



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR

DECANATO DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

COORDINACIÓN DE COOPERACIÓN TÉCNICA Y DESARROLLO SOCIAL

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, CLASIFICACIÓN Y
DISPOSICIÓN FINAL DE LOS DESECHOS SÓLIDOS DENTRO DE LA
UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR: PROYECTO COMPOSTAJE**

Por:

Andrés Abdelnour

Realizado con la asesoría de:

Tutor Institucional: Ing. Rubén Darío Lugo

INFORME DE SERVICIO COMUNITARIO

Presentado ante la Ilustre Universidad Simón Bolívar

como requisito parcial para optar al Título de

Ingeniero Mecánico

Sartenejas, Julio de 2009

1. INTRODUCCIÓN

Con el tiempo el hombre se ha interesado en conseguir las diferentes vías para aprender a utilizar materiales que tuvieron anteriormente un uso específico y que pasaron a ser simplemente desechos. Esta idea surgió a fin de aprovechar estos desperdicios y disminuir el consumo de capital, especialmente en las industrias. En la actualidad este concepto ha cobrado mayor fuerza, principalmente con el objeto de evitar la continua explotación de los recursos naturales y por lo tanto colaborar con la salubridad del medio ambiente.

Los diferentes organismos que conforman la Universidad Simón Bolívar generan día a día desechos que podrían ser de utilidad para la generación de bienes de interés para la misma universidad e incluso para las comunidades aledañas. El proyecto a desarrollar es una continuación de uno realizado el trimestre enero-marzo 2009, el cual se enfoca en la utilización de los diferentes desechos orgánicos que generan los servicios de comedores, a fin de ser utilizados como materia prima para la realización de compost. Dicho compost podría estar dirigido principalmente para el mantenimiento de los jardines y viveros de la universidad e incluso podría convertirse en un negocio al ser comercializado.

El compost es la descomposición aeróbica de residuos orgánicos como restos vegetales, animales, excremento entre otras; y es utilizado para mejorar la calidad y fertilidad de la tierra en el que es esparcido, sin la necesidad de utilizar productos químicos que pudieran afectar de una u otra forma el medio ambiente. Con el proyecto se desea obtener un compost que cumpla con las condiciones indicadas para ser utilizado y es por ello que esta parte va dirigida a la evaluación de las características fisicoquímicas del mismo, a medida que se va formando.

En el proyecto presentado se detallará cada uno de los objetivos propuestos y los resultados obtenidos al final del proceso de compostaje.

2. JUSTIFICACIÓN DEL SERVICIO COMUNITARIO

En los comedores y áreas de alimentos de la Universidad Simón Bolívar se producen una gran cantidad de desechos sólidos y orgánicos, motivado a la gran demanda de alimentos y el aumento progresivo de la población universitaria. Por lo que esto conlleva a la problemática existente de grandes cantidades de basura y de contaminación.

Por tal motivo surge la necesidad de presentar métodos para la regulación de la contaminación de estos desechos sólidos y orgánicos, los cuales no pueden reciclarse de forma industrial (como el papel, metal, plástico o vidrio). Sin embargo, son manejados por medidas de prevención y eliminación, es decir, a través de un control de los desechos sólidos y orgánicos que constituyan como un sistema de recolección, clasificación y disposición final de estos.

Entre estos métodos están las medidas de biodegradación para el tratamiento de estos desechos, este método consiste en conseguir la transformación de los compuestos orgánicos en elementos inorgánicos como dióxido de carbono y agua. Sin embargo, dicho proceso presenta varias etapas, por lo que genera una serie de compuestos oxigenados intermedios.

Con el propósito de aplicar la biodegradación, se realiza mediante la adopción de compostaje, el cual todo el proceso de descomposición de la materia ocurrirá en un "reactor", con el fin de acelerar la descomposición de la materia en condiciones controladas. Mediante el producto sólido obtenido luego de la descomposición de estos desechos podrían ser usados como fertilizante en la Universidad Simón Bolívar.

3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

3.1 Descripción de la comunidad

La Universidad Simón Bolívar se encuentra ubicada en el Valle de Sartenejas, Municipio Baruta del estado Miranda. Los terrenos de la universidad están constituido por dos sectores: el primero, una zona plana que es donde está situado el campus universitario, el otro sector se ha reservado como zona verde. Esta casa de estudios está conformada por profesores, alumnos y demás empleados que se encargan de las actividades administrativas y de mantenimiento para Septiembre del año 2007 cursaban estudios unos 9.524 estudiantes en pregrado y 2.810 estudiantes en postgrado. Una segunda sede en el litoral del estado Vargas fue destruida por las inundaciones de 1999 y se encuentra actualmente en reconstrucción; sin embargo, los estudios correspondientes a esa sede no se han interrumpido y actualmente cerca de 1000 estudiantes cursan estudios universitarios a nivel técnico. La Universidad Simón Bolívar, a diferencia del modelo tradicional del resto de las universidades de Venezuela (que se encuentran organizadas por facultades), posee una forma matricial de organización. El aumento de la población universitaria en los últimos años presenta nuevas dificultades en relación a la logística y gestión de las diversas entidades académicas, administrativas y de servicios.

3.2 Antecedentes del proyecto

Este proyecto de servicio comunitario ha sido desarrollado durante varios meses. En su primera etapa logró junto a la Dirección de Servicios de la Universidad Simón Bolívar el surgimiento de la campaña “Reduce, reutiliza, recicla” dentro del campus de Sartenejas. El objetivo principal de esta campaña es el reciclaje de papel, el cual se promueve mediante la disposición de contenedores de recolección de papel en las oficinas y otras zonas del campus. No sólo se ha promovido el reciclaje de papel en la universidad, sino también se han realizados esfuerzos para recolectar y reciclar los envases de vidrio en las zonas de consumo de alimentos.

A pesar de los esfuerzos llevados a cabo, la cantidad de desechos manejados en la universidad es notable. Por lo que la necesidad de desarrollar un plan de gestión de los mismos es persistente. Una de las vías más comúnmente utilizadas es la formación de composta a partir de dichos desechos, esencialmente de origen orgánico. El compost puede representar una forma de revalorización de los desechos de este tipo, utilizable como sustrato para suelos en la agricultura y jardinería.

En Venezuela estas prácticas son incipientes, encontrándose planes pioneros en ciertas universidades como la Universidad de los Andes o en la Universidad Central de Venezuela, en donde se han estudiado las posibilidades del aprovechamiento de los residuos para la producción de compost.

En la Universidad Simón Bolívar, Luisa Villalba desarrolló en el 2005 una tesis de maestría basada en la caracterización físico-química y biológica de un compost elaborado con desechos generados en la USB². Esta tesis estudia la calidad del compost producido a partir de los desechos generados en la cocina de los comedores universitarios y la compara con el tipo de compost que se produce actualmente en los viveros.

Para el año 2009 un grupo de estudiantes de la Universidad Simón Bolívar, asesorados por el ingeniero Rubén Darío Lugo realizaron un trabajo que tuvo como fin el diseño de un sistema de recolección clasificación y disposición final de los desechos sólidos dentro de la Universidad constituyendo una iniciativa para la disminución de la cantidad de desechos en la mencionada casa de estudio. En dicho trabajo recomiendan la evaluación y análisis del compost durante su maduración, además de reactores más adecuados para la obtención de buenos resultados.

4. DESARROLLO DEL PROYECTO

4.1 Título

Diseño de un Sistema de recolección, clasificación y disposición final de los desechos sólidos dentro de la Universidad Simón Bolívar: Proyecto compostaje.

4.2 Objetivo General

Elaboración de nuevos reactores de compostaje, evaluando su proceso de maduración, para de esta manera aportar mejoras significativas al proceso de diseño de futuras unidades.

4.3 Objetivos Específicos

1. Evaluar la situación actual y estudiar las posibles mejoras complementarias que se pueden añadir.
2. Profundizar y refinar las técnicas de recolección y análisis de datos empleadas en la evaluación y determinación de la calidad del compost.
3. En función de los resultados obtenidos recomendar posibles mejoras al proceso que permitan la continuidad y optimización del proceso.

4.4 Metodología Empleada

Actividades Realizadas

Ante todo, cabe destacar, que como metodología se realizaron cinco (5), estudios en aproximadamente, siete (7), semanas, entre ellos:

- Descripción física del compost;
- Evaluación térmica del compost;
- Evaluación química ácida del compost;
- Evaluación de la humedad del compost;

➤ Evaluación de vida en el compost.

Se tienen tres reactores de compostaje, estos fueron preparados con desechos de los comedores de la universidad. Dos con desechos cocidos (yuca, pasta, arroz) uno tiene, además, levadura y papelón. El otro se preparó con desechos no cocinados (lechuga, cáscaras, conchas, etc.).

Tomando como referencia la tesis de estudios anteriores y con el apoyo del laboratorio de Análisis de Alimentos, se establecieron los procedimientos experimentales para analizar ciertas propiedades características del compost en maduración: el porcentaje de humedad, el pH y el desprendimiento de CO₂.

En general, se tomaron una sola muestra de cada reactor, en el centro del contenido de compost, para evitar las variaciones que pueden causar el contacto más cercano a la atmósfera y calor externo.

➤ ***Descripción física del compost:***

En éste análisis, simplemente se trataron de detectar los olores, signos claros o leves de maduración del mismo, presencia de cierta cantidad y variedad de insectos, y estado físico del mismo, en cada determinado reactor o recipiente desde el vivero en donde se encontraban. Esto con el fin último de poder, digamos, predecir el posible comportamiento orgánico dentro del compost y, además, poder esperar de antemano, ciertos resultados de las debidas experiencias detalladas, (las demás), realizadas a cada muestra, de cada reactor.

➤ ***Evaluación térmica del compost***

Para dicha evaluación, se realizaron mediciones de las respectivas temperaturas del compost de cada reactor. Para ello, se pidió la ayuda en el suministro de un termómetro prestado por el Laboratorio de Análisis de Alimentos, con el cual se pudo subir al vivero, donde estaban ubicados los reactores, con el objetivo de medir esta variable de interés. Cabe destacar, la medición de la

temperatura del ambiente, más para comparar los resultados con la atmósfera a la que fueron sometidos dichos compost en los reactores.

Las mediciones que se realizaron en cada reactor, fueron tres por cada uno: el primero en el tope del compost, el segundo en el centro del compost y, el tercero en el fondo del mismo.

➤ ***Evaluación química ácida del compost***

De la muestra que de cada reactor se tomaron, se agregó una cierta porción a unas fioas de 50 mL, posteriormente se diluyó en cierta cantidad de agua destilada, (pH = 7), y luego se midió, con la ayuda de un pH-metro en el Laboratorio de Análisis de Alimentos, la variable de interés en dicho estudio, el pH de la disolución.

➤ ***Evaluación de la humedad del compost***

Para éste análisis, el procedimiento a seguir fue el siguiente:

1. Se midieron las masas de tres cápsulas de metal vacías, inicialmente, con la ayuda de una balanza, debidamente calibrada, en el Laboratorio de Análisis de Alimentos;
2. De las muestras recogidas, una por cada reactor o compost de estudio, se agregaron a cada cápsula, (previamente identificada según el compost de estudio), aproximadamente, diez gramos de muestra, (10 g);
3. Se colocaron las muestras en sus respectivas cápsulas, dentro de una estufa en el Laboratorio de Análisis de Alimentos, a presión de vacío y oscilando los ciento diez a ciento veinte grados centígrados, (110-120 °C), para garantizar la evaporación del agua y evitar cualquier tipo de pérdidas en la muestra de estudio;

4. Luego de un día, (un tiempo escogido como prudencial), se pesaron las muestras en la balanza, (cápsulas + compost “seco”);
5. La masa del agua contenida en el compost, se determinó por la diferencia de peso en el mismo de un día para otro, posteriormente, se determinó la humedad contenida en él por su composición y su porcentaje.

➤ ***Evaluación de vida en el compost***

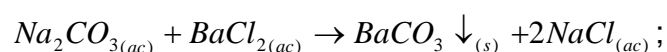
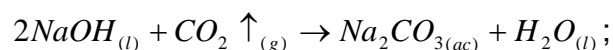
Para éste análisis, se empleó como método, el de *“Determinación del dióxido de carbono, (CO₂), producido durante el proceso de respiración, mediante utilización de una trampa de álcali”*. Metodología empleada en el Laboratorio de Ecología de Suelos del *Centro de Ecología del IVIC*.

El procedimiento a seguir, en este caso, fue el siguiente:

1. Se pesaron aproximadamente, diez gramos, (10 g), de cada compost, agregados, respectivamente, a potecitos de plástico destapado, (evitando agregarle en ningún momento, agua a la muestra, con la finalidad de determinar el CO₂ producido en condiciones, lo más posible, naturales);
2. Se colocaron, respectivamente, (y previamente identificado cada una de las muestras del compost y reactor adecuado), dentro de frascos de plástico, más grandes;
3. Se midieron en tres tubos de ensayos distintos, veinte mililitros, (20 mL), de hidróxido de sodio, (NaOH diluido al 0,1 M), para luego suspender uno por muestra, en cada determinado frasco;
4. Se taparon herméticamente, (en lo posible), los frascos y se dejaron incubando a 25 °C, aproximadamente, durante 24 horas;

5. Paralelamente, se suspendió en un frasco plástico distinto, un tubo de ensayo con 20 mL de NaOH al 0,1 M, el cual constituyó el “blanco”, con el que se comparó con el contenido de CO₂ del ambiente;
6. Concluida la incubación, (al día siguiente), se recuperó y trató el recipiente o tubo de ensayo con el NaOH o álcali, ahora con el CO₂ liberado y capturado;
7. Se trasvasó a una fiola de 100 mL, para su debida y respectiva titulación, añadiendo ante todo, dos mililitros, (2 mL), de cloruro de bario, (BaCl₂ al 0,5 M), con el objetivo de precipitar el CO₂ absorbido por el hidróxido;
8. Se añadieron, además, de tres a cuatro, (3-4), gotas de fenolftaleína en solución, (como agente indicador de la titulación);
9. Finalmente, se tituló la muestra con el ácido clorhídrico, (HCl al 0,1 M), hasta notar el viraje del indicador , (del color rosa a incoloro);
10. Se procedió de la misma forma, con los demás casos o muestras de los frascos de plástico.

Las reacciones involucradas se muestran a continuación:



En el caso del indicador empleado, su comportamiento general no es afectar químicamente hablando, las propiedades de los demás componentes, es solo la de identificar el tipo de solución ácido-básica que trabajemos, en este y otros casos, un indicador refleja en la solución lo siguiente:

$HIn_{(ac)} \leftrightarrow H^+_{(ac)} + In^-_{(ac)}$; en nuestro caso, la solución es ácida inicialmente
(rosado) (incoloro)

y se tornará básica, cambiando de color desde el rosado, hasta el incoloro,

teniendo como constante de disociación ácida: $K_a = \frac{[H^+] \times [In^-]}{[HIn]} = 1 \times 10^{-7}$; debido

a que se disocia con el agua destilada. Sabiendo que la fenolftaleína, de nuestro caso, cambia de color a rosa cuando el pH ácido es igual a nueve, (9), tenemos que

$$\frac{[In^-]}{[HIn]} = \frac{1 \times 10^{-7}}{[H^+]} = \frac{1 \times 10^{-7}}{1 \times 10^{-9}} = 100; \text{ lo que indicó que por cada molécula de HIn,}$$

rosada, existían 100 iones incoloros de In^- .

En cuanto a las ecuaciones involucradas, tenemos:

$$N_{HCl} \cdot V_{HCl} = N_{CO_2} \cdot V_{CO_2} = \frac{n_{eq\ CO_2}}{V_{CO_2}} \cdot V_{CO_2} = \frac{P_{CO_2}}{P_{eq\ CO_2}} \Rightarrow P_{CO_2} = P_{eq\ CO_2} \cdot N_{HCl} \cdot (V_B - V_A);$$

(dicha ecuación se cumple en el equilibrio de la titulación, es decir, justo en el cambio de color);

Sin embargo, sabemos además que:

$$N_{HCl} = \frac{n_{eq\ HCl}}{V_{HCl}} = \frac{P_{HCl}}{V_{HCl} \cdot P_{eq\ HCl}}; \text{ y que:}$$

$$P_{HCl} = M_{HCl} \cdot V_{HCl} \cdot PM_{HCl};$$

Sustituimos en la ecuación original y tenemos:

$$P_{CO_2} = \frac{P_{eq\ CO_2} \cdot M_{HCl} \cdot PM_{HCl} \cdot (V_B - V_A)}{P_{eq\ HCl}};$$

Donde:

N_{HCl} : normalidad del HCl usado;

N_{CO_2} : normalidad del CO_2 usado;

V_{HCl} : volumen del HCl en el equilibrio de la titulación;

V_{CO_2} : volumen del CO_2 en el equilibrio de la titulación;

$n_{eq CO_2}$: número de equivalentes del CO_2 en la reacción;

$n_{eq HCl}$: número de equivalentes del HCl en la reacción;

P_{CO_2} : masa de CO_2 en la muestra;

P_{HCl} : masa de HCl en la muestra;

$P_{eq CO_2}$: peso equivalente del CO_2 en la reacción;

$P_{eq HCl}$: peso equivalente del HCl en la reacción;

V_B : volumen de HCl que se necesitó para titular la muestra del "blanco";

V_A : volumen de HCl que se necesitó para titular la muestra del compost original;

M_{HCl} : molaridad de la solución de HCl empleada;

PM_{HCl} : peso molecular del HCl.

En general, los resultados pudieron ser obtenidos por las siguientes ecuaciones finales:

$mg CO_2 \text{ en } 24h \text{ por } 10g \text{ de suelo} = (V_B - V_A) \cdot 22 \cdot N_{HCl}$; y mas específicamente:

$mg C \text{ contenidos en } CO_2 \text{ en } 24h \text{ por } 10g \text{ de suelo} = (V_B - V_A) \cdot 6 \cdot N_{HCl}$.

Este parámetro es utilizado para medir la actividad microbológica en el compostaje, a menor actividad (los niveles deberían permanecer constantes) mayor madurez.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación se presentan los resultados de las mediciones de pH, humedad, cantidad de CO₂ desprendido y la variación de temperaturas (superficie, mitad y fondo) de cada uno de los reactores.

Como se había mencionado anteriormente, en el primer reactor se encuentran los desechos cocidos, los no cocidos más la levadura, en el segundo los desechos no cocidos y en el tercero los desechos cocidos.

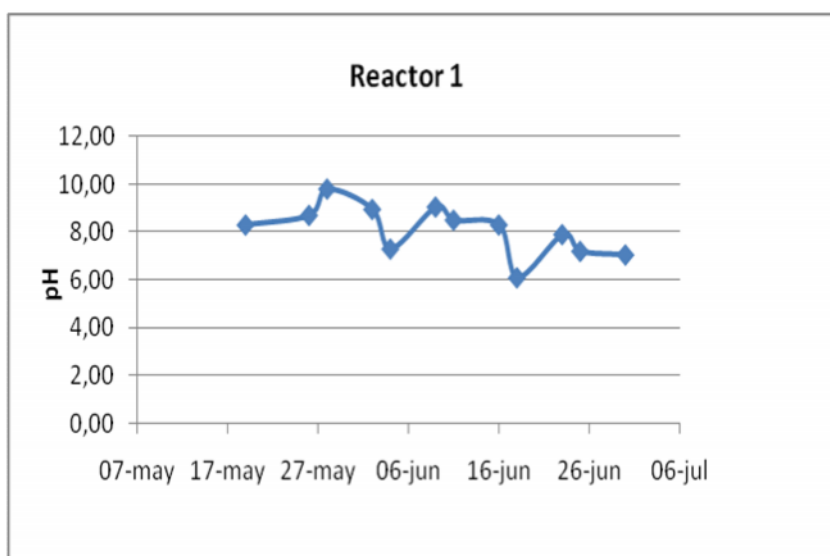


Figura 1. Valores de pH de muestra de compost de cocidos, no cocidos y levadura.

El pH es un valor que nos indica si un producto o material es ácido, alcalino o neutro, es decir, de pH inferior, superior o igual a 7 respectivamente.

Para determinar los valores de pH se empleó un pH-metro, con el cual se obtuvieron medidas con bastante precisión.

Se observa en la figura 1 que el pH varía a lo largo del proceso. En la primera fase el pH es alcalino y continúa siéndolo aproximadamente hasta la semana nueve, teniendo un pH ácido de 6.10, que posteriormente, en las siguientes semanas cambia a valores cercanos al neutro. Este comportamiento es beneficioso, ya que

al tener un compost neutro existe mayor degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos. La disminución de pH a 6.10 se puede deber a la composición química del sustrato. El pH en el compost está influenciado por el sistema carbónico. El dióxido de carbono (CO_2) que se forma durante la descomposición se libera a la atmósfera como gas o puede disolverse en los líquidos, formando ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^-) haciendo que el compost disminuya su pH.

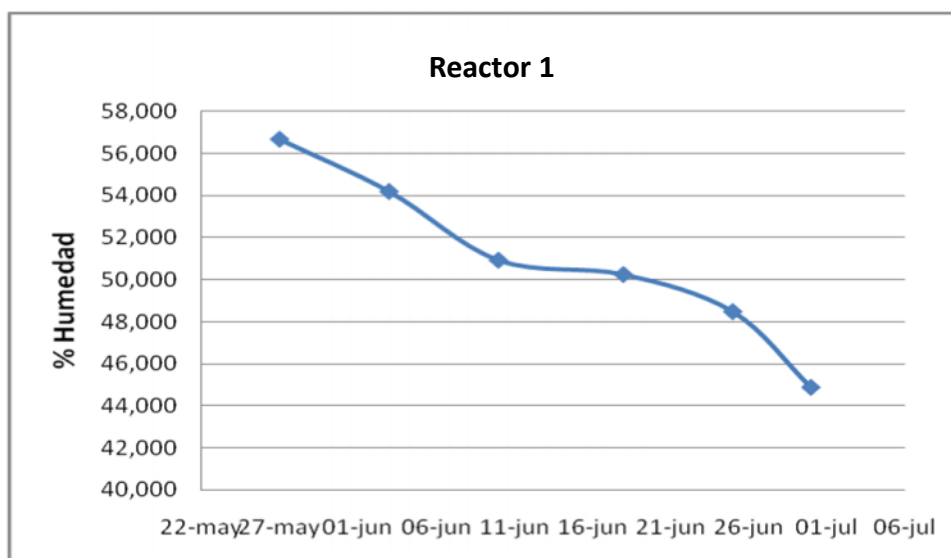


Figura 2. Porcentaje de humedad del compost de desechos cocidos, no cocidos y levadura.

En la figura 2, se observa que los niveles de humedad relativa siempre se mantienen en un rango de 55 y 44%. En general se recomienda que la humedad se ubique entre 60 y 40% para que pueda realizarse un proceso de descomposición adecuado, esto es tomando en cuenta que los organismos encargados de la descomposición necesitan suficiente agua para poder desarrollar su actividad degenerativa, de lo que se puede extraer que los valores de humedad estaban cercanos al óptimo. Con respecto a la tendencia de la curva, cabe destacar que la humedad va disminuyendo de manera significativa. En este punto es bueno recordar que el reactor 1 se elaboró con levadura y agua de panelón por

lo cual en un primer momento presentaba una humedad alta y con el transcurso del tiempo su humedad fue disminuyendo tanto por el consumo de los mismos microorganismos por efectos de la evaporación por la incidencia solar.

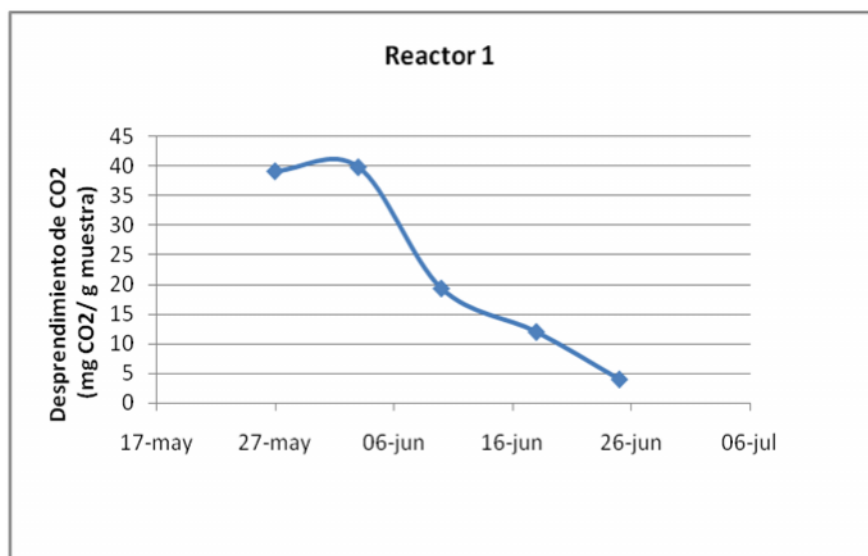


Figura 3. Desprendimiento de CO₂ por gramo de compost a partir de desechos cocidos, no cocidos y levadura.

En cuanto al desprendimiento de CO₂, se observa en la figura 3, que en las dos primeras semanas hubo un aumento en el mismo, mostrando una disminución rápida en las semanas siguientes. Esto es debido a la degradación de los residuos orgánicos, lo cual genera una mayor volatilización del dióxido de carbono, observándose entonces para las últimas semanas valores mínimos en desprendimiento de CO₂, traduciéndose en la maduración del compost. Cabe destacar, que para este reactor contenedor de levadura y demás compuestos orgánicos, se alcanza un estado de maduración casi completa. La levadura cataliza la degradación de los desechos resistentes, permitiendo a las bacterias continuar el proceso de descomposición.

Para el análisis del segundo reactor, se recopilaron los datos y posteriormente se graficaron al igual que para el primer reactor. A continuación se muestran los resultados.

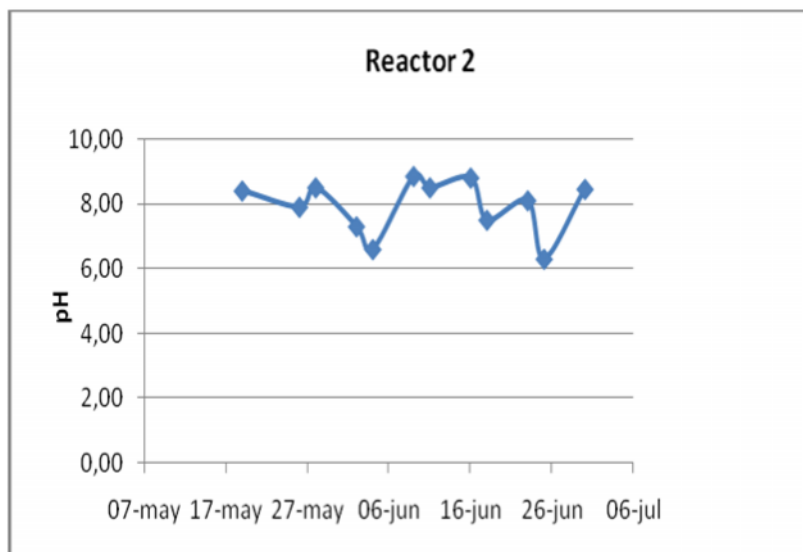


Figura 4. Valores de pH de muestra de compost de compuestos no cocidos.

Se observa en la figura 6 que el pH varía a lo largo del proceso de compost, con valores cercanos al de pH neutro. En la quinta y undecima semana el pH desciende y pasa de un pH básico a uno ácido, pudiendo atribuir este comportamiento a la descomposición de cierta materia orgánica, la cual que genera calor, elevación de la temperatura y disminución del pH. También se puede deber a la posible digestión anaerobia en la que se liberan ácidos orgánicos. Como se había mencionado anteriormente, condiciones básicas o neutras favorecen la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos, siendo beneficioso para el proceso.

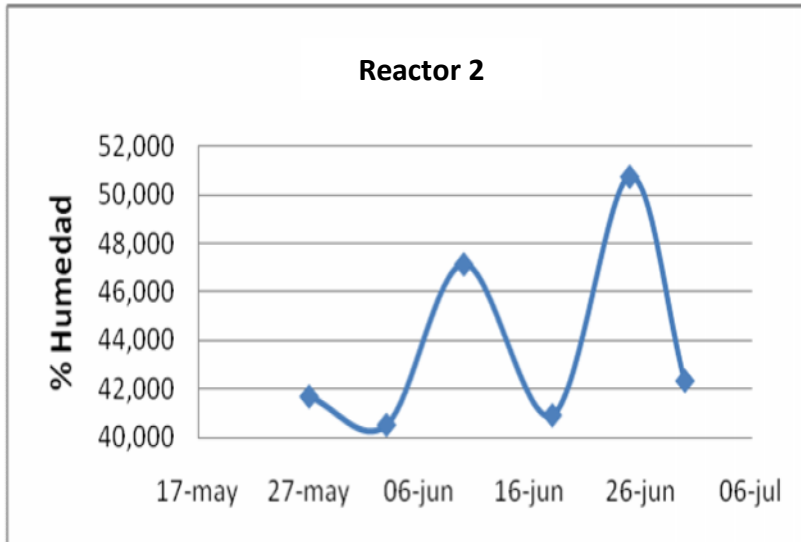


Figura 5. Porcentaje de humedad del compost de desechos cocidos, no cocidos.

En cuanto a la humedad, se observa una tendencia algo llamativa, donde la misma aumenta y disminuye de manera casi oscilante, alrededor de 45% de humedad. Podría tomarse en cuenta que el reactor se encuentra parcialmente cubierto, sin embargo hay espacios en los cuales debe entrar oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos, dichos espacios son orificios improvisados para lograr el objetivo, pero dichos orificios pueden estar dejando pasar el agua de la lluvia. Por lo cual sería pertinente diseñar un sistema de venteo que permita el paso de oxígeno y a la vez que evite la entrada de agua, lo cual puede distorsionar el resultado final.

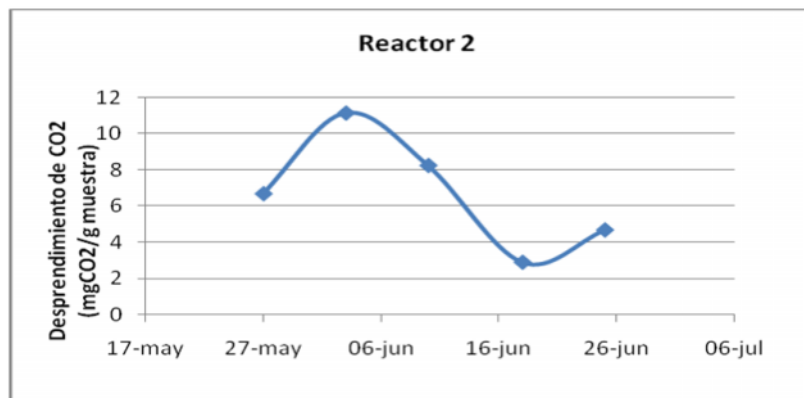


Figura 3. Desprendimiento de CO₂ por gramo de compost a partir de desechos no cocidos.

El desprendimiento de dióxido de carbono en la primera fase del proceso aumenta, la materia orgánica está siendo degradada. Posteriormente las bacterias cesan el proceso de descomposición, disminuyendo por lo tanto, el desprendimiento de CO₂ y finalmente en las últimas dos semanas comienza un nuevo proceso de descomposición de la materia que no logra descomponerse fácilmente en las primeras semanas, mostrando con un aumento en la curva.

Los resultados obtenidos para el último reactor muestran un comportamiento similar al obtenido en los reactores mencionados anteriormente. En la figura 7, se observan valores de pH cambiantes en el proceso, mostrando condiciones ácidas para la segunda semana y a partir de la novena hasta la última. Como se explicó anteriormente, el pH del compost está influenciado por el sistema carbónico, haciendo que el compost disminuya su pH. El pH en las semanas restantes mostró condiciones básicas favorables para el proceso de descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos.

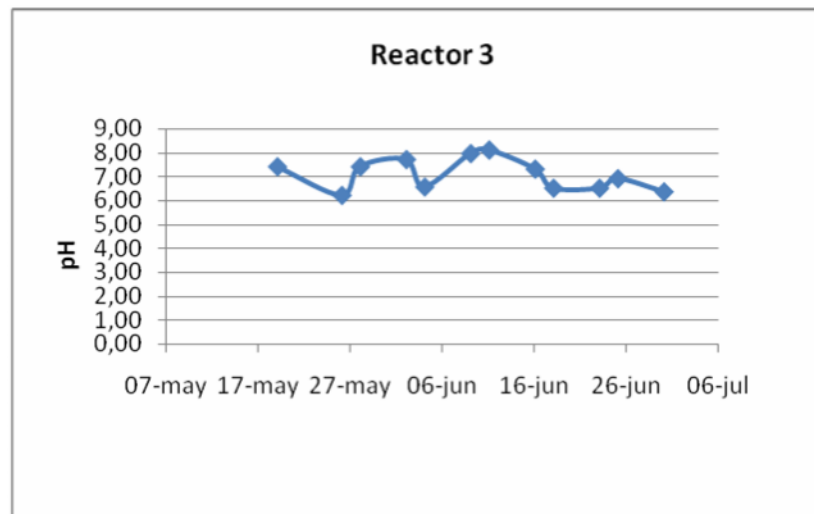


Figura 7. Valores de pH de muestra de compost de desechos cocidos.

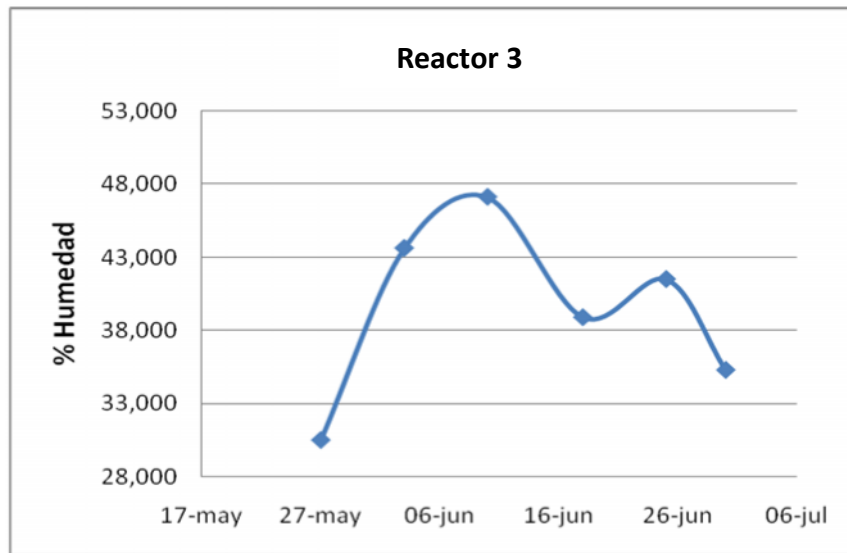


Figura 8. Porcentaje de humedad del compost de desechos cocidos.

En la figura 8, se observa una tendencia algo llamativa, donde la humedad aumenta y disminuye de manera casi oscilante, alrededor de 45% de humedad. Podría tomarse en cuenta que el reactor se encuentra parcialmente cubierto, sin embargo hay espacios en los cuales debe entrar oxígeno para el desarrollo adecuado de los microorganismos, dichos espacios son orificios improvisados para lograr el objetivo, pero dichos orificios pueden estar dejando pasar el agua de la lluvia. Por lo cual sería pertinente diseñar un sistema de venteo que permita el paso de oxígeno y a la vez que evite la entrada de agua, lo cual puede distorsionar el resultado final.

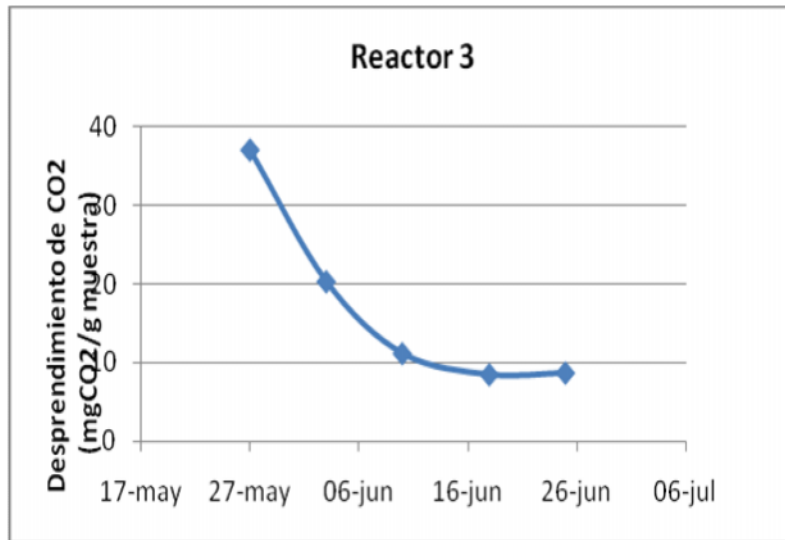


Figura 9. Desprendimiento de CO₂ por gramo de compost a partir de desechos cocidos.

Se hace evidente la maduración del compost de los desechos cocidos, con el desprendimiento de CO₂, llegando a valores mínimos en las últimas semanas.

Las temperaturas, en los tres reactores elaborados, presentaron los siguientes perfiles:

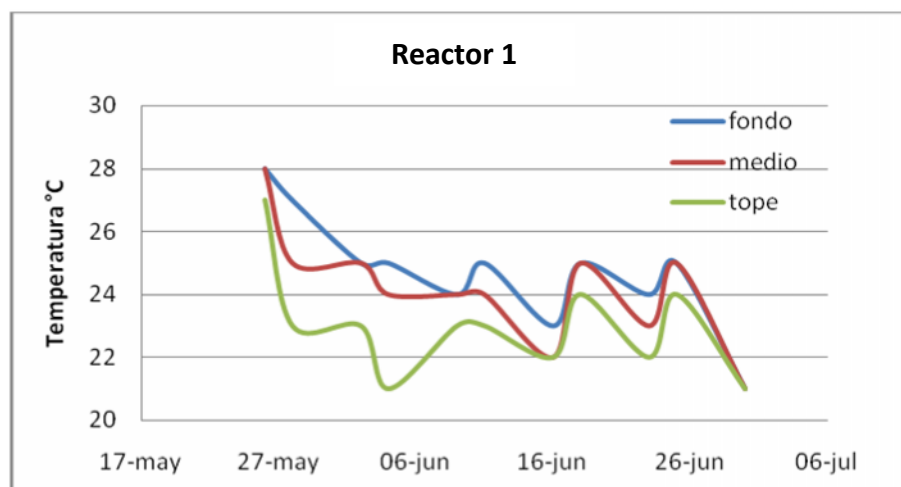


Figura 10. Temperaturas de tope, medio y fondo en el reactor de compost con desechos cocidos, no cocidos y levadura.

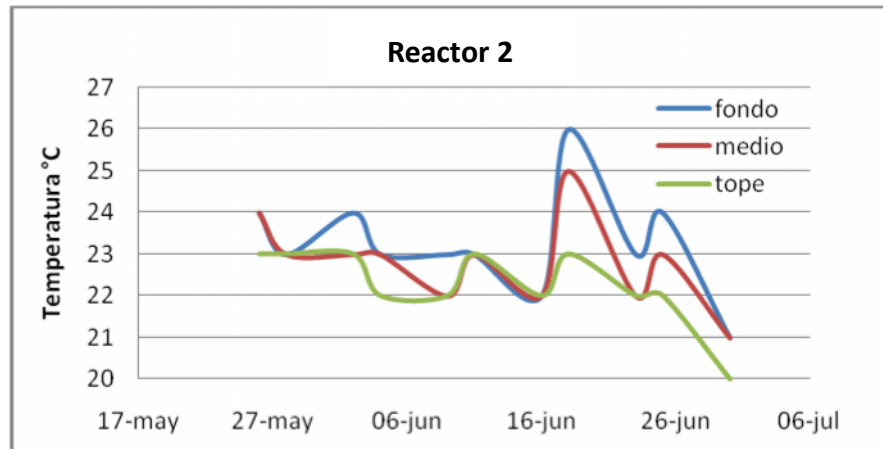


Figura 11. Temperaturas de tope, medio y fondo en el reactor de compost con desechos no cocidos.

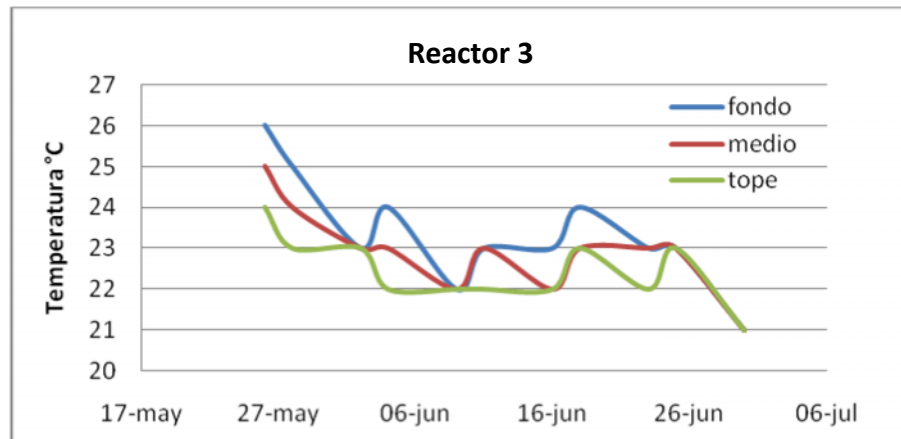


Figura 12. Temperaturas de tope, medio y fondo en el reactor de compost con desechos cocidos.

En líneas generales, los perfiles de temperatura en los tres reactores tuvieron la misma tendencia: con temperatura de fondo mayor o igual a la del medio y tope. Esta tendencia se justifica, debido a que la actividad microbiana aumenta la temperatura del medio en el cual se desarrolla. En teoría la temperatura del medio de la altura del reactor debería ser mayor a la de tope y fondo, sin embargo, el fondo podría considerarse como un sistema aislado de la temperatura, en el cual

no se puede disipar el calor que posee al ambiente por el impedimento de la pared del reactor, la cual es plástica.

En cuanto al reactor 3, se observa que en varias de las mediciones, la temperatura de tope, medio y fondo resultaron ser muy similares, esto se puede deber a la pequeña cantidad de compost que existía en este reactor, en comparación con los demás reactores, ya que el mismo fue realizado con cantidades de tierra y desechos menores a las cantidades de los demás. Esta decisión, se debió a la falta de desechos con características similares al momento de realizar el montaje.

Con respecto a las temperaturas optimas de operación de reactores de compost, se encontró que las mismas deberían ser altas en las primeras fases del proceso y disminuir en fases siguientes, esto debido al aumento de la actividad microbiana en un primer periodo, y luego esta actividad va disminuye dando paso a un tipo diferente de microorganismos con una actividad que altera en menor medida la temperatura de su entorno. Entre estos periodos puede darse el aumento de la temperatura, pero debe ser siempre menor a la de los primeros momentos. Sin embargo, en el reactor 2, el perfil de temperatura de tope, medio y fondo presento una evolución diferente a la de los demás reactores, donde luego de un tiempo es que se dio el aumento significativo de temperatura, esto puede ser indicativo de que dicho reactor de compost comenzó su desarrollo microbiano mucho después que los demás reactores.

5. IMPORTANCIA DEL PROYECTO REALIZADO Y RELACIÓN CON LA FORMACIÓN ACADÉMICA DEL ESTUDIANTE

El presente proyecto consistió en la elaboración de compost a partir de distintos desechos orgánicos, evaluando la evolución del proceso de maduración y calidad alcanzada del mismo.

El compostaje se considera un tratamiento de residuos basado en el reciclado de la materia orgánica mediante un proceso controlado de fermentación en condiciones aeróbicas.

El producto final del compostaje es un material parecido al humus del suelo, denominado compost, fácil de almacenar y transportar, de gran valor agronómico, principalmente por su contenido en materia orgánica y en elementos fertilizantes, que se utiliza en distintas actividades agrícolas

El proceso propiamente de compostaje consta de dos fases:

- Fase termófila: En esta etapa se produce un aumento progresivo de la temperatura del material a compostar disminuyendo la actividad microbiana.

La aireación de este compost provoca el reinicio del proceso de aumento de la temperatura, durante estos cambios de temperatura las poblaciones bacterianas presentes en el compost se van sucediendo unas a otras. Este ciclo se mantiene hasta que se agoten los nutrientes y la temperatura ya no alcanza estos valores. Durante el proceso de compostaje es necesario alcanzar temperaturas que permitan la eliminación de microorganismos patógenos.

- Fase de maduración: En esta etapa ya no se producen marcadas variaciones de temperatura, debido a la limitación de nutrientes, produciéndose un descenso importante de la actividad microbiana.

El proceso se ve afectado por una serie de factores, los cuales constituyeron la clave en el seguimiento del proyecto realizado. Los factores que influyen en el proceso de maduración del compost están a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada, entre estos factores se encuentran la temperatura, humedad, pH, oxígeno, relación C/N y población microbiana.

El compostaje constituye un área importante de estudio actualmente debido a que ofrece alternativas para el tratamiento de desechos orgánicos, permitiendo en la mayoría de los casos el aprovechamiento de los gases, producidos durante el proceso, como fuente de energía alterna. Esto permite disminuir el impacto ambiental causado por estos desechos incluyendo el aprovechamiento de energía.

La realización del presente trabajo permitió aplicar distintas técnicas de recolección y análisis de datos adquiridas durante la formación académica en la Universidad Simón Bolívar.

Conocer y estudiar, mediante este proyecto, las diferentes etapas y factores que afectan la elaboración de compost, permite afianzar conocimientos adquiridos sobre la evaluación y obtención de productos a través de procesos, complementando de esta forma la información impartida en aulas de clase. Además la importancia fundamental de este tipo de proyecto se enfoca en presentar posibles soluciones para el tratamiento, disposición y aprovechamiento de los desechos orgánicos producidos en la Universidad, con el fin de dar el ejemplo en materia ambiental, disminuyendo el impacto causado sobre el medio en el que nos desarrollamos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El pH en los reactores indicó evidente actividad microbiana durante el lapso estimado de maduración. Sin embargo en ciertos puntos el pH se hacía ácido probablemente por la presencia de ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^-) y carbonato (CO_3^{2-}) haciendo que el compost disminuya su pH los cuales se producían gracias a la presencia del CO_2 desprendido.
- La humedad se vio afectada por cambios climáticos en el entorno de los reactores, los cuales al no estar totalmente aislados permitían que se filtrara agua hacia el reactor cuando llovía.
- La temperatura mayor en los tres reactores se encontró en el fondo, lo que implica que la actividad microbiana mayor se estaba originando en el fondo de los reactores y no en el medio. Por tal motivo se recomienda un sistema de mezclado que puede ser manual para garantizar una distribución equitativa del material en descomposición.
- De los tres reactores el primero presenta una mayor temperatura en promedio a lo largo del período estudiado. En los tres casos hay una aparente dependencia de la temperatura del entorno, lo que explicaría la oscilación de los valores de temperatura.
- El desprendimiento de CO_2 disminuyó a medida que pasó el tiempo, lo cual es lógico ya que el consumo de los desechos es mayor al inicio lo que implica una mayor actividad microbiana y por lo tanto mayor desprendimiento de CO_2 . Los reactores 2 y 3 al cabo de un mes todavía presentan tasas importantes de desprendimiento de CO_2 , mientras que el reactor 1 presenta un menor desprendimiento y una tendencia de disminución de la tasa de liberación de CO_2 .
- Según los resultados obtenidos el reactor de desechos cocidos y no cocidos con levadura y agua de papelón mostró un comportamiento adecuado que evidencia estar cerca del punto de estabilidad y madurez en un tiempo corto de aproximadamente un mes, considerando que generalmente este

proceso debería durar más de dos meses. Por lo tanto se tiene que el impacto de la levadura y el agua de papelón es positivo para el desarrollo del compostaje.

- Se recomienda un sistema más aislado para los reactores de manera que la temperatura no se vea tan afectada por cambios en el exterior y no oscile tanto. Asimismo se recomienda también un sistema que permita el paso de aire al interior pero que no permita el paso del agua cuando llueve para no alterar el desarrollo del compostaje.
- Por medio de concientizar a la población se puede lograr una reducción del desperdicio de desechos sólidos en botaderos de basura donde ésta es generalmente incinerada. Los desechos serían revalorizados y aprovechados en agricultura y jardinería con la finalidad de generar un aporte positivo en la sociedad que nos rodea.
- Se recomienda comenzar los análisis fisicoquímicos del compost la misma semana en que los reactores son armados, de manera de poder determinar cuánto es el tiempo de maduración del contenido de cada recipiente con mayor grado de exactitud. De igual forma se recomienda realizar la mayor cantidad de mediciones posible de las cuatro variables involucradas.
- Se recomienda diseñar un cobertor o techo fijo que proteja los reactores del agua de lluvia, la cual puede afectar los valores de humedad del compost y el registro de la misma. Asimismo el agua de lluvia puede introducir compuestos que se encuentran en el sistema CO_2 – Agua, los cuales tienen la capacidad de afectar el pH del compost y su posterior análisis. La estructura del techo no debe restringir la circulación de oxígeno, garantizando que se ejecuten los procesos de descomposición aerobia.
- Es recomendable mezclar el contenido de cada reactor al menos tres veces por semana, para garantizar la homogeneidad del compost y además favorecer el proceso de aireación de la mezcla.
- Es importante tomar en cuenta que una vez alcanzada la maduración del compost, se deben ejecutar análisis que permitan caracterizar el contenido de macronutrientes en cada reactor para poder concluir sobre su

desempeño como futuro fertilizante. Se recomienda determinar la composición másica de nitrógeno, potasio y fósforo que representan los macronutrientes primarios, así como evaluar el contenido de azufre, calcio, magnesio y carbono que también destacan como compuestos importantes en el proceso de nutrición de las plantas.

- Por último, se recomienda realizar una caracterización de los microorganismos biológicos presentes en el compost pidiendo ayuda a los laboratorios de biología de la universidad. Con estos datos se tendría una caracterización completa del contenido del compost y podría comenzar a emplearse como fertilizante.

7. BIBLIOGRAFIA

[1] Villalba Márquez, Luisa Trina y Rocha, Carlos. "Caracterización Físico-Química y Biológica de un compost elaborado con desechos generados en la USB". Decanato de Estudios de Postgrado. Maestría en ciencias Biológicas. Universidad Simón Bolívar, 2005.

[2] <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>

[3] <http://es.wikipedia.org/wiki/Compostaje>