73
17	333,05	27,48	1,1	124,89
18	439,83	32,36	1,24	107,88

TABLA 18: B. Valoración final de micronutrientes

TRATAMIENTO	MICRONUTRIENTES FINAL			
	MANGANESO (ppm)	COBRE (ppm)	HIERRO (%)	ZINC (ppm)
1	547,57	41,29	1,91	121,18
2	580,87	98,3	1,78	142,98
3	317,3	13,46	0,96	67,3
4	401,45	22,81	1,12	91,24
5	413,6	25,73	1,41	101,1
6	428,44	26,43	0,95	109,38

7	424,02	32,68	0,73	114,84
8	522,05	36	1,49	126,01
9	267,38	15,15	0,75	53,47
10	448,18	30,78	1,58	113,23
11	373,83	26,17	0,93	93,45
12	442,48	26,55	1,09	106,19
13	275,23	19,27	0,87	55,04
14	479,45	30,33	1,63	103,72
15	487,29	258,21	0,72	109,24
16	401,56	25,46	1,14	97,94
17	423,8	33,36	1,05	17,22
18	535,23	29,43	1,81	124,88

En relación al contenido de Manganeseo solo en tres tratamientos (T7, T9 y T3) se determinó un menor valor de este microelemento al finalizar el proceso. En los restantes se observó un incremento con respecto al valor inicial. El tratamiento T2 (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos) presentó el mayor contenido, mientras que el menor valor fue el del T9 (Microorganismos comerciales, Formulación dos y tubos).

Los tratamientos en los que determinó un incremento del contenido inicial de Cobre fueron T1, T2, T5, T8, T11, T12, T14, T15 y T17; en los demás tratamientos el contenido final fue inferior al inicial. El contenido final más alto y fuera del rango fue el del tratamiento T15 (Ninguno, Formulación dos y tubos); el contenido más bajo se

encontró en el tratamiento T3 (Microorganismos locales, Formulación dos y tubos).

Desde el punto de vista del contenido de Hierro, la mitad de los tratamientos presentaron un aumento y la otra una disminución. El valor final más alto fue el del tratamiento T1 (Microorganismos locales, Formulación uno y tubos) y el más bajo T15 (Ninguno, Formulación dos y tubos).

Todos los tratamientos disminuyeron su contenido de Zinc inicial excepto el T18 (Ninguno, Formulación tres y volteos). El valor final más bajo y fuera completamente del rango fue el del T17 (Ninguno, Formulación tres y tubos), mientras que el tratamiento 13 (Ninguno, Formulación uno y tubos) también mostró una disminución mayor al 50% de su contenido inicial. El Tratamiento T2 (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos) presentó el valor final más elevado.

- **Valores iniciales y finales de Humedad, Materia orgánica y relación C/N.**

Las Tabla 19 muestran los resultados del análisis del contenido porcentual de materia orgánica, humedad y la relación C/N al inicio y final del proceso de compostaje.

TABLA 19: Valoración de Humedad, Materia orgánica y relación C/N.

T	VALORES INICIALES			VALORES FINALES		
	RELACION C/N (%)	M.O (%)	H (%)	RELACION C/N (%)	M.O (%)	H (%)
1	53,99	25,13	57,7	12,54	19,67	56
2	21,90	30,58	69,7	10,88	14,26	50
3	18,09	25,88	53,4	22,74	19,21	56
4	21,52	26,34	65,5	42,00	19,55	46
5	18,64	29,88	61,1	31,81	21,39	62
6	16,11	18,89	68,4	18,72	18,07	49
7	23,12	35,48	66,1	16,97	22,53	54
8	13,66	24,26	68,8	13,89	16,28	48
9	16,36	17,77	61,3	19,08	16,12	50
10	27,49	28,44	68,6	12,52	13,17	43
11	21,80	21,42	67,5	21,48	20,37	56
12	27,10	27,57	64,3	30,98	27,24	42
13	23,95	30,56	68,6	21,51	12,98	42
14	17,12	24,79	65,8	20,52	16,98	45
15	29,41	27,89	62	11	14,66	57
16	22,92	24,89	64,6	22,29	16,14	46
17	36,15	29,29	60,8	20,48	24,01	54
18	23,83	25,47	69,4	19,50	20,84	47

De acuerdo a la relación C/N los tratamientos T2, T4, T7, T10, T11, T12, T13, T15, T16 y T18 muestran un valor que se encuentra en el rango para iniciar el proceso (20 al 30), aunque el valor del T13 (Ninguno, Formulación uno y tubos) es el que más cercano al valor óptimo (25) referido por MORENO J., y MORAL R. El valor más bajo se encontró en el T6 (Microorganismos locales, Formulación tres y volteos), y el valor más alto en el T1 (Microorganismos locales, Formulación uno y tubos).

El tratamiento con mayor contenido de materia orgánica fue el T7 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y tubos), mientras el T9 (Microorganismos comerciales, Formulación dos y tubos) exhibió los valores más bajos. Los tratamientos que no tuvieron una relación C/N entre los rangos requeridos (20 a 30) fueron: T2, (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos), T6 (Microorganismos locales, Formulación tres y volteos), T7 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y tubos), T9 (Microorganismos comerciales, Formulación dos y tubos) y T13 (Ninguno, Formulación uno y tubos). Los tratamientos restantes presentaron valores entre 20 y 30%, que corresponde al rango recomendado para productos compostados de calidad. El tratamiento T1 presentó el valor más cercano al óptimo (25%).

Desde el punto de vista del contenido de humedad, todos los tratamientos presentaron valores muy superiores a los rangos indicados para iniciar el proceso (30 al 70%). El porcentaje de humedad más elevado se encontró en el tratamiento T2 (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos) y el más bajo en T3 (Microorganismos locales, Formulación dos y tubos).

Los tratamientos T3, T4, T5, T6, T8, T9, T12 y T14 mostraron incremento de la relación C/N al finalizar el proceso, a diferencia del resto de los tratamientos, en los que disminuyó su relación por la pérdida de carbono durante el proceso. El valor final más bajo fue el del tratamiento T15 (Ninguno, Formulación dos y tubos), y el valor más elevado se encontró en T4 (Microorganismos locales, Formulación dos y volteos). El tratamiento que más redujo su relación C/N fue el T1 (Microorganismos locales, Formulación uno y tubos) con un 41,45% de reducción. Los tratamientos T8 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y volteos), T11 (Microorganismos comerciales, Formulación tres y tubos) y T16 (Ninguno, Formulación dos y volteos) variaron muy poco la relación durante el proceso.

Los tratamientos que terminaron con los rangos deseados fueron los tratamientos T3, T11, T13, T14, T16 y T17, siendo el primero de estos (Microorganismos locales, Formulación dos y tubos) el mejor.

El tratamiento con mayor materia orgánica final es el T12 (Microorganismos comerciales, Formulación tres y volteos) y el de menor es el T13 (Ninguno, Formulación uno y tubos). Todos los tratamientos disminuyeron su cantidad inicial de materia orgánica debido a la descomposición del material. Los tratamientos T5, T7, T11, T12, T17, T18 presentaron un porcentaje de materia orgánica aceptable dentro de los rangos.

Desde el punto de vista del contenido de humedad, todos los tratamientos presentan disminución en la humedad, excepto T3 (Microorganismos locales, Formulación dos y tubos) y T5 (Microorganismos locales, Formulación tres y tubos). Ningún tratamiento llegó a la humedad final adecuada, ya que todos los valores son superiores a los rangos descritos para productos finales (20 y 30%). La humedad más elevada es la del tratamiento T5 (Microorganismos locales, Formulación tres y tubos) y la más baja la del T13 (Ninguno, Formulación uno y tubos).

- **Población Microbiana**

En la Tabla 20 se muestra el conteo inicial y final de las colonias de microorganismos presentes en los distintos tratamientos evaluados. Los resultados mostrados corresponden a las evaluaciones realizadas a las 24 horas para las tres diluciones evaluadas en las muestras de cada tratamiento.

TABLA 20: Conteo de colonias de microorganismos presentes en los tratamientos

T	POBLACION MICROBIANA					
	INICIAL			FINAL		
	DILUCION 10^{-4}	DILUCION 10^{-5}	DILUCION 10^{-6}	DILUCION 10^{-4}	DILUCION 10^{-5}	DILUCION 10^{-6}
1	21	2	1	14	5	0
2	28	12	0	15	3	1
3	24	4	1	15	6	0
4	13	3	0	12	1	0
5	90	20	1	23	12	8
6	22	3	1	21	10	2
7	42	4	1	43	22	15
8	64	13	0	30	6	6
9	36	8	0	25	13	9
10	19	5	0	15	5	1
11	35	6	0	31	4	3
12	32	0	1	20	3	2
13	INCONTABLE	87	7	22	11	5
14	INCONTABLE	26	0	34	7	1
15	49	2	0	40	13	2
16	49	40	3	35	21	6
17	0	0	0	16	8	3
18	56	28	7	36	8	1

En general, todos los tratamientos mostraron una disminución en la cantidad de colonias, excepto los tratamientos T7 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y tubos) y T17 (Ninguno, Formulación tres y tubos).

Inicialmente, los tratamientos T5 (Microorganismos locales, Formulación tres y tubos), T13 (Ninguno, Formulación uno y tubos) y T14 (Ninguno, Formulación uno y volteos) fueron los que presentaron mayor cantidad de colonias, mientras que los tratamientos T12 (Microorganismos comerciales, Formulación tres y volteos) y T17 (Ninguno, Formulación tres y tubos) presentaron menor cantidad.

Al finalizar el proceso, los tratamientos T7 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y tubos) y T16 (Ninguno, Formulación dos y volteos) fueron los que presentaron mayor cantidad de colonias, en cambio el tratamiento T3 (Microorganismos locales, Formulación dos y tubos) presentó la menor cantidad.

- **Cromatografía de papel**

En la TABLA 21 A y B se encuentran las medidas de cada parte de los cromas de papel descritas por cada tratamiento. Las fotografías correspondientes se han incluido en los Apéndices II y III.

TABLA 21: A. Medidas iniciales de las partes que se describen en la cromatografía de papel para cada tratamiento

CROMATOGRAFÍA DE PAPEL				
TRATAMIENTO	PARTE			
	OXÍGENO (cm)	MATERIA ORGÁNICA (cm)	MINERAL (cm)	ENZIMÁTICA (cm)
1	0,25	2,5	0,7	1,9
2	0,4	2,2	0,8	2,3
3	0,5	2,4	0,8	2
4	0,4	1,8	1,25	1,8
5	0,3	2,1	0,5	2,6
6	0,5	2,1	1	1,7
7	0,4	2	1,2	1,6
8	0,6	2,1	0,6	2,3
9	0,4	2,5	0,7	2,1
10	0,5	2,2	1,3	1,4
11	0,2	2,8	1,3	1,6
12	0,5	1,7	1,7	1,7
13	0,5	1,7	0,7	2,4
14	0,5	2,2	0,85	2,1
15	0,9	1,1	1,85	1,2
16	0,4	2,5	0,6	2,15
17	0,5	2	0,6	2,5
18	0,4	2,3	0,85	2,1

TABLA 21: B. Medidas finales de las partes que se describen en la cromatografía de papel para cada tratamiento

CROMATOGRAFÍA DE PAPEL				
TRATAMIENTO	PARTE			
	OXÍGENO (cm)	MATERIA ORGÁNICA (cm)	MINERAL (cm)	ENZIMÁTICA (cm)
1	0,5	2,1	1,5	1,6
2	0,3	1,5	2	1,3
3	0,2	2,2	1,4	2
4	0,4	1,5	2	1
5	0,4	1,6	2	1,3
6	0,6	1,9	1,2	2,1
7	0,3	2	2,35	0,9
8	0,3	2,1	1,4	1,7
9	0,3	2,5	1,1	2
10	0,3	2,2	1,9	1,3
11	0,45	2,1	1,7	1,4
12	0,6	1,6	1,7	1,7
13	0,4	1	1,9	1
14	0,3	2	1,5	1,3
15	0,4	1,1	1,7	1,3
16	0,45	1,5	2,2	1,5
17	0,6	2	1,6	1,25
18	0,4	1,8	1,6	1,6

Todos los tratamientos mostraron una disminución en el porcentaje de oxígeno, excepto los tratamientos T1, T5, T6, T11, T12, T16 y T17; los tratamientos T4 y T18 se mantuvieron constantes. El tratamiento con mayor disminución de oxígeno fue el T15 (Ninguno, Formulación dos y tubos).

En la parte de materia orgánica todos los tratamientos expresaron una reducción, excepto los tratamientos T7, T8, T9, T10, T13, T15 y T 17 que mantuvieron su porcentaje; T1 (Microorganismos locales, Formulación uno y volteos) y T11 (Microorganismos comerciales, Formulación tres y tubos) presentaron mayor disminución de materia orgánica.

Desde el punto de vista de la parte mineral, todos los tratamientos mostraron un aumento debido a la disminución de la materia orgánica (mineralización de la materia orgánica). Se exceptúan el tratamiento T12 (Microorganismos comerciales, Formulación tres y volteos) que se mantuvo igual y el T15 (Ninguno, Formulación dos y tubos) que disminuyó.

Finalmente en la parte enzimática todos los tratamientos demostraron una disminución, excepto T6 (Microorganismos locales, Formulación tres y volteos) y T15 (Ninguno, Formulación dos y tubos) que aumentaron; T3 (Microorganismos locales, Formulación dos y tubos) y T12 (Microorganismos comerciales, Formulación tres y volteos) mantuvieron su porcentaje enzimático.

RESULTADOS GENERALES

TABLA 22: ANÁLISIS COMPARATIVO

PARÁMETROS	ANÁLISIS
M.O.	La formulación con 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza
C/N	La formulación con 40% de bagazo, 30% de cachaza y 30% de ceniza
TEMPERATURA	Estable
P. MICROBIANA	Microorganismos comerciales presentaron una mayor población microbiana
MICRONUTRIENTES	La formulación tres con 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza es la que garantiza un producto final estable con un promedio de 140 ppm de microelementos
MACRONUTRIENTES	La formulación tres con 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza es la que garantiza un producto final estable con un promedio de 1% de macroelementos
HUMEDAD	Elevada

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los resultados de la presente investigación nos permiten concluir lo siguiente:

1. Los tratamientos que se realizaron con el método de aireación por tubos no presentaron una descomposición adecuada debido a la falta de oxígeno lo que conlleva a la pérdida del carácter aeróbico y la presencia de olores fétidos, excesiva humedad y temperaturas medias dentro de las pilas.

2. La formulación que alcanzó los mejores rangos de materia orgánica fue la tres con las siguientes características: 50% de bagazo, 25% cachaza y 25% ceniza.

3. Al finalizar el proceso, todos los tratamientos presentaron una humedad alta (falta de maduración), esto se debió a la presencia de precipitaciones en las dos últimas semanas del ensayo.

4. La temperatura de todos los tratamientos se mantuvo por encima de 60 °C durante un mes de proceso, si bien es cierto, al finalizar el proceso mostraron un descenso de temperatura, la misma no alcanzó rangos de maduración esperados.

5. Todos los tratamientos presentaron una reducción de la población microbiana al finalizar el proceso, debido a la lixiviación de los mismos en los desechos líquidos propios del proceso. Los microorganismos comerciales mantuvieron una población mayor que los locales durante el proceso de compostaje.

6. El contenido de micronutrientes se mostró variable, es decir algunos tratamientos disminuyeron y otros aumentaron su contenido desde el inicial. La formulación uno con 25% de bagazo, 50% de cachaza y 25% de ceniza es rica en manganeso, hierro y zinc, la formulación dos que consta de 40% de bagazo, 30% de cachaza y 30% de ceniza es alta en cobre y la formulación tres con 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza se encuentra estable de acuerdo a las medianas de los valores obtenidos.

7. En el contenido de macronutrientes, la formulación con 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25 de ceniza aumentó su contenido de potasio y mayor contenido de fósforo. La formulación dos que es 40% de bagazo, 30% de cachaza y 30% de ceniza tuvo menor contenido de nitrógeno, calcio y magnesio, y mayor contenido de fósforo, y la formulación uno con 25% de bagazo, 50% de cachaza y 25% de ceniza tuvo el mayor contenido de nitrógeno, calcio y magnesio, siendo limitante en fósforo.

Recomendaciones

- Es necesario mantener una buena aireación por lo tanto continuar con los volteos mecanizados es lo correcto, aunque lo ideal siempre será contar con equipos especializados para la elaboración de este tipo de materiales como un composteador .
- Se recomienda utilizar la formulación tres que consta de 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza debido a su alto contenido de M.O, una relación C/N entre los rangos y un contenido de macro y micronutrientes equilibrado.
- Es indispensable que se incorporen nuevos materiales, desechos de otras actividades agrícolas, como la mazorca del cacao, la cascarilla del café y arroz, gallinaza, estiércoles vacunos; y minerales como la zeolita, sulpomag, roca fosfórica, entre otros; esto aumentará la calidad final de nuestro compost por lo tanto, el rendimiento de los cultivos y la rentabilidad aumentará.
- El compostaje es importante que se lo realice en una infraestructura que permita la recolección de su lixiviado, ya que

se está desperdiciando material muy importante y útil en agricultura, de la misma forma esta infraestructura debe permitir trabajar en condiciones de lluvia sin inconvenientes.

- Continuar la aplicación de microorganismos comerciales, aunque los locales demostraron ser una alternativa viable si se quiere reducir costos sin disminuir de manera considerable la descomposición de los materiales.
- El tiempo recomendado para la descomposición de estos materiales es de siete a ocho semanas dependiendo del comportamiento de indicadores de madurez como: temperatura, humedad y pH.
- Es necesario aumentar la cantidad de materia orgánica inicial y final, esto se lo lograría incorporando materiales ricos en esta como son: estiércoles (de aves o vacunos), restos de cosecha de cultivos como cacao y café, incorporación de ceniza vegetal, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] AGREDA G., y DEZA M., Factores que condicionan el proceso de compostaje. <http://www.uam.es> (consultado, enero del 2010).
- [2] AYALA D., Ecuador encabeza la lista de países con más especies amenazadas. 2009; <http://www.ecuadorciencia.org> (consultado, enero 2010).
- [3] BENZING A., Agricultura Orgánica- fundamentos para la región andina. Neckar - Verlag , Alemania. 2001; p.682 .
- [4] BIDLINGMAIER W., Odour emissions from composting plants. En: De Bertoldi, M.; Sequi, P.; Lemmes, B. y Papi, T. (Eds.). London. 1996; The Science of Composting., vol. I, p.71-79.
- [5] BONNET J., Edafología de los suelos salinos sódicos. Puerto Rico. 1960; p.339.
- [6] BRACK A. y MENDIOLA C., La contaminación ambiental, Enciclopedia Ecología del Perú+. <http://www.peruecologico.com.pe> (consultado, enero 2010).

- [7] BREWER L., y SULLIVAN D., Maturity and stability evaluation of compost of composted yard trimmings. 2003; Compost Science Utilization., 11: p.96-112.
- [8] CÁRDENAS G., y B GUZMÁN., Capacidad contaminante de las cachazas producidas por los ingenios azucareros de Tucumán. Argentina. 1983; Rev. Ind. Agr. de Tucumán., 60(1): p.59-67.
- [9] CÁRDENAS G., B GUZMÁN., y S BRU., Calor de combustión de cachazas producidas en ingenios azucareros de Tucumán. Argentina. 1983; Rev. Ind. Agr. de Tucumán., 60(1): p.81-85.
- [10] CASTALDI P., ALBERTI G., MERELLA R., y MELIS P., Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. 2005; Waste Manag., 25: p.209-213.
- [11] CHÁVEZ E., Determinación de la calidad de biofertilizantes líquidos y estudio del potencial para la inhibición de *Micospharella fijiensis* (Morelet). Tesis de grado (Ing. Agropecuario) Guayaquil, Ecuador. 2009; p.18-25.
- [12] CHONILLO J., Elaboración y usos de abonos orgánicos. 2008; p.11-28.

- [13] COAS; Curso sobre cromatografía de Disco de suelos. Cali. 2008; www.cibe.espol.edu.ec (consultado, enero 2010).
- [14] COMPOSTADORES., Organismos que intervienen en el compostaje. <http://www.compostadores.com> (consultado, enero 2010).
- [15] CUELLAR A., VILLEGAS D., LEÓN O., y PÉREZ I., Manual de Fertilización de la Caña de Azúcar en Cuba. Cuba. 2002; Publica., p.88-92.
- [16] DA GLORIA., y J ORLANDO., Aplicacao da vinhaça como fertilizante. Brasil. 1983; Boletín Técnico planalsucar., p.5-38.
- [17] EDUFUTURO., La contaminación. 2006; <http://www.edufuturo.com> (consultado, enero 2010).
- [18] EKINKI K., KEENER H., y ELWELL D., Effects of aeration strategies on the composting process: Part 1. Experimental studies. 2004; Trans. ASAE., 47(5): p.1697-1708.
- [19] EMISON., Vermicompost. <http://www.emison.com> (consultado, enero 2010).

- [20] EUROPEAN COMMISSION. Working Document: Biological Treatment of Biowaste. 2nd. Draft. Bruselas. 2001.
- [21] EXPLORED., ¿Qué es contaminación ambiental?. 2003; <http://www.explored.com.ec> (consultado, enero 2010).
- [22] FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CHILE; Manual de laboratorio. Técnicas cromatográficas. Departamento de Química. Chile. 2009; www.cibe.espol.edu.ec (consultado, enero 2010).
- [23] FACULTAD DE AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA., Biodegradación de residuos orgánicos sólidos. Uruguay. <http://www.fagro.edu.uy> (consultado enero 2010).
- [24] GARCÍA E., y APEZTEQUIA H., Estudio de lixiviado de compost y su efecto sobre el control de Sigatoka negra, *M. fijiensis*, Morelet y el crecimiento del cultivo de banano. Tesis de grado (Ing. Agrónomo) Guácimo, Costa Rica. 2001; p.121.
- [25] GOMEZ J., Abonos Orgánicos. Colombia. 2000; p.105.

[26] HAUG R., The practical handbook of compost engineering. Florida. 1993; Lewis Publishers., p.669.

[27] HERNÁNDEZ G., SALGADO S., PALMA D., LAGUNES L., CASTELÁN M., y RUIZ O., Vinaza y composta de cachaza como fuente de nutrientes en caña de azúcar en un gleysol mólico de Chiapas, México. <http://www.scielo.org.ve> (consultado, enero 2010).

[28] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION (INN); Norma para valorar la calidad de un compost. Servicio agrícola ganadero. Chile. 2005; www.inn.cl (consultado, enero 2010).

[29] INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN DE CHILE; NCh426/2. Agua grado reactivo para análisis . Especificaciones . Parte 2: Análisis físico-químico y microbiológico de agua potable, aguas crudas y aguas residuales. Chile. 1997; p.6.

[30] JIMENEZ M., Estrategias alternas para el manejo de sigatoka negra en banano. Ecuador . <http://www.aebe.com.ec> (consultado, enero 2010) .

- [31] KISS G., y ENCARNACION G., Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. México. 2006; p.3.
- [32] LASARIDI K., PROTOPAPA I., KOTSOU M., PILIDIS G., MANIOS T., y KYRIACOU A., Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. 2006; Journal of Environmental Management. , 80: p.58-65.
- [33] LAURA R., y A IDNANI., A study on the ameliorative effects of addition of farm compost, charcoal dust and sawdust in saline and alkali soil. Agrochimica., 17(5): p.480-88.
- [34] LEBLANC H., CERRATO M., MIRANDA A., y VALLE G., Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. 2007; Tierra Tropical., 3: p.97-107.
- [35] LÓPEZ A., y FLORES S., Diccionario de la contaminación. México DF. 1994; p.1-8.
- [36] MEDI E., El compostaje. <http://www.webdehogar.com> (consultado, enero 2010).

- [37] MEDINA N., Estudio comparativo de los efectos del encalado y la aplicación de cachaza sobre el mejoramiento de suelos ferralíticos amarillentos y los rendimientos de la caña de azúcar (*Saccharum* sp). Cuba. 1980; Rev. Ci enc. Ter-. Agric. Caña de Azúcar., 2(1): p.29-50.
- [38] MELÉNDEZ G., Indicadores químicos de calidad de abonos orgánicos. Costa Rica. 2003; p.50-63.
- [39] MEYER M., GAETANO P., y BERLIJN J., Elaboración de productos agrícolas. Editorial TRILLAS, p.85.
- [40] MICHEL F., PECCHIA J., y RIGOT J., Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or straw. 2004; Compost Sci. Util., 12(4): p.323-334.
- [41] MIYATAKE F., y IWABUCHI K., Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. 2006; Biores. Technol., 97: p.961-965.
- [42] MORENO J., y MORAL R., Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 2007; p. 93-285.

- [43] NERÍN C., Urbanismos e Ingeniería ambiental. <http://www.etsav.upc.es> (consultado, enero 2010).
- [44] NOVO R., Efectos de la cachaza fresca sobre la dinámica de la nitrificación del sulfato de amonio y nitrógeno nativo en el suelo ferralítico rojo. Cuba. 1980; Cultivos Trop. Inst. C. Agr., 2(1): p.93-104.
- [45] OLIVA D., y ANTOLÍN G., Aproximación experimental a la combustión del bagazo de caña en lecho fluidizado. <http://www.cubasolar.cu> (consultado, enero 2010).
- [46] ORGANICSA., Control de Plagas Orgánico, Preparación de Purines. 2005; <http://www.organicsa.net/control-de-plagas-organico-preparacion-de-purines.html> (consultado, enero 2005).
- [47] PATURAU J., By-products of sugar cane industry. An introduction to their industrial utilization in América Elservier Publish. 1969; p.274.
- [48] PEÑA A., Los residuos industria azucarera (CEA) y el medio ambiente. 1999; <http://www.bvsde.paho.org> (consultado, enero 2010).

- [49] PÉREZ A., CÉSPEDES C., y NÚÑEZ P., Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. Republica Dominicana. 2008; p.3.
- [50] PRAVIA M., Guía de Compostaje, Proyectos Residuos Rosario, Argentina. 1999; p.27-34.
- [51] QUINTERO R., CADENA S., y BRICEÑO C., Proyectos de investigación sobre uso y manejo de vinazas. <http://www.cengicana.org> (consultado, enero 2010).
- [52] RED INTERINSTITUCIONAL DE TECNOLOGIAS LIMPIAS., Proceso para la elaboración de panela. <http://www.tecnologiaslimpias.org> (consultado, enero 2010).
- [53] SALGADO G., BUCIO A., RIESTRA D., y LAGUNES E., Hacia un Manejo Sustentable. México. 2003; p.369.
- [54] SANCHEZ-MONEDERO M., ROIG A., PAREDES C., y BERNAL M., Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. 2001; Biores. Technol., 78(3): p.301-308.

- [55] SÁNCHEZ T., Caracterización Microbiológica del Proceso de Compostaje a partir de residuos azucareros. 2009; <http://sian.inia.gob.ve> (consultado, enero 2010).
- [56] SUBBA M., La cachaza. Méxi co. 1983; p.22.
- [57] SULER D., y FINSTEIN S., Effect of temperature, aeration, and Moisture on CO₂ formation in bench-scale, continuously Thermophilic Composting of Solid Waste. *Appl. Environ. Microbiol.*, 33(2): p.345-350.
- [58] SUNDBERG C., SMARS S., y JONSSON H., Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. 2004; *Biores. Technol.*, 95(2): p.145-150.
- [59] SUQUILANDA M., Agricultura orgánica, alternativa tecnológica del futuro. 1995; p.172-208.
- [60] SWARUP A., Yiel and nutrition of rice as influenced by Presubmergence and amendments in a highiy sodic soil. 1985; *J. Indian Soc. Sel.*, 33: p.352-57.

- [61] SZTERN D., y PRAVIA M., Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización panamericana de la salud. 1999; p.11-35.
- [62] TMECC Method 04.11. Electrometric pH determinations for compost. *In:* The United States Composting Council. Test Methods for the Examination of Composting and Compost, N.Y., USA. 2002.
- [63] TOMATO U., MADEJON E., y GALLI E., Evolution of humic acid molecular weight as an index of compost stability. 2000; Compost Sci. Util., 8(2): p.108-115.
- [64] UNER; Química General e Inorgánica . Guía de Trabajos Prácticos Bioingeniería. p.5-6.
- [65] UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA., Compostaje. <http://www3.uclm.es> (consultado, enero 2010).
- [66] VALDES A., Los residuos agrícolas de la cosecha cañera (RAC). <http://www.nest.unifei.edu.br> (consultado, enero 2010).

- [67] VAN ROOYEN P., y H WEBBER., Long-term effects of five ameliorants on a saline-sodic soil of South Africa. 1977; *Geoderma.*, 19: p.213-225.
- [68] WU L., MA L., y MARTINEZ G., Comparison of methods for evaluating stability and maturity of biosolids compost. 2000; *Journal of Environmental Quality*, 29: p.424-429.
- [69] ZÉREGA ML., Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. 1993; <http://sian.inia.gob.ve> (consultado, enero 2010).
- [70] ZHU N., Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. 2006; *Biores. Technol.*, 97(15): p.1870-1875.
- [71] ZUCCONI F., y DE BERTOLDI M., Specifications for solid waste compost. 1987; *Biocycle.*, 28 (5/6): p.56-61.

APENDICES

APÉNDICE I

PARÁMETROS DE CALIDAD DEL COMPOST

Propiedad	Parámetro	Informa sobre
PROPIEDADES FÍSICAS	Densidad aparente	Transporte, manejo y aplicación
	Color	Aceptación
	Olor	Aceptación, higiene e impacto ambiental
	Humedad	Transporte y manejo
	Granulometría	Manejo, aceptación y efectos sobre el suelo/sustrato
	Capacidad de retención de agua	Efectos sobre el suelo/sustrato y ahorro de agua
	Contaminantes inertes	Aceptación, impacto ambiental y seguridad
PROPIEDADES QUÍMICAS	Contenido y estabilidad de la materia orgánica	Efectos sobre el suelo/sustrato, sobre los vegetales, y aceptación
	Nutrientes minerales	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales
	Contaminantes	Salud, efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales, e impacto ambiental
	Sales solubles	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre los vegetales, e impacto ambiental
	pH	Disponibilidad de nutrientes
PROPIEDADES BIOLÓGICAS	Patógenos	Salud e impacto ambiental
	Semillas de malas hierbas	Efectos sobre el suelo/sustrato y sobre la producción

Fuente: Soliva, 2001.

APÉNDICE II

FIGURAS INICIALES DE LA CROMATOGRAFÍA DE PAPEL

La fecha de muestreo se realizó el 13/11/09 y la ejecución de la técnica de cromatografía de papel fue el 25/11/09.





TRATAMIENTO #5
25/11/09



TRATAMIENTO #6
25/11/09



TRATAMIENTO #7
25/11/09



TRATAMIENTO #8
25/11/09



TRATAMIENTO #9
25/11/09



TRATAMIENTO #10
25/11/09





APÉNDICE III

FIGURAS FINALES DE LA CROMATOGRAFÍA DE PAPEL

La fecha de muestreo se realizó el 21/12/09 y la ejecución de la técnica de cromatografía de papel fue el 03/01/10.

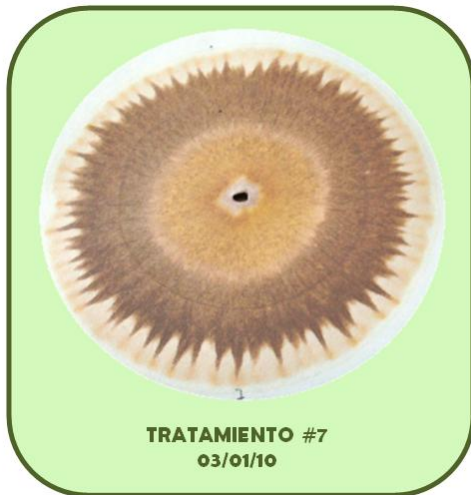




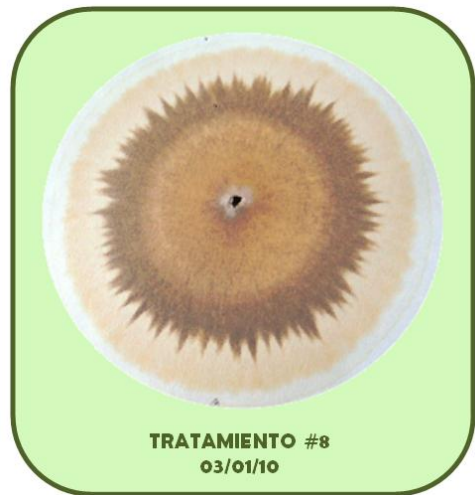
TRATAMIENTO #5
03/01/10



TRATAMIENTO #6
03/01/10



TRATAMIENTO #7
03/01/10



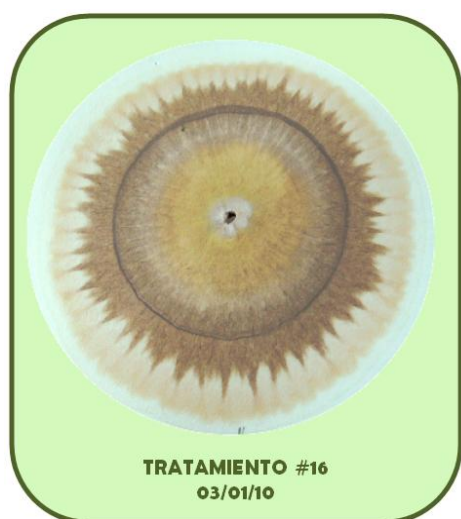
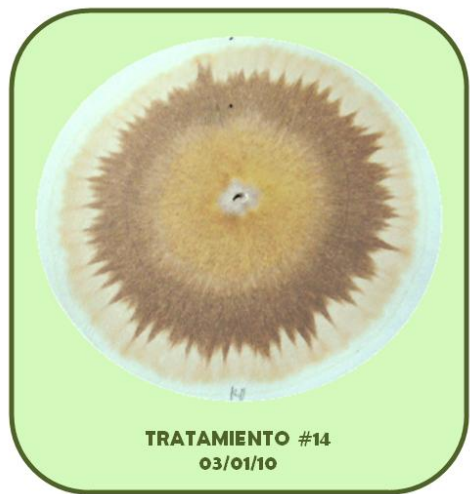
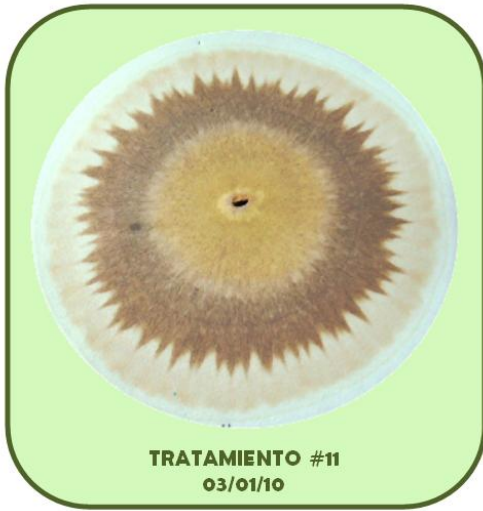
TRATAMIENTO #8
03/01/10



TRATAMIENTO #9
03/01/10



TRATAMIENTO #10
03/01/10





TRATAMIENTO #17
03/01/10



TRATAMIENTO #18
03/01/10

APÉNDICE IV

RESULTADOS OBTENIDOS DE CADA TRATAMIENTO AL INICIAL Y FINALIZAR EL PROCESO DE COMPOSTAJE

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T1	PH	7,51	8,3
	ALTURA (cm)	103	90
	TEMPERATURA (°C)	40,1	51,2
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.001,7	1.187,5
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1501	987
	HUMEDAD (%)	57,67	55,98
	MATERIA ORGANICA (%)	25,13	19,67
	RELACION C/N (%)	53,9872819	12,5379261
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	751	493
	SALINIDAD (ppt)	0,75	0,49

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T2	PH	6,16	8,25
	ALTURA (cm)	113	76
	TEMPERATURA (°C)	39,1	51,8
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.028,8	1.006,5
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1611	741
	HUMEDAD (%)	69,7	50,18
	MATERIA ORGANICA (%)	30,58	14,26
	RELACION C/N (%)	21,898542	10,8835023
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	806	370
	SALINIDAD (ppt)	0,81	0,36

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T3	PH	7,37	8,6
	ALTURA (cm)	113	92
	TEMPERATURA (°C)	43,6	51,4
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.000,7	1.060,2
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	913	1159
	HUMEDAD (%)	53,38	56,21
	MATERIA ORGANICA (%)	25,88	19,21
	RELACION C/N (%)	18,0862662	22,7401866
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	457	579
	SALINIDAD (ppt)	0,45	0,57

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T4	PH	7,4	8,25
	ALTURA (cm)	112	83
	TEMPERATURA (°C)	42,7	51,2
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.006,3	1.042,5
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1079	819
	HUMEDAD (%)	65,49	46,26
	MATERIA ORGANICA (%)	26,34	19,55
	RELACION C/N (%)	21,5189046	41,9996563
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	539	410
	SALINIDAD (ppt)	0,53	0,4

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T5	PH	7,65	7,88
	ALTURA (cm)	107	94
	TEMPERATURA (°C)	45	51,5
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	770,4	1.008,2
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	509	1490
	HUMEDAD (%)	61,05	62,19
	MATERIA ORGANICA (%)	29,88	21,39
	RELACION C/N (%)	18,6363296	31,8133143
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	255	745
	SALINIDAD (ppt)	0,25	0,74

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T6	PH	6,34	8,3
	ALTURA (cm)	117	78
	TEMPERATURA (°C)	44,9	52,6
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.113,2	912,9
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	155,7	677
	HUMEDAD (%)	68,43	48,94
	MATERIA ORGANICA (%)	18,89	18,07
	RELACION C/N (%)	16,1133479	18,7168545
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	77,9	339
	SALINIDAD (ppt)	0,08	0,33

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T7	PH	4,78	8,24
	ALTURA (cm)	108	98
	TEMPERATURA (°C)	38,9	50,2
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.111,9	1.000,6
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	3420	1232
	HUMEDAD (%)	66,1	54,21
	MATERIA ORGANICA (%)	35,48	22,53
	RELACION C/N (%)	23,1236476	16,9720071
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	1712	616
	SALINIDAD (ppt)	1,79	0,61

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T8	PH	6,05	8,34
	ALTURA (cm)	113	73
	TEMPERATURA (°C)	41,3	53,5
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.057,6	1.111,2
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1979	523
	HUMEDAD (%)	68,84	47,56
	MATERIA ORGANICA (%)	24,26	16,28
	RELACION C/N (%)	13,6620638	13,8869933
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	989	262
	SALINIDAD (ppt)	1	0,25

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T9	PH	7,82	8,81
	ALTURA (cm)	118	103
	TEMPERATURA (°C)	43,1	52,9
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.115,8	1.004
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	648	1278
	HUMEDAD (%)	61,28	50,21
	MATERIA ORGANICA (%)	17,77	16,12
	RELACION C/N (%)	16,3609914	19,0823429
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	324	639
	SALINIDAD (ppt)	0,31	0,63

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T10	PH	5,97	8,21
	ALTURA (cm)	113	74
	TEMPERATURA (°C)	41,2	50,6
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.002,2	1.115,4
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1876	1181
	HUMEDAD (%)	68,55	42,57
	MATERIA ORGANICA (%)	28,44	13,17
	RELACION C/N (%)	27,4941995	12,5232969
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	938	591
	SALINIDAD (ppt)	0,95	0,59

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T11	PH	7,81	8,25
	ALTURA (cm)	112	88
	TEMPERATURA (°C)	44,2	54,2
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	914	1.006,5
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	845	1540
	HUMEDAD (%)	67,48	55,91
	MATERIA ORGANICA (%)	21,42	20,37
	RELACION C/N (%)	21,7975333	21,4828095
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	422	770
	SALINIDAD (ppt)	0,41	0,77

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T12	PH	6,92	8,16
	ALTURA (cm)	117	86
	TEMPERATURA (°C)	44	55,7
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.001,9	770,7
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1164	1264
	HUMEDAD (%)	64,31	41,69
	MATERIA ORGANICA (%)	27,57	27,24
	RELACION C/N (%)	27,10488025	30,981302
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	582	632
	SALINIDAD (ppt)	0,58	0,63

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T13	PH	7,36	8,63
	ALTURA (cm)	105	92
	TEMPERATURA (°C)	39,4	49,9
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.120,3	1.113,8
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	838	1534
	HUMEDAD (%)	68,62	41,62
	MATERIA ORGANICA (%)	30,56	12,98
	RELACION C/N (%)	23,9543488	21,5114352
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	419	767
	SALINIDAD (ppt)	0,41	0,77

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T14	PH	6,45	8,19
	ALTURA (cm)	115	86
	TEMPERATURA (°C)	38,7	56,2
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	958,6	1.008,2
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1863	1266
	HUMEDAD (%)	65,76	44,65
	MATERIA ORGANICA (%)	24,79	16,98
	RELACION C/N (%)	17,1182742	20,5191415
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	931	633
	SALINIDAD (ppt)	0,94	0,63

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T15	PH	7,31	8,42
	ALTURA (cm)	112	98
	TEMPERATURA (°C)	45	51,1
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	957,6	1.062,3
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1124	888
	HUMEDAD (%)	62,01	56,87
	MATERIA ORGANICA (%)	27,89	14,66
	RELACION C/N (%)	29,41362582	10,1231908
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	562	444
	SALINIDAD (ppt)	0,56	0,44

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T16	PH	6,51	8,31
	ALTURA (cm)	107	83
	TEMPERATURA (°C)	42,4	53,9
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	1.006,1	1.000,7
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1393	762
	HUMEDAD (%)	64,57	46,47
	MATERIA ORGANICA (%)	24,89	16,14
	RELACION C/N (%)	22,9164365	22,2903547
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	697	381
	SALINIDAD (ppt)	0,7	0,37

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T17	PH	7,47	8,3
	ALTURA (cm)	115	93
	TEMPERATURA (°C)	48,9	53,5
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	913,2	915,7
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	1249	998
	HUMEDAD (%)	60,84	53,68
	MATERIA ORGANICA (%)	29,29	24,01
	RELACION C/N (%)	36,1479982	20,4807561
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	625	499
	SALINIDAD (ppt)	0,62	0,49

	PARAMETRO	INICIAL	FINAL
T18	PH	7,89	8,39
	ALTURA (cm)	112	77
	TEMPERATURA (°C)	41,1	54,1
	DENSIDAD APARENTE (kg/m3)	959,3	1.001,2
	CONDUCTIVIDAD ELECTRICA (us/cm)	860	271
	HUMEDAD (%)	69,35	47,07
	MATERIA ORGANICA (%)	25,47	20,84
	RELACION C/N (%)	23,82868049	19,4970436
	SOLUTOS TOTALES (mg/l)	430	135,5
	SALINIDAD (ppt)	0,42	0,13