



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



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

F. Gordillo ^(1,2), E. Chávez ⁽¹⁾

⁽¹⁾Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo, Km. 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador.
fabagord@espol.edu.ec ^(1,2); ed_che1@hotmail.com ⁽¹⁾

⁽²⁾Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral, Apartado 09-01-5863. Guayaquil, Ecuador

Resumen

El presente estudio se enfocó en aprovechar 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. Para lograr los objetivos de esta investigación se establecieron tratamientos mediante diferentes combinaciones de materia prima, fuentes de microorganismos y métodos de aireación. Las pilas se establecieron bajo un diseño de tres factores, y se valoraron dos veces por semana parámetros como: temperatura, pH y conductividad eléctrica. Otros parámetros como: materia orgánica, población microbiana, porcentaje de humedad, macro y micronutrientes y relación C/N, 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 muestran que el mejor método de aireación fue por volteos; la formulación más estable para macro y micronutrientes fue la formulación tres (50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza). Además, al finalizar el proceso: la formulación dos (40% bagazo, 30% cachaza y 30% ceniza) tuvo la relación C/N más aceptable. Los microorganismos comerciales mantuvieron una mayor población microbiana durante y al finalizar el proceso. La temperatura logró llegar a la temperatura inicial; los valores de la conductividad eléctrica se mantuvieron por debajo de los 3000us/cm; el pH para el proceso fue el óptimo aunque finalizó elevado; la formulación tres (50% de bagazo, 25% cachaza y 25% ceniza) fue la que presentó la mayor concentración de materia orgánica en el producto final.

Palabras claves: Residuos azucareros, compostaje, fuente de microorganismos, métodos de aireación.

Abstract

The present study focused in taking advantage of the sugar residues in a technical way through the elaboration and standardization of the process of compostaje and the evaluation of final quality of the product. To achieve the aims of this research were established throughout different combinations of prime matter, sources of microorganisms and methods of aeration. The mound were established in three factors design, and the parameters evaluated twice a week where: temperature, pH and electrical conductivity. Other parameters as: organic matter, microbial population, percentage of dampness, macro and micronutrients and relation C/N, were evaluated at the beginning and the end of the process, also the method of chromatography of Pfeifer's paper were performed to value the organic part, mineral part, percentage of oxygen and enzymatical activity of the material. The best way to aerate the mounds the flipping way; the best results for macro and micronutrients was the formulation three (50 % of bagasse, 25 % of sloth and 25 % of ash). In addition, the formulation with the most acceptable relation C/N was the number two (40 % bagasse, 30 % sloth and 30 % ash). The commercial microorganisms demonstrate a very high level of surviving during and at the end of the process. The temperature managed to come to the begin temperature; the values of the electrical conductivity were kept below 3000us/cm; the pH was the ideal but at the end it raise; the formulation three (50 % of bagasse, 25 % sloth and 25 % ash) presented the major concentration of organic matter in the final product.

Key words: Sugar residues, compostaje, source of microorganisms, methods of aeration.



1. 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 conservando la fertilidad del suelo y siendo amigable con el ambiente.

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.

2. Marco teórico

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.

Residuos agroindustriales azucareros

La sociedad realiza diferentes actividades productivas de las cuales se generan 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.

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.

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.

Problemas de contaminación

El desconocimiento de los efectos de la contaminación ambiental, 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.

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.

Características de los residuos a compostar.

• 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. Físicamente la cachaza es un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua. Es rica en fósforo, calcio y nitrógeno y pobre en potasio. Sus principales limitaciones para usarla con fines agronómicos son el alto contenido de humedad

(75-80%) que presenta en estado fresco y su alta relación Carbono/Nitrógeno.

- **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.

- **Ceniza**

La ceniza se obtiene de la combustión del bagazo utilizado como combustible para las calderas. El contenido en cenizas del bagazo natural puede considerarse moderado, ubicándose entre 2 y 5% (b.s.). Sin embargo, como consecuencia directa de la mecanización de la cosecha, y sobre todo en época de lluvia, este parámetro puede elevarse, llegándose a reportar valores extremos de 12 a 15 %.

- **Vinaza**

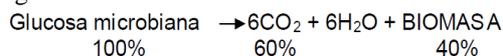
La vinaza constituye el principal residuo líquido producto de la fermentación de la melaza para la obtención de alcohol; por cada litro de alcohol producido se generan 13 litros de vinaza. Contiene principalmente Azufre (S), Magnesio (Mg), y Calcio (Ca), elevadas concentraciones de K, Ca y materia orgánica 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.

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.

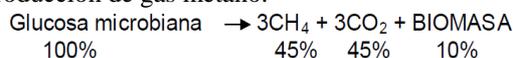
Proceso de descomposición aerobio.

Dicho proceso que se caracteriza por la presencia de oxígeno.



Proceso de descomposición anaerobio.

Proceso se caracteriza por la ausencia de oxígeno y producción de gas metano.



Introducción a las enmiendas orgánicas y sus principales parámetros de proceso

Los abonos orgánicos son 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.

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.

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.

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.

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, 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.

Durante el proceso se observan tres fases en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial (T<45°C), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila (T>45°C); y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se llega a la temperatura inicial.

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.

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.

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.

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.m³ 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.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



La densidad se va incrementando con el tiempo de compostaje, como consecuencia de una mayor descomposición y reducción tamaño de las partículas.

pH: 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 provoca el descenso del pH.

En 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. Durante el proceso se mantiene por encima de 7,5 cual es síntoma de una buena descomposición.

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.

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, o un descenso, 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.

Descripción del proceso de compostaje aeróbico

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.

Etapas mesófila 1 (10-40°C): La duración de esta etapa es variable. En esta etapa, abundan las bacterias y hongos mesofílicos.

Debido a la actividad metabólica de todos estos microorganismos la temperatura aumenta hasta 40°C, el pH disminuye desde un valor neutro hasta 5. 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%. 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.

Etapas 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 termofílicas, 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.

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.

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 desarrollándose 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.

Sistemas de compostaje

El objetivo 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.

Sistemas abiertos

La forma de amontonamiento del material es muy variado (pilas, mesetas, zanjas, etc.), así como sus métodos de manipulación.

Sistemas semi-cerrados

En este tipo de sistemas las 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.

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., dando como resultado una degradación más rápida y completa minimizando el impacto ambiental.

Calidad de las enmiendas orgánicas

La calidad de una enmienda orgánica debe estar dirigida 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.

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

3. Hipótesis y Objetivos

3.1 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”.

3.2 Objetivo General

Estandarizar 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.

3.3 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.

4. Materiales y Métodos

4.1 Materiales

Materia prima

Se utilizaron los residuos azucareros (bagazo, ceniza y cachaza) del Ingenio La Troncal localizado en el Cantón La Troncal de la Provincia del Cañar.

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 QBio COMPOSTER elaborado por Quality Corporation.

4.2 Metodología

4.2.1 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 1:

Tabla 1: Porcentaje de los residuos para cada una de las formulaciones

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

De acuerdo a la TABLA 1 se establecieron las diferentes combinaciones correspondientes a cada tratamiento como se muestra en la TABLA 2.

Tabla 2: Combinación de las fuentes de variación

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

Luego, 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 (4,5g/t). Para la aplicación de los microorganismos locales se aplicó la dosis normalmente usada por el agricultor (11/kg), el cuál fue directamente suministrado con una mochila tipo C3 a la pila de compost.

Una vez terminada la instalación de las pilas 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. 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.

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. 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.

4.2.2 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. 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. 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.

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.

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 $D=M/V$

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 una vez estabilizada la lectura.

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 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.

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.

4.3 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.

4.4 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.

5. 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.

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

Altura

En la FIGURA 5.1 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.

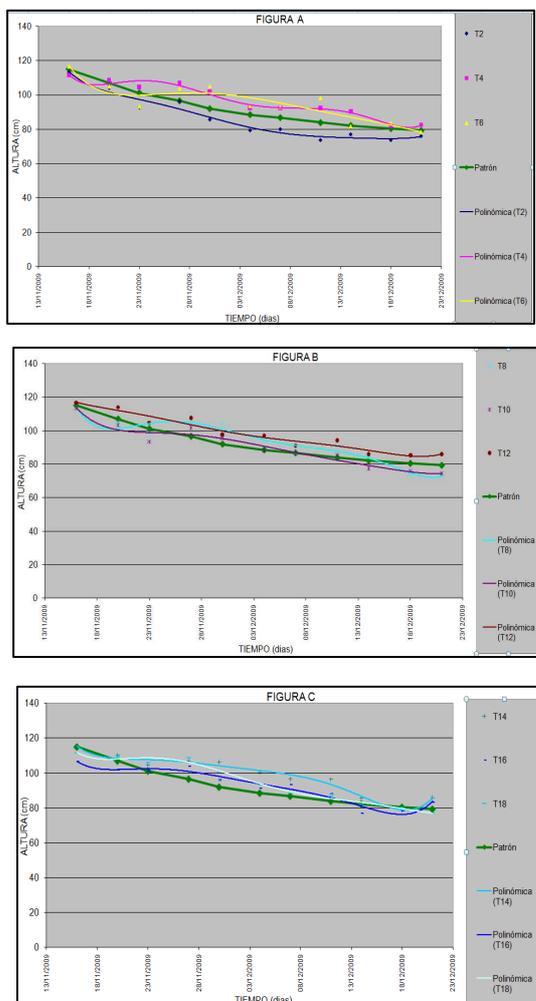


FIGURA 5.1: Variación de la altura a través del tiempo. A: Resultados correspondientes a los tratamientos T2, T4 y T6; B: tratamientos T8, T10 y T12; C: tratamientos T14, T16 y T18.

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

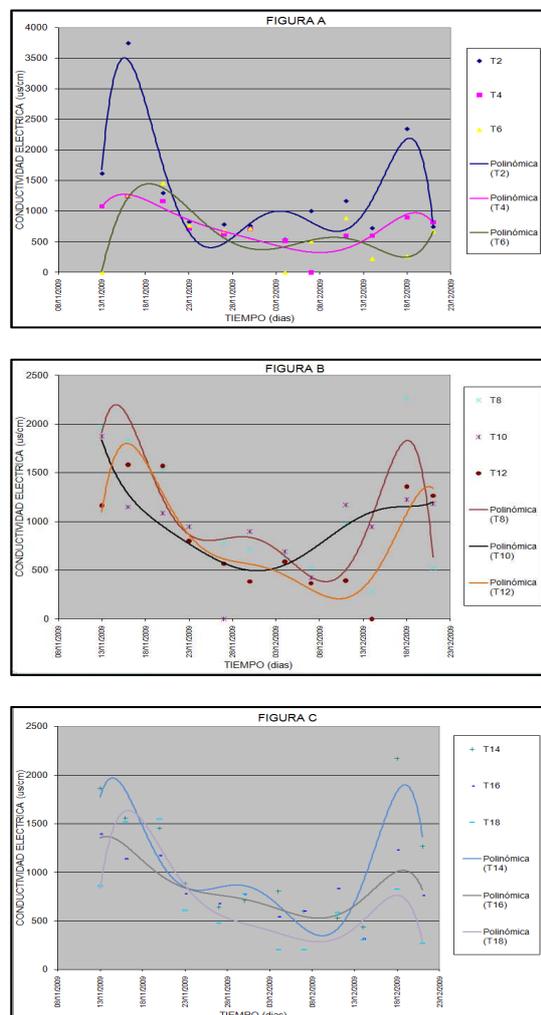


FIGURA 5.2: Variación de la conductividad eléctrica a través del tiempo. A: Resultados correspondientes a los tratamientos T2, T4 y T6; B: tratamientos T8, T10 y T12; C: tratamientos T14, T16 y T18.

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 5.3 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.

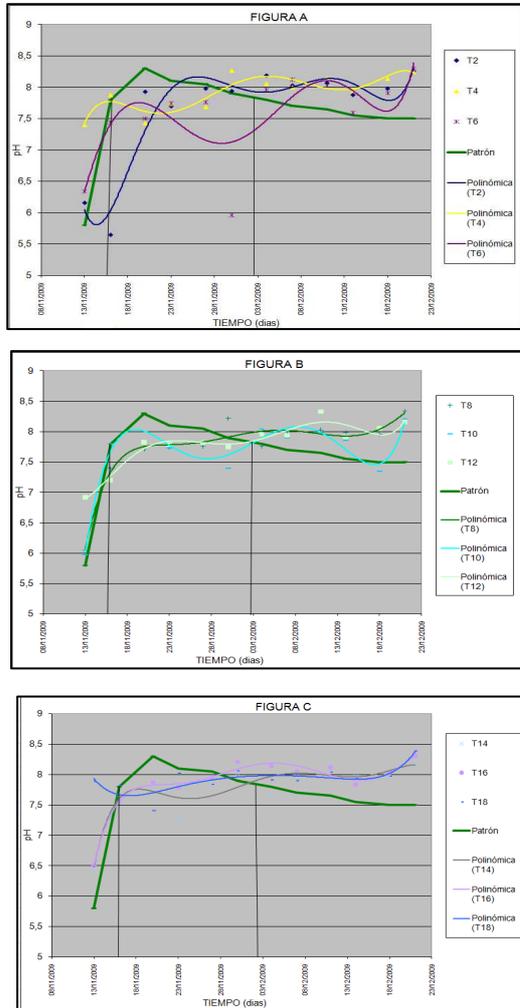


FIGURA 5.3: Variación del pH a través del tiempo. A: Tratamientos T2, T4 y T6; B: tratamientos T8, T10 y T12 y C: tratamientos T14, T16 y T18.

Los valores de pH durante el proceso de descomposición siempre tendieron a la alcalinidad, exceptuando algunas evaluaciones. Cumpliendo una fase de alcalinización inicial, una fase de acidificación y una maduración que tiende a la neutralidad.

Temperatura

En la FIGURA 5.4 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.

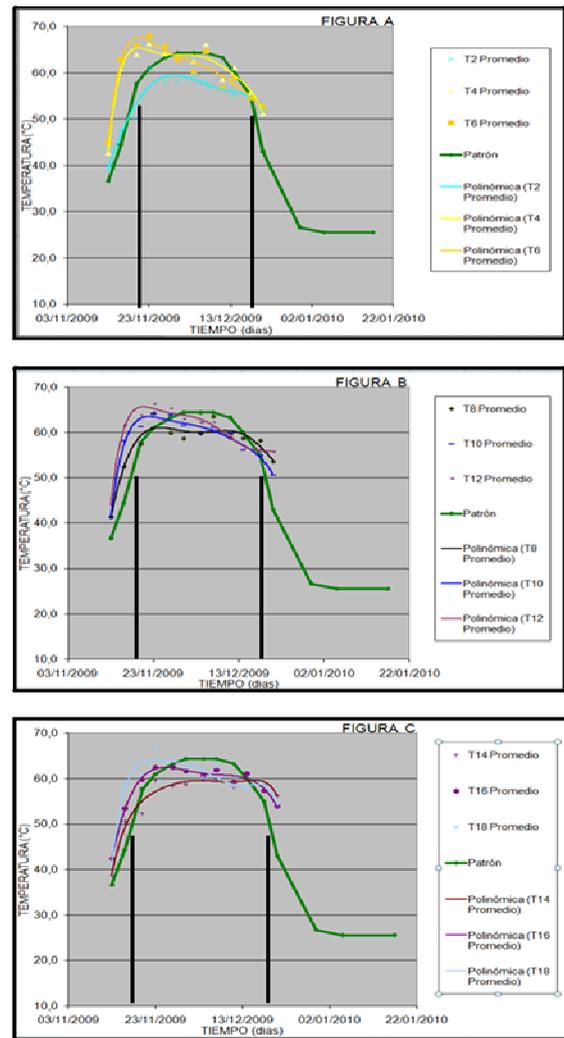


FIGURA 5.4: C. Variación de la temperatura a través del tiempo. A: Tratamientos T2, T4 y T6; B: tratamientos T8, T10 y T12; C: tratamientos T14, T16 y T18.

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.

5.2 Evaluación de la calidad final del compost producido.

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, siendo la formulación uno con 25% de bagazo, 50% de cachaza y 25% de ceniza presentó los valores más elevados de manera variable entre los tratamientos y la formulación dos con 40% de bagazo, 30% de cachaza y 30% de ceniza presentó los valores más bajos debido al lavado de nutrientes por lixiviación.

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, siendo la formulación uno con 25% de bagazo, 50% de cachaza y 25% de ceniza presentó los valores más elevados de manera variable entre los tratamientos y la formulación dos con 40% de bagazo, 30% de cachaza y 30% de ceniza presentó los valores más bajos.

Humedad, Materia orgánica y Relación C/N

De acuerdo a la relación C/N gran parte de los mostraron 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. Al finalizar el proceso los tratamientos T3, T4, T5, T6, T8, T9, T12 y T14 mostraron incremento de la relación C/N, a diferencia del resto de los tratamientos, en los que disminuyó su relación por la pérdida de carbono durante el proceso. El tratamiento que más redujo su relación C/N fue el T1 (Microorganismos locales, Formulación uno y tubos) con un 41,45% de reducción.

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%).

Población Microbiana

Todos los tratamientos mostraron una disminución en la cantidad de colonias debido a los cambios de

temperatura durante el proceso que limitan el crecimiento y supervivencia de algunos grupos de microorganismos. Los tratamientos T7 (Microorganismos comerciales, Formulación uno y tubos) y T16 (Ninguno, Formulación dos y volteos) presentaron mayor cantidad de colonias, en cambio el tratamiento T3 (Microorganismos locales, Formulación dos y tubos) presentó la menor cantidad.

Cromatografía de papel

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 T17 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.

6. Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Los tratamientos que se realizaron con el método de aireación por tubos no presentaron una descomposición adecuada.
- 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.
- Al finalizar el proceso, todos los tratamientos presentaron una humedad alta (falta de maduración).
- La temperatura de todos los tratamientos se mantuvo por encima de 60 °C durante un mes de proceso, manifestando al finalizar el proceso un descenso de temperatura.
- Todos los tratamientos presentaron una reducción de la población microbiana al finalizar el



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



proceso, excepto los microorganismos comerciales que mantuvieron una población mayor que los locales durante el proceso de compostaje.

- El contenido de macro y micronutrientes se mostró variable siendo la formulación tres con 50% de bagazo, 25% de cachaza y 25% de ceniza la más estable de acuerdo a las medianas de los valores obtenidos.

Recomendaciones

Es necesario mantener una buena aireación por lo tanto continuar con los volteos mecanizados es lo correcto.

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.

El compostaje es importante que se lo realice en una infraestructura que permita la recolección de su lixiviado y trabajar en condiciones de lluvia controladas.

Continuar la aplicación de microorganismos comerciales, aunque los locales demostraron ser una alternativa viable si se quiere reducir costos.

Es necesario aumentar la cantidad de materia orgánica inicial y final, esto se lo lograría incorporando materiales ricos en este parámetro.

7. Agradecimientos

A el Ing. Omar Ruíz, al Ingenio La Troncal y Dra. Esther Lilia Peralta por el invaluable apoyo y al Centro de Investigaciones Biotecnológicas del Ecuador (CIBE) por las facilidades prestadas.

8. Bibliografía

- [1]. AGREDA G., y DEZA M., Factores que condicionan el proceso de compostaje. <http://www.ua.m.es> (consultado, enero del 2010).
- [2]. BENZING A., Agricultura Orgánica- fundamentos para la región andina. Neckar - Verlag , Alemania. 2001; p.682 .
- [3]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. COMPOSTADORES., Organismos que intervienen en el compostaje. <http://www.compostadores.com> (consultado, enero 2010).

[6]. EDUFUTURO., La contaminación. 2006; <http://www.edufuturo.com> (consultado, enero 2010).

[7]. FACULTAD DE CIENCIAS UNIVERSIDAD DE CHILE; Manual de laboratorio. Técnicas cromatográficas. Departamento de Química. Chile. 2009; www.cibe.espol.edu.ec (consultado, enero 2010).

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

[9]. MORENO J., y MORAL R., Compostaje. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 2007; p. 93-285.

[10]. PEÑA A., Los residuos industria azucarera (CEA) y el medio ambiente. 1999; <http://www.bvsde.paho.org> (consultado, enero 2010).

[12]. PRAVIA M., Guía de Compostaje, Proyectos Residuos Rosario, Argentina. 1999; p.27 -34.

[13]. SUQUILANDA M., Agricultura orgánica, alternativa tecnológica del futuro. 1995; p.172-208.