

**PROCESO DE REACTIVACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL MUNICIPIO DE GUACA
(SANTANDER)**

GERSON FERNEY BARRAGÁN NORIEGA



**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011

**PROCESO DE REACTIVACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL MUNICIPIO DE GUACA
(SANTANDER)**

GERSON FERNEY BARRAGÁN NORIEGA

PROYECTO DE GRADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

DIRECTOR:

M.Sc. CRISÓSTOMO BARAJAS FERREIRA

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA**

2011

Tabla de contenido

<i>INTRODUCCIÓN</i>	13
1. CONCEPTOS TEÓRICOS	15
1.1 COMPOSTAJE	15
1.1.1 Factores que influyen en el compostaje	15
1.2 MICROORGANISMOS EFICACES	17
1.3 CARACTERÍSTICAS Y SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS DE GUACA SANTANDER.	18
1.3.1 Localización geográfica	18
1.3.2 Fuente de generación de residuos sólidos	18
1.3.3 Recursos para el manejo.....	19
1.3.4 Recolección y transporte	19
1.3.5 Disposición de los residuos sólidos.....	19
2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	21
2.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA PLANTA Y MANTENIMIENTO A EQUIPOS	21
2.1.1 Diagnóstico del estado de los equipos	22
2.1.2 Mantenimiento correctivo y compra de equipos	22
2.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA	23
2.2.1 Caracterización de Residuos Generados en Guaca-Santander	23
2.2.2 Estudio de alternativas para establecer las condiciones de operación	24
2.2.3 Arranque de la Planta	24
2.2.4 Pruebas de control sobre parámetros de operación	24
2.2.5 Prueba de verificación sobre la calidad del compost.	25
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	26
3.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA PLANTA Y MANTENIMIENTO A EQUIPOS	26
3.1.1 Mantenimiento Correctivo	27
3.1.1.1 Mantenimiento de equipos de trituración	27
3.1.1.2 Mantenimiento del sistema de transporte	28

3.1.1 3.1.1.3 Mantenimiento del sistema del Bio-reactor	29
3.2 DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN	33
3.2.1 Caracterización de Residuos Generados en Guaca-Santander	33
3.2.2 Selección de condiciones iniciales de operación	34
3.2.3 Arranque de la Planta	35
3.2.4 Pruebas de control sobre parámetros de operación	35
3.2.5 Prueba de verificación sobre la calidad del compost.....	36
4.CONCLUSIONES.....	37
5.RECOMENDACIONES	38
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
BIBLIOGRAFÍA	41
ANEXOS	43

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Equipos y materiales nuevos, necesarios para el funcionamiento de la planta. Fuente: Autor.....	26
Tabla 2. Resumen de resultados del programa de caracterización de residuos de Guaca Santander. Fuente: Autor.....	33
Tabla 3. Condiciones iniciales de operación elegidas de las referencias heurísticas disponibles. Fuente: Autor.....	34
Tabla 4. Equipos y materiales nuevos, necesarios para el funcionamiento de la planta. Fuente: Autor.....	45
Tabla 5. Protocolo de puesta en marcha y operación. Fuente: el Autor.....	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Proceso de desarrollo metodológico en la parte mecánica de la planta. Fuente: el Autor.....	21
Figura 2. Proceso de desarrollo metodológico para definir las condiciones de operación de la planta. Fuente: el Autor.....	23
Figura 3. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje para una muestra de control. Fuente: el Autor.....	35

LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1. Muestra del proceso de mantenimiento del molino de martillos. Fuente: el Autor.....	27
Foto 2. Apariencia final del Molino de martillos 10hp. Fuente: el Autor.....	28
Foto 3. Guías para la cadena en la estructura de transporte por cangilones. Fuente: el Autor.....	28
Foto 4. Sistema de transporte instalado. Fuente: el Autor.....	29
Foto 5. Paletas y Bandejas del Bio-reactor respectivamente, con capa de pintura anticorrosiva. Fuente: el Autor.....	30
Foto 6. Ventilador de aspiración centrífugo con capa de pintura anticorrosiva. Fuente: el Autor.....	31
Foto 7. Estructura del Bio-reactor con capa de pintura anticorrosiva y paredes instaladas. Fuente: el Autor.....	32
Foto 8. Recomendación de instalación de rejas para evitar el robo de equipos. Fuente: el Autor.....	33
Foto 9. Aspecto general de algunos equipos ubicados en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Fuente: el Autor.....	45
Foto 10. Martillos de la trituradora. Estado inicial. Fuente: el Autor.....	47
Foto 11. Sistema de transporte. Fuente: el Autor.....	48
Foto 12. Paredes del bio-reactor. Fuente: el Autor.....	48
Foto 13. Sistema de transmisión. Sin cadena y sin motor. Fuente: el Autor.....	49
Foto 14. Sistema de inyección de aire. Fuente: el Autor.....	49
Foto 15. Conexiones eléctricas. Fuente: el Autor.....	51

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. Listado de equipos y diagnóstico	45
ANEXO 2. Información técnica sobre microorganismos eficaces EM®.....	52
ANEXO 3. Plegable entregado en la campaña de reciclaje	56
ANEXO 4. Protocolo de puesta en marcha y operación	59

RESUMEN

TÍTULO: PROCESO DE REACTIVACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DEL MUNICIPIO DE GUACA (SANTANDER)*

AUTOR:
GERSON FERNEY BARRAGÁN NORIEGA **

PALABRAS CLAVES:
Residuos sólidos orgánicos, Planta de compostaje, diagnóstico, proceso de arranque.

DESCRIPCIÓN:

Una de las técnicas más usadas en Colombia para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos (RSO), es el compostaje; un proceso mediante el cual el contenido orgánico de la basura se reduce por la acción de microorganismos en un producto estable muy similar al humus natural denominado: compost.

El municipio de Guaca (Santander) cuenta con una planta procesadora de RSO que se encuentra en completo abandono desde hace 4 años. Por esta inactividad los procesos que involucran su funcionamiento como la trituración, degradación mecánica-biológica y maduración, presentan daños en sus equipos y estructuras. Es de esta manera que la alcaldía municipal de Guaca en su gestión, ha resaltado la necesidad de realizar una adecuada disposición final de los RSO, y es por esto que ha decidido adecuar y poner en funcionamiento la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos a través de este proyecto, donde el objetivo fundamental es la reactivación de la misma, que permita el procesamiento de la fracción orgánica de los residuos que actualmente se destinan al relleno sanitario.

Para el cumplimiento de dicha meta se realizó un inventario técnico detallado de la planta que evidenció la necesidad de un mantenimiento correctivo para algunos equipos así como la compra de otros; como una actividad paralela indispensable, se implementó una campaña de reciclaje que permitió la separación de residuos desde su origen y que además contribuyó a la caracterización general de los residuos producidos en el municipio. Posteriormente se realizaron unas pruebas de funcionamiento que permitieron verificar las condiciones de operación de la planta, para las condiciones establecidas con antelación en base a referencias heurísticas. Este proceso finalizó con la obtención de un compost libre de patógenos que permitió al municipio un proceso adecuado del 68% de los residuos totales generados.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Química.
Director: M. Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira.

ABSTRACT

TITLE: REACTIVATION PROCESS OF THE ORGANIC SOLID WASTE TREATMENT PLANT OF THE MUNICIPALITY OF GUACA (SANTANDER)*

AUTHOR: GERSON FERNEY BARRAGÁN NORIEGA**

KEYWORDS: Organic solid waste, composting plant, diagnosis, boot process.

DESCRIPTION:

One of the most utilized techniques in Colombia for the good use of solid organic waste (SOW) is composting; a process by which the organic content of the solid waste is reduced by the action of microorganisms into stable product very similar to natural humus denominated compost.

The municipality of Guaca (Santander) disposes of a SOW processing plant that was completely abandoned since four years ago. Because of this inactivity the processes involved in its functioning namely crushing and mechanic-biologic degradation and maturation present damages in their equipment and structures. It is because of this that the mayoralty of Guaca through its management has remarked the necessity of a proper final disposition of the SOW's and hence it has decided to adapt and set up in operation the treatment plant of organic waste by means of this project. The principal objective is the reactivation of the plant so it allows the processing of the organic fraction of the waste that is currently sent to the landfill.

For achieving such goal a detailed technical inventory was made. The inventory made evident the necessity of a corrective maintenance for some equipment and the purchase of new equipment. As an indispensable parallel activity, a recycling campaign was implemented that allowed the separation of residues from its origin and also contributed to the general characterization of the residues produced in the municipality. Afterwards operation tests allowed verifying the operation conditions of the plant for previously established conditions based on heuristic references. This process culminated with the obtaining of pathogen free compost that furnished the municipality an adequate process for the treatment of 68% of the total generated waste.

* Final Year Project.

** Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering.
Director: M. Sc. Crisóstomo Barajas Ferreira.

INTRODUCCIÓN

La generación de residuos sólidos crece diariamente asociándose al incremento en los niveles de ingreso, cambio en los hábitos de consumo, desarrollo tecnológico y mejora de estándares de calidad de vida de la población, este acelerado incremento ha llevado a la aplicación de tecnologías apropiadas para la disposición final de residuos sólidos que permitan un control racional de los impactos producidos por los residuos, sin que se ponga en riesgo el medio ambiente y la salud pública^[1]. Por estas razones en la actualidad se ha tratado de buscar solución a éste problema, implementado un Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), donde se busca una sinergia de procesos que van desde: separación en la fuente (orgánico, reciclaje e inservible), hasta la transformación de los residuos que permiten éste proceso o a la disposición final de los que no se pueden reciclar.

Según caracterizaciones de residuos sólidos urbanos en Colombia, retomados por el RAS - 1998 ^[2], la proporción de orgánicos sobre los residuos sólidos urbanos alcanza el 55% de la producción per cápita. La disposición indiscriminada de éstos residuos en rellenos sanitarios se traduce en pérdida de nutrientes y contaminación ambiental.

Una de las técnicas más usadas en Colombia para el aprovechamiento de estos residuos sólidos orgánicos (RSO), es el compostaje; un proceso mediante el cual el contenido orgánico de la basura se reduce por la acción de microorganismos en un producto estable muy similar al humus natural denominado compost.

Teniendo esto en mente y como un primer paso en su PGIRS, el municipio de Guaca (Santander) inauguró en el año 2002 una planta procesadora de residuos sólidos orgánicos la cual estuvo en funcionamiento por un periodo de 3 años y debido a cambios en la administración se abandonó totalmente.

En los últimos años esta planta se encuentra en un estado de inhabilidad, pues los procesos que involucran su funcionamiento como la trituración, degradación mecánica-biológica y maduración, presentan daños en sus equipos y estructuras debido a la falta de mantenimiento y descuido de la misma durante 4 años.

Es de esta manera que la alcaldía municipal de Guaca en su gestión, ha resaltado la necesidad de realizar una adecuada disposición final de los RSO, y es por esto que ha decidido adecuar y poner en funcionamiento la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos a través de este proyecto, donde el objetivo fundamental es la reactivación de la misma, que permita el procesamiento de la fracción orgánica de los residuos que actualmente se destinan al relleno sanitario.

Para el cumplimiento de dicha meta se realizó un inventario técnico detallado de la planta que evidenció la necesidad de un mantenimiento correctivo para algunos equipos así como la compra de otros; como una actividad paralela indispensable, se implementó una campaña de reciclaje que permitió la separación de residuos desde su origen, que además contribuyó a la caracterización general de los residuos producidos en el municipio. Posteriormente se realizaron unas pruebas de funcionamiento que permitieron verificar las condiciones de operación de la planta, para las condiciones establecidas con antelación en base a referencias heurísticas. Este proceso finalizó con la obtención de un compost estable y libre de patógenos.

1. CONCEPTOS TEÓRICOS

1.1 COMPOSTAJE

El compostaje es una técnica utilizada desde hace mucho en la agricultura, consiste en el apilamiento de los residuos de la casa, excrementos animales y restos de cosecha, para descomponerlos y transformarlos en un producto fácilmente manejable y aprovechable como mejorador de suelo. Este era un proceso lento y no siempre se conservaba al máximo la calidad del material. Sin embargo, el compostaje que se practica en la actualidad es un proceso controlado para conseguir la transformación de un residuo orgánico en un producto estable, aplicable al suelo como agente mejorador.

La palabra Compost viene del latín componer (juntar). La definición más aceptada de compostaje es “La descomposición biológica aeróbica (en presencia de aire) de residuos orgánicos en condiciones controladas, que permite obtener un producto denominado compost apto para su uso como abono en jardinería, agricultura u horticultura”^[3]. Este proceso se representa básicamente por una reacción donde la fracción orgánica de los residuos, en presencia de oxígeno es transformada por los microorganismos a: materia orgánica estabilizada (compost), dióxido de carbono, agua y calor esencialmente ^[4]:

En todo proceso de elaboración de compost influyen varios factores, entre los cuales se destacan: oxígeno para la aireación, nutrientes, relación C/N, humedad, porosidad, pH, temperatura y tiempo.

1.1.1 Factores que influyen en el compostaje

- *Relación carbono/nitrógeno: C/N*

El sustrato a degradar debe tener los nutrientes necesarios para alimentar la masa celular microbiana, ser fuente de energía para los microorganismos y propiciar la formación de enzimas.

En general las bacterias necesitan 25-30 veces más de carbono que de nitrógeno, es decir una relación C/N de 30/1. Según sea el tipo de sustrato a compostar pueden darse una serie de problemas que pueden ser reducidos a dos; si la relación C/N es alta, los microorganismos necesitan la generación de muchas células (varios ciclos de vida para poder consumir el exceso de carbono en forma de CO², por lo que se prolonga el proceso; por el contrario si la relación C/N es baja: hay exceso de nitrógeno que no puede acoplarse a la estructura bacteriana, produciéndose una pérdida de nitrógeno normalmente en forma de amoníaco y se producen malos olores.

- *Aireación*

Para que la descomposición aeróbica se produzca en las debidas condiciones, es necesario que el oxígeno llegue a toda la masa a compostar, de esta forma se elimina parte del calor generado en el proceso y favorece la eliminación de CO² y agua producidos. Los problemas de una aireación excesiva son el enfriamiento excesivo de la masa, dificultando el alcance de la temperatura termofílica (60-70°C), fenómeno que retarda el proceso. Así mismo una aireación deficiente genera descomposición anaerobia, por lo que supone olores desagradables y un proceso prolongado.

- *Temperatura*

Los microorganismos obtienen la energía necesaria para su desarrollo mediante la oxidación del carbono presente en la masa a compostar. Parte de esa energía es utilizada en su metabolismo y el resto se elimina en forma de calor, aumentando la temperatura de la masa. Cada grupo de microorganismos necesitan una temperatura óptima para su desarrollo y a partir de una temperatura decrece su actividad.

- *Humedad*

Los microorganismos requieren cierta cantidad de agua para sus actividades metabólicas. El óptimo es de 60-65% de humedad. El mínimo estaría en 30-40%. El máximo depende del tipo de material a compostar, ya que es necesario que se mantengan los microporos para la circulación suficiente de oxígeno. De esta forma con materiales rígidos (turba, astillas, aserrín etc.), puede compostarse con humedades más altas (70-90%), mientras que los que se apelmacen con mayor facilidad (RSO, ganaderos, vegetales), con humedades más bajas (50-55%).

- *El tamaño de partícula*

Este aspecto es recomendable tenerlo en cuenta ya que partículas muy pequeñas favorecen la compactación, mientras un tamaño adecuado aumenta la superficie de ataque microbiano y por tanto se acelera el proceso; en general se emplean tamaños de partícula de 1 cm con sistemas de aireación correcta y de 5 cm si es más deficiente.

1.2 MICROORGANISMOS EFICACES¹

La tecnología E.M, Microorganismo Eficaces, fue desarrollada por el Doctor Teruo Higa, Ph.D, profesor de Horticultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón, como una opción viable y sostenible para la producción agrícola y animal dentro de los parámetros orgánicos y biológicos, que procuran un manejo razonable de los recursos, para no afectar el medio ambiente (ver anexo 2).

Microorganismos Eficaces, E.M, es un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales, sin manipulación genética, presentes en ecosistemas naturales, fisiológicamente compatibles unos con otros.

¹ Fundación Mokita Okada. 1998. Microorganismos eficaces (EM) y EM-Bokashi en la agricultura natural. Sao Paulo, BR, Centro de Pesquisa, Ipeúna. 23 p.

Los diferentes tipos de microorganismos presentes en el EM, toman sustancias generadas por otros organismos, basando en ellas su funcionamiento y desarrollo; al mismo tiempo las sustancias secretadas por los residuos orgánicos son utilizadas por los microorganismos eficientes para crecer. Durante su desarrollo los Microorganismos Eficientes sintetizan aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas.

Cuando los Microorganismos Eficientes incrementan su población en el sistema suelo - planta, la actividad como comunidad con los microorganismos naturales benéficos es también incrementada y la microflora en general se enriquece, balanceando los ecosistemas, inhibiendo la proliferación de microorganismos patógenos, suprimiendo las condiciones favorables para el ataque de plagas y enfermedades del suelo y de la planta.

1.3 CARACTERÍSTICAS Y SITUACIÓN ACTUAL DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE GUACA SANTANDER.

1.3.1 Localización geográfica.

El Municipio de GUACA se encuentra ubicado en el Departamento de Santander, en la Provincia de García Rovira. Las coordenadas geográficas del Casco Urbano del Municipio se encuentran entre: 06° 52' 44'' latitud norte y 72° 51' 34'' longitud oeste. Es el primer municipio que se encuentra al entrar a la provincia de García Rovira, con una distancia a Bucaramanga de 87 km. El municipio de GUACA tiene una superficie territorial de 30.085,65 hectáreas a una altura promedio de 2.401 m sobre el nivel del mar y está conformado por su Cabecera municipal (área urbana) y 30 veredas (área rural)².

1.3.2 Fuente de generación de residuos sólidos.

En el municipio se generan residuos sólidos derivados de las actividades económicas que en él se realizan y en el diario vivir de la población. El municipio

² www.guaca-santander.gov.co

no genera residuos industriales, por lo tanto los desechos se pueden clasificar como predominantemente de carácter doméstico.

1.3.3 Recursos para el manejo

Actualmente el municipio maneja directamente la disposición final de residuos sólidos, ya que no existe una empresa de servicios públicos. Es así como el municipio cobra a cada usuario el valor de dos mil pesos (\$2.000) mensuales, por el servicio de aseo.

1.3.4 Recolección y transporte

Los residuos sólidos son recolectados en cada vivienda una vez por semana, y enviados al sitio de disposición final, por medio de una volqueta de propiedad del municipio y obreros temporales que el municipio contrata por el día de recolección y un día para el cubrimiento de residuos con el suelo del mismo lugar. Los residuos son recolectados el día lunes y el día martes se hace el recubrimiento.

1.3.5 Disposición de los residuos sólidos

Los residuos son dispuestos en un lote ubicado en la zona rural, vereda Centro, vía al Salado, a 2 Km del casco urbano, posee una extensión de una hectárea en forma cuadrada, cercado con postes de concreto, tiene una entrada vial y recorre hasta la parte alta del lote.

En el sitio de disposición se construyeron 2 zanjas cada una con una longitud de 44m, 2m de ancho y 4 m de profundidad, que permiten alojar un volumen de 360 m³; estas zanjas ya se encuentran totalmente llenas y como cobertura final tienen tierra del mismo lote. Se ha seguido usando el método de zanjas o hueco de menor dimensión que la anterior, con las siguientes características.

- Los residuos se disponen en forma suelta ya que no existe compactación mecánica o manual.

- Se aplica cobertura a los residuos pero aun así permanecen expuestos al agua lluvia y a la presencia de vectores tales como aves de rapiña, roedores, moscas y caninos.
- El municipio ha tomado atenta nota haciendo continuas observaciones, visitas del inspector de saneamiento, secretaria de salud municipal y personería municipal.

Como parte del procedimiento operativo del sitio de disposición final cada semana se deposita la basura y se le aplica una capa de suelo de excavación del lugar de un espesor de 15 cm.

Los residuos dispuestos provienen de 465 viviendas urbanas entre las cuales se encuentran: almacenes, depósitos, talleres de mecánica; además un matadero municipal, dos escuelas urbanas, un colegio de secundaria, oficina sucursal del Banco Agrario, oficinas de la Alcaldía Municipal y 20 oficinas más.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En el presente capítulo se ilustran las metodologías que se emplearon en el proceso de reactivación de la planta de residuos sólidos del municipio de Guaca. Se empezó por el diagnóstico preliminar correspondiente a la parte mecánica, continuando con la descripción de las etapas empleadas para establecer las condiciones de operación de la planta.

2.1 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA EL DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA PLANTA Y MANTENIMIENTO A EQUIPOS

El desarrollo de la metodología que se ejecutó en el diagnóstico preliminar de la planta, pasa por diferentes fases esquematizadas en la figura 1 y que se describen a continuación.

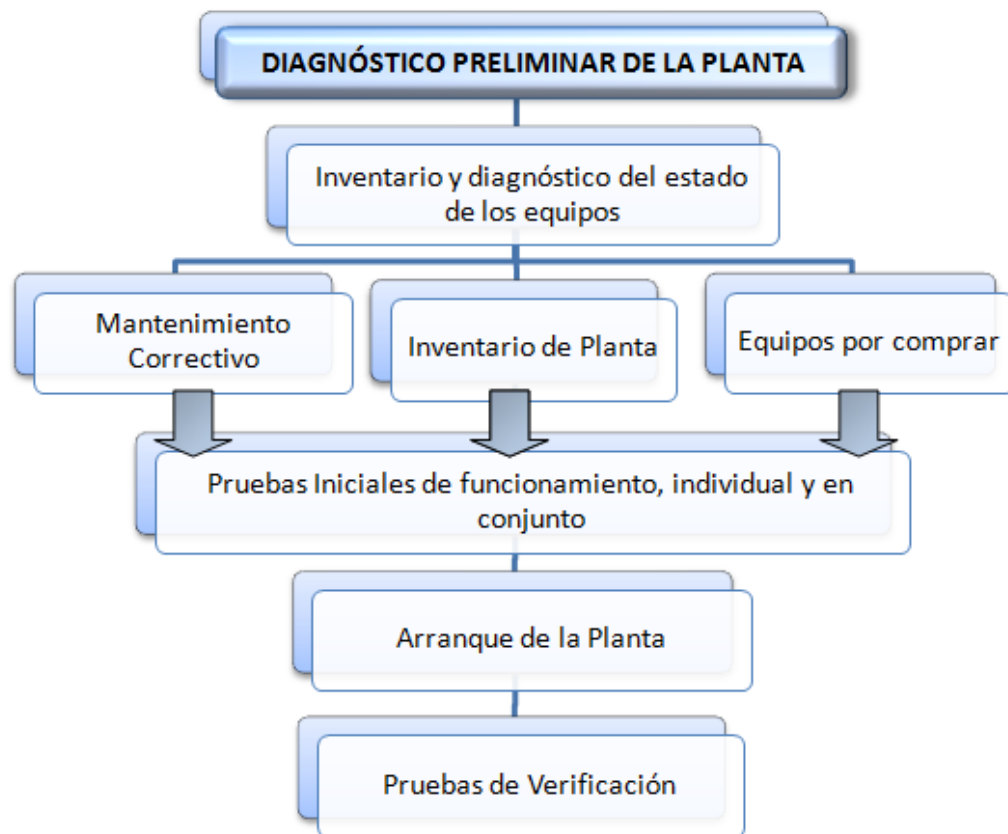


Figura 1. Proceso de desarrollo metodológico en la parte mecánica de la planta.
Fuente: el Autor.

2.1.1 Diagnóstico del estado de los equipos.

Cada equipo se analizó individualmente en cuanto a su estado físico, componentes y funcionamiento. Posteriormente se realizó un inventario técnico de la planta, desarrollando un registro descriptivo permanente de las principales características de los equipos, sobre el cual se basa la planeación, programación, adquisición y control de partes, y la ejecución de otras acciones operativas propias del servicio de mantenimiento³. El análisis de este inventario permitió un diagnóstico general de las condiciones iniciales reales, en las que se encontraba la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos del municipio de Guaca.

2.1.2 Mantenimiento correctivo y compra de equipos.

Empleando el inventario técnico realizado en la etapa previa, se identificaron tanto los equipos que necesitaba un mantenimiento correctivo, como aquellos que era necesario adquirir.

Para la realización del mantenimiento de la planta fue necesaria la separación de cada una de las partes de los equipos, así como el transporte de las mismas hasta Piedecuesta y Bucaramanga, donde se realizaron los respectivos mantenimientos y reparaciones, pertinentes a cada equipo. Los equipos y materiales que en el inventario se reportaron como inexistentes, pero que eran requeridos para el funcionamiento de la planta, fueron adquiridos en el mercado mediante un análisis previo de necesidades operacionales, recursos disponibles y precios de potenciales proveedores. Cada uno de los equipos fue puesto en funcionamiento y probado, antes de ser trasladado a las instalaciones de la planta en Guaca, para garantizar su normal funcionamiento antes de la instalación definitiva.

³ Manual de inventario técnico, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit; oct. De 1998.

2.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL PARA DETERMINAR CONDICIONES DE OPERACIÓN DE LA PLANTA

El desarrollo de la metodología que se empleó para definir las condiciones de operación de la planta pasa por diferentes etapas, esquematizadas en la figura 2 y que se describen a continuación.

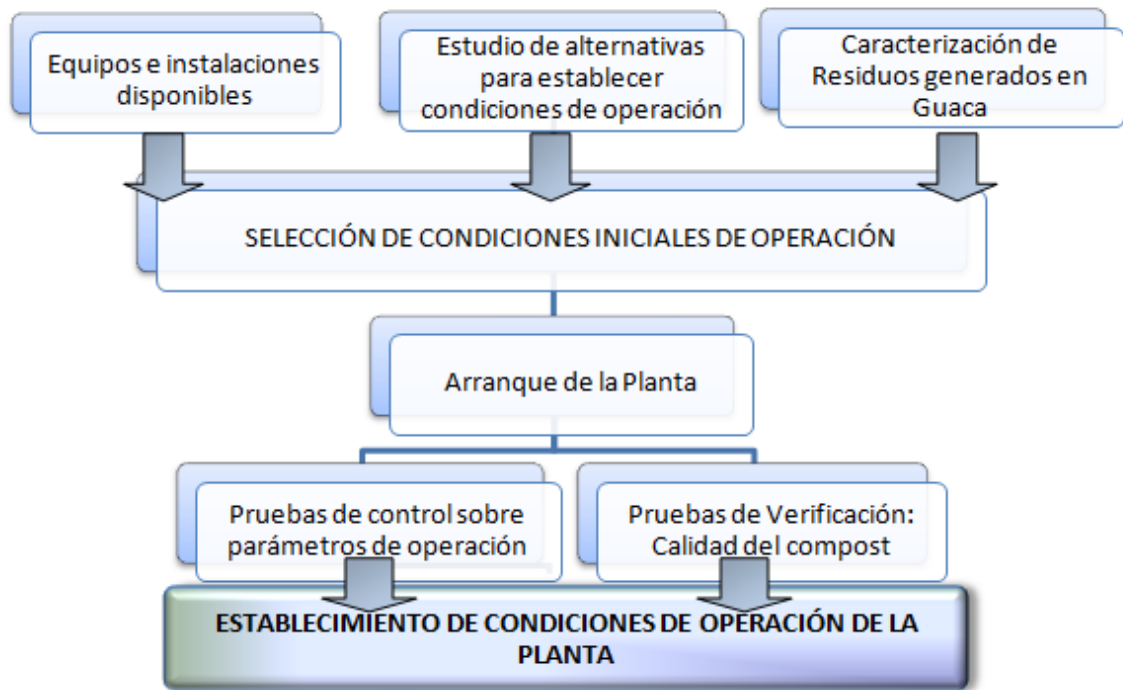


Figura 2. Proceso de desarrollo metodológico para definir las condiciones de operación de la planta. Fuente: el Autor

2.2.1 Caracterización de Residuos Generados en Guaca-Santander.

En la caracterización de residuos, realizada con el apoyo de la Ingeniera Ana Celina Castellanos Velandia, actual alcaldesa de Guaca; se seleccionaron 36 viviendas en forma aleatoria, distribuidas en diferentes barrios, sectores y estratos. A cada vivienda seleccionada se le asignó un número y se le practicó una visita por semana para recoger los residuos generados. El muestreo se realizó durante tres semanas, para de esta forma obtener tres datos por unidad de muestra (vivienda) y lograr una mayor representatividad en los resultados.

A cada familia de las viviendas seleccionadas, se le hizo entrega de bolsas con 3 diferentes colores y un plegable con información sencilla que se muestra en el anexo 3, donde se indica la forma adecuada de depositar los residuos. Como complemento a la entrega de estos materiales se dictó una pequeña charla a las familias para aclarar dudas, así como para inculcar la importancia de separar los residuos en la fuente, como un paso esencial que permite una mejor disposición y aprovechamiento de los mismos, y donde todos salen beneficiados. Unas semanas más tarde esta campaña de reciclaje se hizo extensiva a todos los habitantes del municipio.

2.2.2 Estudio de alternativas para establecer las condiciones de operación.

En esta etapa se hizo una revisión rigurosa de las alternativas existentes reportadas en la literatura, que permitían el establecimiento de condiciones de operación para una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos en un bio-reactor. A continuación, se seleccionó la alternativa más viable teniendo en cuenta: factores económicos, equipos e instalaciones disponibles, así como los resultados de la caracterización de residuos realizada en el municipio.

2.2.3 Arranque de la Planta.

Para el arranque de la planta se diseñó un procedimiento acorde con los parámetros y normas de seguridad vigentes ^[5,6,7,8] denominado protocolo de puesta en marcha y operación. Este documento fue diseñado paso a paso, atendiendo principalmente la seguridad del operador, así como estableciendo actividades claras que garantizan la calidad del proceso.

2.2.4 Pruebas de control sobre parámetros de operación.

El control sobre la temperatura es el parámetro más recomendado para garantizar un compost sin patógenos ^[9], además presenta ventajas al ser fácil de medir y económico. Para la medición de la temperatura se utilizó una Termocupla tipo k (modelo HI8757), junto con una sonda de 1m de longitud.

Se tomó la primera carga de RSO como muestra de control y se le hizo seguimiento hasta la etapa final del proceso de maduración. De esta muestra se tomaron 3 mediciones por día durante un mes.

2.2.5 Prueba de verificación sobre la calidad del compost.

Existen diversos factores para medir la calidad del compost, tales como: medición de relación C/N, pruebas de madurez y nivel de higienización alcanzado, entre otros ^[10]. Por practicidad y economía se seleccionó la medición de patógenos presentes en el compost al final del proceso, como una prueba idónea donde se puede establecer las posibles aplicaciones del compost terminado.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA PLANTA Y MANTENIMIENTO A EQUIPOS

El estado en general de los equipos era deplorable debido al total abandono y falta de mantenimiento, los detalles de cómo se encontraron los equipos en la inspección realizada se presentan en el anexo 1. En general se consideró que la planta en el momento de realizado este inventario técnico detallado, no contaba con elementos mínimos instalados para una prueba de puesta en marcha. Por esta razón no se realizaron pruebas técnicas para cada etapa que conforma la planta. Por lo tanto el diagnóstico es de un 60% de equipos reparables no suficientes para dar un servicio al municipio de Guaca como planta procesadora de residuos sólidos orgánicos, el 40 % restante debe ser reemplazado en su totalidad. Después de realizar la inspección y el correspondiente inventario técnico, se realizó una lista de equipos y materiales adquiridos (Tabla 1).

Área del proceso	Equipo o Material	Cantidad
Trituración	Martillos del molino	36
	Correa para motor 10hp - trituradora	1
Sistema de Transporte	Cangilones	26
	Cadena de potencia	1
	Cadena para motoreductor sistema de transporte	1
Sistema del Bio-reactor	Paredes, fibrocemento	1
	Moto-reductor 4hp, 90 r.p.m	1
	Motor del Ventilador centrifugo 2hp	1
	Microorganismos Eficientes	60 L
	Laminas Inferiores	2
	Laminas perforadas Acero Inoxidable de 2x1 metro, calibre 1,5mm y huecos de 6mm	3
	Cadena Moto-reductor bioreactor	1
	Correa Motor 2hp - ventilador centrifugo	1

Tabla 1. Equipos y materiales nuevos, necesarios para el funcionamiento de la planta.

Fuente: Autor

3.1.1 Mantenimiento correctivo

A continuación se describe el mantenimiento correctivo de los equipos según el área del proceso involucrada.

3.1.1.1 *Mantenimiento de equipos de trituración.*

A. Molino de martillos: las labores de mantenimiento correctivo incluyeron el despiece de la trituradora para remoción de óxido y de residuos; de esta manera se expusieron las partes deterioradas que necesitaban reparación. Los 30 martillos debieron ser reemplazados ya que presentaban desgaste y holgura en los agujeros. Las chumaceras del molino se encontraban en buen estado por eso no se consideró el reemplazo de estas; la carcasa y la tolva de recepción del molino se encontraban deterioradas, por lo que se realizó el proceso de soldadura pertinente. La descarga del molino tuvo que ser reconstruida por completo debido a que su estado, no permitía una reparación adecuada. Después de la remoción de todo el óxido y residuos de materia orgánica, se procedió a la aplicación de dos capas de pintura, una anticorrosiva y otra capa para lograr un acabado agradable. En las siguientes imágenes se puede observar parte del proceso de mantenimiento del molino.



Foto 1. Muestra del proceso de mantenimiento del molino de martillos. Fuente: el Autor.

B. Motor marca marathonic electric de 10 hp: para el mantenimiento de este motor se procedió a trasladarlo a la empresa Vázquez & Rodríguez Ltda. centro de Bobinado J.A.R. donde se realizó inspección de niveles de aislamiento, elevación

de temperatura (bobinas y soportes), desgastes, lubricación de los rodamientos, los soportes, el ventilador, correcto flujo de aire, desgastes de escobas y anillos colectores.

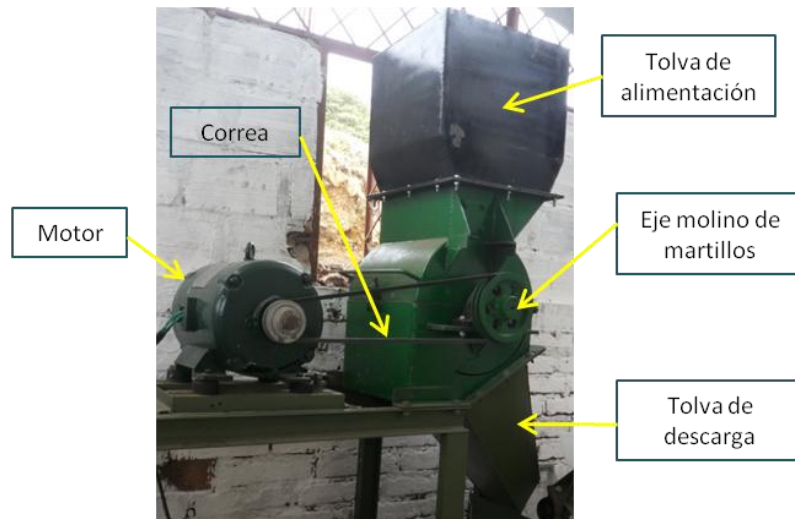


Foto 2. Apariencia final del Molino de martillos 10hp. Fuente: el Autor.

3.1.1.2 **Mantenimiento del sistema de transporte**

Estructura: el mantenimiento de la estructura consistió en la remoción de óxido y limpieza en general. Se soldaron partes las cuales habían sido mal ensambladas desde su instalación en 2002 y se le acondicionaron 3 guías para la cadena de transporte por cangilones (ver foto 3).



Foto 3. Guías para la cadena en la estructura de transporte por cangilones. Fuente: el Autor

Moto – reductor marca siemens 2hp: en el mantenimiento del moto - reductor, se inspeccionaron los niveles de aislamiento, elevación de temperatura (bobinas y soportes), desgastes, lubricación de los rodamientos, los soportes, el ventilador, correcto flujo de aire, desgastes de escobas y anillos colectoras. Por otra parte al reductor de los engranajes, casquillos y rodamientos revisados, no se les encontró ningún problema, así que se limpiaron, lubricaron y por último fueron pintados.

Cangilones: los 26 cangilones fueron reemplazados en su totalidad como se aprecia en la foto 4, estos fueron elaborados en polietileno de alta resistencia que además de ser más livianos, previenen la corrosión.

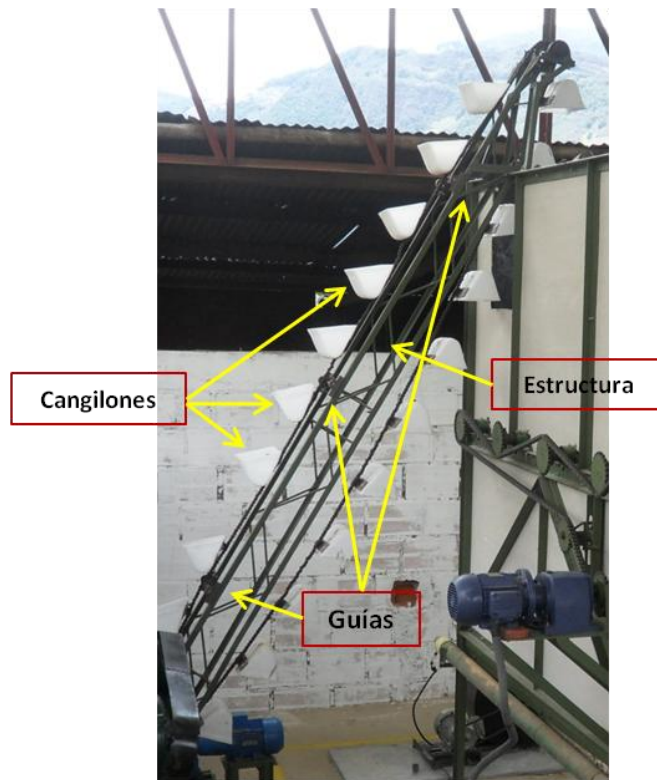


Foto 4. Sistema de transporte instalado. Fuente: el Autor

3.1.1.3 Mantenimiento del sistema del Bio-reactor.

Paletas y bandejas del Bio-reactor: Para el mantenimiento de las paletas de agitación y las bandejas que soportan la biomasa (ver foto 5); inicialmente se removió todo el óxido y residuos de biomasa acumulados por el tiempo de abandono y trabajo al cual estuvieron expuestos, se separaron los apoyos los

cuales por alguna razón desconocida, habían sido fijados a los ejes de las paletas. Una vez terminado el proceso de remoción se recubrieron con una capa anticorrosiva de pintura, y una capa de pintura exterior, las láminas perforadas que recubrían dichos elementos fueron reemplazadas por nuevas. Estas son laminas en acero inoxidable calibre 16 con perforaciones de 6 mm de diámetro igualmente espaciadas para así dar por terminado el proceso de mantenimiento de las paletas y bandejas del bio-reactor.



Foto 5. Paletas y Bandejas del Bio-reactor respectivamente, con capa de pintura anticorrosiva.
Fuente: el Autor

Ventilador de aspiración centrífugo: En el mantenimiento del ventilador de aspiración centrífugo, se revisó que los álabes estuviesen en buen estado, al igual que los cojinetes y soportes del ventilador. Cabe anotar que este ventilador no presentaba ninguna falla sólo hacía falta el motor de 2 hp que había sido hurtado unos años atrás de la planta, por otra parte en su superficie exterior, fue cubierto por una capa anticorrosiva y después por una capa de pintura en dos tonos para darle un aspecto agradable (ver foto 6).

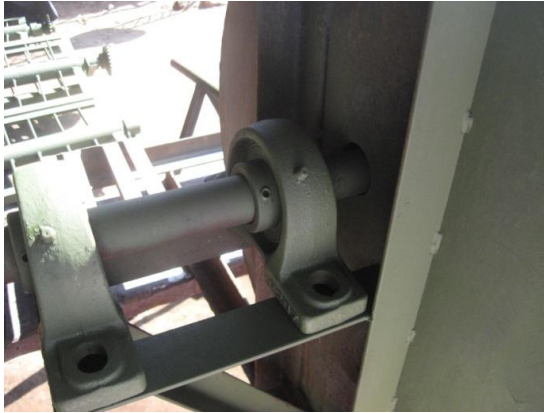


Foto 6. Ventilador de aspiración centrífugo con capa de pintura anticorrosiva.
Fuente: el Autor.

Mantenimiento Bio-Reactor: en el mantenimiento del bio-reactor, se reemplazaron todas sus paredes debido a que estas estaban en muy mal estado. Las paredes son de un material llamado Eterboard, que consiste en una placa plana de Fibrocemento a base de cemento Portland, sílice, fibras naturales y aditivos, el cual admite unos niveles de humedad y temperatura muy por encima de los requerimientos del bio-reactor, es por esta razón que fueron reemplazadas nuevamente por este material. Por otra parte para el mantenimiento de la estructura se retiró todo el óxido acumulado, se soldaron las partes en que fuese necesario realizar reparaciones y se aplicó una capa de pintura anticorrosiva, posteriormente se ensambló por completo y se fijaron las nuevas paredes. Con las paredes instaladas se procedió a aplicarles una capa de un elemento aislante para evitar un rápido deterioro de las mismas en el interior del bio-reactor. El resultado de la instalación se aprecia en la foto 7.

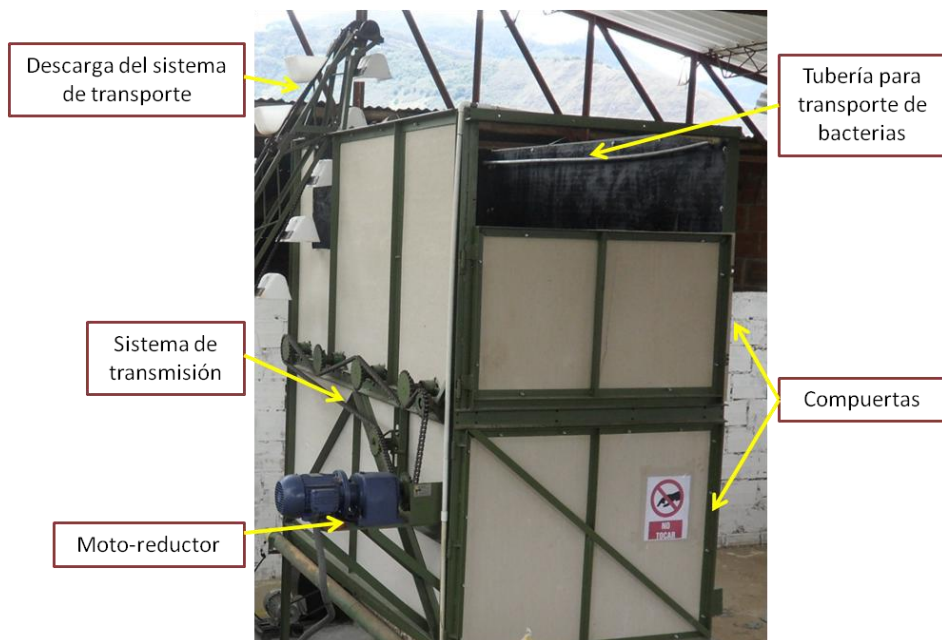


Foto 7. Estructura del Bio-reactor con capa de pintura anticorrosiva y paredes instaladas
Fuente: el Autor.

Se consideró que el presupuesto requerido para la realización del mantenimiento correctivo fue elevado y debido a esto se le hizo un llamado a la alcaldía municipal de Guaca para que tomaran medidas con respecto a la seguridad de la planta (ver foto 8), por lo anterior se sugirió la instalación de unas rejas para la protección de equipos instalados y así evitar el robo de estos (como ya se mencionó en el inventario inicial, varios equipos desaparecieron). También se hizo un llamado para que la o las personas encargadas de esta planta tengan una capacitación mínima en el manejo de los equipos. Al finalizar este proyecto de grado se les realizó la capacitación respectiva para evitar no solo el manejo inadecuado de los equipos sino también un accidente laboral, así mismo se les hizo entrega de un manual de seguridad, un protocolo de puesta en marcha y operación, y un manual de operación y mantenimiento de los equipos.



Foto 8. Recomendación de instalación de rejas para evitar el robo de equipos.
Fuente: el Autor.

3.2 DETERMINACIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN

3.2.1 Caracterización de Residuos Generados en Guaca-Santander.

En las 36 viviendas muestreadas habitaban un total de 174 personas; en la tabla 2 se puede apreciar un resumen de los residuos encontrados por semana, además estos resultados permiten estimar que los residuos orgánicos semanales generados en el municipio de Guaca, por las 465 viviendas, son del orden de 3,3 toneladas semanales, que equivalen aproximadamente al 68 % del total de residuos producidos cada semana.

Concepto	Primera semana	Segunda semana	Tercera semana	Total (Kg) %
Residuos orgánicos (Kg/semana)	260,06	252,05	255	770,59 (68,4%)
Residuos reciclables (Kg/semana)	84,78	82,18	82,38	249,34 (22,1%)
Residuos no recuperables (Kg/semana)	35,36	34,27	37,03	106,66 (9,5%)
Total de residuos (Kg/semana)	380,2	368,5	374,41	1126,60 (100%)

Tabla 2. Resumen de resultados del programa de caracterización de residuos de Guaca Santander. Fuente: Autor.

El análisis anterior permite concluir que de acuerdo a la capacidad del bio-reactor de 8,97 m³ y considerando que la densidad de este tipo de residuos orgánicos se encuentra en un promedio de 350 kg/m³; la planta cuenta con las instalaciones adecuadas para procesar los residuos orgánicos generados en Guaca, y soporta un máximo de 3,5 toneladas de residuos orgánicos semanales, valor que puede variar un poco dependiendo de la densidad de dichos residuos.

En la ejecución de la campaña de reciclaje, la comunidad del municipio de Guaca se mostró dispuesta a colaborar en la separación de los residuos desde su origen, viendo en ello un aporte hacia la cultura del desarrollo sostenible que mejora su entorno y convivencia. Los residuos reciclables se almacenaron en una bodega junto a la planta, los cuales son recogidos mensualmente para su traslado a Bucaramanga y una adecuada reutilización.

3.2.2 Selección de condiciones iniciales de operación.

Para establecer las condiciones iniciales en cuanto a proporciones de residuos, tiempo de residuos en el bio-reactor, adición de microorganismos y aireación, se tomaron referencias heurísticas reportadas en la literatura ^[11,12]. Esta selección se realizó en base al tipo de residuos orgánicos a manejar y los equipos instalados.

De la revisión de la literatura disponible se eligieron las condiciones iniciales de operación listadas en la tabla 3

Parámetro	Condición Inicial de Operación
Proporción de residuos alimentados	2/3 RSO + 1/3 residuos leñosos
Tiempo en el Bior-reactor	1 semana
Aireación	3 m ³ /min
Agitación	2 veces al día
Microorganismos Eficientes EM	5 Litros por tonelada de RSO

Tabla 3. Condiciones iniciales de operación elegidas de las referencias heurísticas disponibles.
Fuente: Autor

3.2.3 Arranque de la Planta.

El procedimiento detallado del arranque de la planta se presenta en el anexo 4, esta operación se realizó sin ningún inconveniente y todos los equipos operaron de forma normal. Para el arranque de la planta se tomaron los primeros RSO provenientes de la campaña de reciclaje, estos residuos registraron un peso de 2,2 toneladas, masa un poco inferior a la proyectada con la caracterización de los residuos. Al ejecutar las pruebas de funcionamiento se encontró que los residuos orgánicos con menor porcentaje de humedad facilitan el proceso de descomposición puesto que es más sencillo su trituración y el tamaño de salida de partícula es el adecuado (entre 2 y 5 cm) evitando también el exceso de lixiviados.

3.2.4 Pruebas de control sobre parámetros de operación.

La figura 3 presenta el promedio de las temperaturas por día, registradas para el tratamiento de los RSO tomados como muestra de control, durante 1 mes.

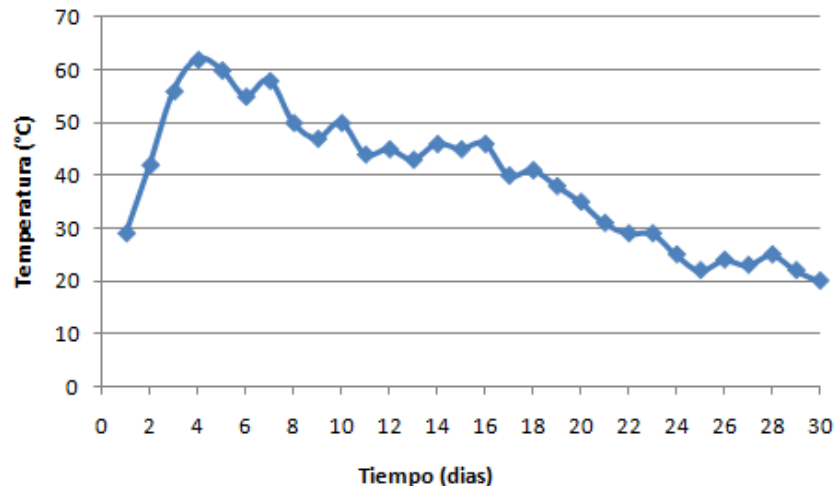


Figura 3. Evolución de la temperatura durante el proceso de compostaje para una muestra de control. *Fuente: el Autor*

El perfil de temperatura que sigue la gráfica 2, presenta la tendencia general de un proceso de compostaje ^[13], además permite apreciar la influencia del bio-reactor en el proceso, pues claramente se observa una disminución casi continua de la

temperatura cuando los residuos son sacados del bio-reactor y puestos en la zona o cubículo de maduración.

La temperatura se mantuvo por encima de los 55°C durante los días 3, 4 y 5, condición que cumple con las especificaciones de higienización o reducción de patógenos sugeridas por la Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos (USEPA) ^[14], razón que es un indicio valioso sobre la calidad del producto final.

3.2.5 Prueba de verificación sobre la calidad del compost.

Los resultados de la prueba realizada a una muestra de compost después de la etapa final de estabilización (2 meses después de iniciado el proceso); reportó ausencia de *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*

Estos resultados permiten confirmar la pertinencia de las condiciones de operación empleadas, pues se logró la higienización del compost, en cuanto a presencia de patógenos se refiere, lo cual permite parcialmente la aplicación del producto a usos como jardinería, obras públicas y paisajismo. En este punto se resalta la necesidad de otras pruebas (test de Rotte-Grade, presencia de metales pesados, entre otros) para verificar y caracterizar completamente el compost producido (pues este punto escapa al alcance de este proyecto), lo cual permitiría una aplicación más específica y su adecuada comercialización.

4. CONCLUSIONES

- La reactivación de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos del municipio de Guaca (Santander), constituye un paso fundamental en la búsqueda de un PGIR, pues su funcionamiento permite el procesamiento adecuado del 68% de los residuos totales producidos en el municipio, disminuye la necesidad de espacio en los rellenos sanitarios, y genera un compost libre de patógenos reutilizable en aproximadamente 2 meses.
- Un estudio de los parámetros iniciales reportados en la literatura, elegidos según los equipos, instalaciones y materiales con los que se contaba, demostraron ser una eficaz herramienta como condiciones iniciales de operación, para la reactivación de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos del municipio de Guaca (Santander).
- La ejecución de un proyecto exitoso en el ámbito ambiental, involucra una interacción integral entre ingeniería, política, economía y relaciones humanas, áreas tan amplias y complejas, que exigen a los actores involucrados en su desarrollo un compromiso real para lograr cambios significativos en nuestro mundo.

5. RECOMENDACIONES

Debe considerarse que el volumen diario de residuos sólidos se incrementará cada año, y en consecuencia también lo hará el tamaño del bio-reactor y por lo tanto se debe establecer un plan de ampliación y mejoramiento del mismo.

Para posteriores mejoras de la planta se recomienda adecuar el fondo del bio-reactor de manera que la bio-masa sea completamente agitada por las bandejas, para así aumentar la eficiencia y disminuir zonas donde se puedan proliferar microorganismos anaeróbicos y con ellos malos olores.

De igual forma se recomienda a la administración de la planta un futuro estudio de parámetros adicionales que permitan una caracterización más detallada del compost (test de Rotte-Grade, presencia de metales pesados, entre otros) lo cual permitiría una aplicación más específica y su adecuada comercialización.

Realizar mantenimiento preventivo para garantizar la seguridad de los trabajadores, conservando todo el equipo, edificios y servicios, minimizando las fallas imprevistas lo que aumenta la productividad y disminuye los costos, en resumen un mantenimiento adecuado contribuye a que se incremente la eficiencia de la planta.

Es importante mencionar que un proyecto de grado de este tipo permite dar continuidad a la relación universidad-industria, así como el manejo de personal y afrontar las decisiones que trae consigo el manejo de un presupuesto para una obra, por estas razones se sugiere a la escuela de Ingeniería Química la implementación de mas trabajos de grado de este tipo, que aporten significativamente a la formación integral de un profesional así como al desarrollo de su comunidad.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. JARAMILLO HENAO, G. y ZAPATA, L.M. Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Especialización en Gestión Ambiental, Universidad de Antioquia. (2008).
- [2]. REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR de Agua Potable y Saneamiento Básico: Sistemas de Aseo Urbano. Título F. Numeral F.1.4.3. Santa Fe de Bogotá. Pp. 17-20. (1998)
- [3]. CORPORACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE. Santiago de Chile. Manual de Compostaje. (1999)
- [4]. GAJALAKSHMI y ABBASI, S.A. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. Vol 38. Pp 311–400. (2008).
- [5]. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 5167 de 2004. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Bogotá, D.C., Junio 15 de 2004, p.6.
- [6]. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Anexo de la resolución 1045. El Ministerio, 2003; s.p
- [7]. _____, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental. Seminario sobre el aprovechamiento y manejo de los residuos sólidos. Manizales. Mayo 5. 2004. p. 3.
- [8]. _____. Resolución 1045 de 2003. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C., Septiembre de 2003, s.p.
- [9]. NRAES (Northeast Regional Agricultural Engineering Service, US). 1992. On-farm composting handbook. New York, US, Bx Ryank R. 186 p

- [10]. EPSTEIN, E. 1997. The science of composting. Pennsylvania, US, Lancaster-Basel. 483 p.
- [11]. KEENER, H. M; EKINCI K. y MICHEL, F.C. Composting Process Optimization Using On/Off Controls. Compost Science & Utilization, (2005), Vol. H, No. 4. Pp 288-299
- [12]. H.A. FARAG. The Effect Of Air Flow Rate And Mixing Period On Composting Of Food Residues. Journal Of Solid Waste Technology And Management. Vol. 36, 2010. Pp 11 – 19
- [13]. DALZELL, H. et al. 1987. Soils management: compost production and use in tropical and subtropical environments. Boletín FAO Soils no. 56:20-28.
- [14]. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2006. Environmental Regulations and Technology : Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. Cincinnati. 186p

BIBLIOGRAFÍA

APNAN (Asia Pacific Natural Agriculture Network, TH). 1999. Kyusei nature farming and the technology of effective microorganism: guidelines for practical use. Bangkok, TH. p. 44.

CASTELLS, X.E. Reciclaje de Residuos Industriales, Residuos sólidos urbanos y fangos depurados. Segunda edición. Diaz Santos, 2009. Pp. 863-883

CORPORACIÓN TECNOLÓGICA DE CHILE. Santiago de Chile. Manual de Compostaje. (1999)

COYNE, Mark. Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. Citado por PUERTA ECHEVERRI, Silvia. Evaluación física, química y microbiológica del proceso del compostaje de residuos sólidos urbanos, con microorganismos nativos y comerciales en el municipio de Venecia (Ant). Medellín: Tesis de Maestría en Biotecnología. 2007. p. 67.

CRUZ, S. 1986. Abonos orgánicos. México, MX. UACH. pp.129.

DALZELL, H. et al. 1987. Soils management: compost production and use in tropical and subtropical environments. Boletín FAO Soils no. 56:20-28.

DANTE, Flores: Guía No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito, Guía No. 2 (Marzo. 2001); p.10.

EPSTEIN, E. 1997. The science of composting. Pennsylvania, US, Lancaster-Basel. pp 483.

FARAG, H.A. The Effect Of Air Flow Rate And Mixing Period On Composting Of Food Residues. Journal Of Solid Waste Technology And Management. Vol. 36, 2010. pp 11 – 19

GAJALAKSHMI y ABBASI, S.A. Solid Waste Management by Composting: State of the Art. Vol 38. pp 311–400. (2008).

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 5167 de 2004. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Bogotá, D.C., Junio 15 de 2004, p. 6.

JARAMILLO HENAO, G. y ZAPATA, L.M. Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia. Especialización en Gestión Ambiental, Universidad de Antioquia. (2008).

KEENER, H.M; EKINCI K. y MICHEL, F.C. Composting Process Optimization Using On/Off Controls. Compost Science & Utilization, (2005), Vol. H, No. 4. pp 288-299

MANUAL PARA EL MANEJO DE LOS RESIDUOS sólidos orgánicos e inorgánicos de la Plaza Minorista José María Villa del Municipio de Medellín. Área Metropolitana, 2000, p. 23.

MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Anexo de la resolución 1045. El Ministerio, 2003; s.p.

_____. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental. Seminario sobre el aprovechamiento y manejo de los residuos sólidos. Manizales. Mayo 5. 2004. p. 3.

_____. Resolución 1045 de 2003. Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones. Bogotá D.C., Septiembre de 2003, s.p.

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO, Decreto 1713 (artículo 8). El ministerio. Santa Fé de Bogotá, Agosto 6 de 2002; pp. 5-6.

NRAES (Northeast Regional Agricultural Engineering Service, US). 1992. On-farm composting handbook. New York, US, Bx Ryank R. 186 p.

OSORIO, A.M. Tesis de Grado propuesta de diseño y evaluación técnica y financiera de una planta de compostaje para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de la central Mayorista de Antioquia. Medellín, 2000; pp.16-18.

PARRA, B. Manejo Integral de los Residuos sólidos con participación comunitaria en el Oriente Antioqueño de Colombia. Cornare. Rionegro (Ant), 1998; p. 6.

PROBLEMA DE LOS DESECHOS en Bogotá podrían generar una emergencia sanitaria. Revista cambio. Mayo 7 2009.

PUERTA, S.M. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. Corporación universitaria Lasallista.

REGLAMENTO TÉCNICO DEL SECTOR de Agua Potable y Saneamiento Básico: Sistemas de Aseo Urbano. Título F. Numeral F.1.4.3. Santa Fe de Bogotá. pp. 17-20. (1998)

RESTREPO, J. Abonos orgánicos fermentados. Experiencias de agricultores en Centro América y Brasil. OIT-CEDECO. Brasil, 1996; pp. 49.

REVISTA IBEROAMERICANA DE EDUCACIÓN. Educación Ambiental y Formación. En: Proyectos y Experiencias: y Experiencias. España, Abril de 2008, p.12

SANDOVAL, L. Programa Horizontal de tecnologías limpias y energías renovables de la Organización de Estados Americanos. En: Curso taller transferencia de tecnologías limpias para Pymes del sector de los residuos sólidos. Concytec. Panamá, Julio de 2006, p. 20.

SHINTANI, M y Tabora, P. 2000. Bokashi: abono orgánico fermentado, tecnología tradicional adaptada para una agricultura sostenible y un manejo de desechos modernos. Universidad EARTH. Guácimo, CR, 25 p.

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 2006. Environmental Regulations and Technology : Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. Cincinnati. 186 p.

ZAFRA, C.A. Metodología de diseño para la recogida de residuos sólidos urbanos mediante factores punta de generación: sistema de caja fija (SCF). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. 2009

ANEXOS

ANEXO 1. LISTADO DE EQUIPOS Y DIAGNÓSTICO

La planta cuenta con 100m² en donde están ubicados los equipos y el área de proceso y almacenamiento del compost.



Foto 9. *Aspecto general de algunos equipos ubicados en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Fuente: el Autor*

La planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos del municipio de Guaca desarrolla procesos que permiten degradar la materia orgánica aceleradamente, estos son:

a) Trituración

El objetivo de este proceso es fragmentar la materia prima y provee las siguientes ventajas:

- ✚ Aumentar la superficie disponible para el ataque de los microorganismos
- ✚ Incrementa la velocidad de las reacciones bioquímicas durante el proceso de degradación

b) Degradación mecánica biológica

Este proceso es fundamental y se lleva a cabo en un recipiente fermentador (Bio reactor) en el cual los sustratos que componen el medio de cultivo se transforman por acción microbiana.

Cuenta con tres etapas:

- ✚ Etapa de agitación (mezcla)
- ✚ Etapa de inyección de aire al cultivo
- ✚ Etapa de inoculación de microorganismos

c) Maduración

En este proceso el producto se termina de estabilizar hasta alcanzar sus características definitivas para su comercialización y venta. Esto se logra en dos etapas:

- ✚ Extracción del compost del bio-reactor: en esta etapa extraemos de las bandejas de recolección el compost y es transportado al área de secado y maduración.
- ✚ Durante la etapa de secado se debe mezclar el compost periódicamente.

Finalmente el proceso tomaría entre 2 y 3 meses para estabilizar el compost.

Dentro del inventario de cada proceso tenemos:

A. Trituración

En este proceso encontramos los siguientes equipos

- ✚ Un motor eléctrico de 10 Hp marca MARATHON ELECTRIC.
- ✚ Una base del motor metálica que se encuentra en regular estado
- ✚ Las correas del motor no existe
- ✚ Una trituradora marca LEPAC con las siguientes características:

Características / modelo	TM 013008
Capacidad (tonelada/hora)	0,5 a 1
Dimensiones del triturado (cm)	0,5 a 2
Numero de martillos	30
Velocidad (rpm)	2500
Potencia (Hp)	10

Tabla 4. Características trituradora LEPAC. Fuente: el Autor



Foto 10. Martillos de la trituradora. Estado inicial. Fuente: el Autor

La trituradora se encuentra en mal estado. Se debe ajustar y reparar.

La trituradora descarga a un elevador de cangilones. El cual consta de 15 cangilones metálicos fijados a una cadena. Todo el sistema de transporte de la trituradora al bio – reactor se encuentra en mal estado. Se recomienda el rediseño del mismo.

- ✚ Un motor eléctrico para el sistema de elevación por cangilones de 1 ½ de hp marca SIMENS

- ✚ Un reductor de velocidad. Se desconoce la marca, relación de velocidad y el estado.



Foto 11. Sistema de transporte. Fuente: el Autor.

B. Bio – reactor

- ✚ Recipiente fermentador
- ✚ Una estructura metálica. Se encuentra en buen estado. Se recomienda remoción de óxido y mantenimiento.
- ✚ Paredes del bio-reactor de material fibrocemento. Se encuentran en mal estado.
- ✚ Cuenta con un canal y lamina de recolección de lixiviados. El cual se encuentra en mal estado. El canal no existe.



Foto 12. Paredes del bio-reactor. Fuente: el Autor.

a. Sistema de agitación o mezcla

El sistema de agitación o mezcla cuenta con:

- ✚ Cinco piñones y una cadena de engranaje. La cadena no existe
- ✚ Un motor el cual no existe
- ✚ Cuatro laminas que realizan la función de mezclar los residuos sólidos. Las láminas se encuentran en mal estado.



Foto13. Sistema de transmisión. Sin cadena y sin motor. Fuente: el Autor.

b. Sistema de inyección de aire

El sistema cuenta con:

- ✚ Un ventilador marca LEPAC. Se debe probar para verificar su estado.
- ✚ Tubería de conducción de PVC
- ✚ Un motor que no existe



Foto 14. Sistema de inyección de aire. Fuente: el Autor.

c. Sistema de inoculación de microorganismos

El sistema cuenta con las siguientes partes:

- ✚ Dos tanques inoculadores de 1m³ de capacidad c/u. marca AJOVER. En buen estado
- ✚ Dos bases metálicas para los tanques en regular estado
- ✚ Una moto bomba de 35 l/seg de capacidad y ½ Hp. Marca WKT-60PZ en mal estado
- ✚ Tubería de inyección de aire de PVC en mal estado
- ✚ Tubería de conducción de los microorganismos
- ✚ Válvulas de paso en mal estado

C. Tratamiento de lixiviados

La planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos cuenta con un tratamiento de lixiviados el cual posee:

- ✚ Un tanque de 1m³ de capacidad. Marca AJOVER. Se encuentra en buen estado
- ✚ Una base metálica para el tanque. Se encuentra en mal estado deteriorada por el oxido.
- ✚ Tubería de transporte en PVC en mal estado
- ✚ Válvulas de paso. No existen
- ✚ Laminas recolectoras de lixiviados. Se encuentran en mal estado, deterioradas por el oxido

D. Parte eléctrica de la planta

Las conexiones se encuentran al aire libre, los elementos electrónicos controladores del bio-reactor, bombas y compresores están deteriorados. Se deben probar y concluir si se pueden usar nuevamente o se deben comprar.



Foto 15. Conexiones eléctricas. Fuente: el Autor.

Los motores eléctricos mencionados en cada uno de los procesos fueron desmontados y trasladados a Bucaramanga para una inspección técnica, diagnóstico y mantenimiento.

En general se consideró que la planta en el momento de realizado este inventario técnico detallado no contaba con elementos mínimos instalados para una prueba de puesta en marcha. Por esta razón no se realizaron pruebas técnicas para cada etapa que conforma la planta. Por otra parte se tomaron estos ensayos para evaluar la puesta en marcha. De igual manera los elementos instalados debían ser trasladados para su mantenimiento correctivo. Por lo tanto el diagnóstico es de un 60% de equipos reparables no suficientes para dar nuevamente un servicio al municipio de Guaca como planta procesadora de residuos sólidos orgánicos. Este 60% no corresponde a los equipos mínimos que debe contener una planta de este tipo.

ANEXO 2.

INFORMACIÓN TÉCNICA SOBRE MICROORGANISMOS EFICACES EM®

Es un cultivo mixto de microorganismos benéficos naturales, sin manipulación genética, presentes en ecosistemas naturales, fisiológicamente compatibles unos con otros.

Composición Microbiológica:

Los Microorganismos Eficaces EM® son una mezcla de bacterias fotosintéticas o fototróficas (*Rhodospseudomonas* sp.), bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* sp.) y levaduras (*Saccharomyces* sp.) en concentraciones superiores a 100.000 unidades formadoras de colonias por mililitro de solución (105 UFC/ml)

Los diferentes tipos de microorganismos presentes en el EM, toman sustancias orgánicas y sustancias generadas por otros organismos, basando en ellas su funcionamiento y desarrollo. Durante su desarrollo los Microorganismos Eficientes sintetizan aminoácidos, ácidos nucleicos, vitaminas, hormonas y otras sustancias bioactivas benéficas para los animales.

Cuando los Microorganismos Eficientes incrementan su población en el medio, la actividad como comunidad con los microorganismos naturales benéficos presentes es también incrementada y la microflora en general se enriquece, balanceando los ecosistemas, inhibiendo la proliferación de microorganismos patógenos, perjudiciales y/o que causan putrefacción, suprimiendo la generación de malos olores y las condiciones favorables para enfermedades de los animales.

Bacterias fototróficas

Bacterias autótrofas que sintetizan sustancias útiles a partir de secreciones de materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos,

sustancias bioactivas y azúcares. Estos metabolitos son absorbidos directamente por ellas, y actúan también como sustrato para incrementar la población de otros microorganismos benéficos. Un ejemplo de estas sustancias que secretan las bacterias fotosintéticas, son las ricas en componentes nitrogenados, que incrementan las poblaciones de VA micorrizas presentes en la rizósfera.

Bacterias ácido lácticas

Estas bacterias producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. El ácido láctico es un fuerte esterilizador, suprime microorganismos patógenos y acelera la descomposición de la materia orgánica, evitando la putrefacción y generación de olores por parte de otros microorganismos. Las Bacterias ácido lácticas constituyen un importante probiótico para los animales de granja.

Levaduras

Estos microorganismos sintetizan sustancias antimicrobiales y útiles para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas.

Las sustancias bioactivas, como hormonas y enzimas, producidas por las levaduras, promueven la división activa de las células y las raíces. Sus secreciones son sustratos útiles para microorganismos eficientes como bacterias ácido lácticas y actinomicetos.

A las levaduras se les atribuyen además ciertas propiedades de control del pH del rumen. También se consideran como una fuente natural de vitaminas y ácidos orgánicos para la población microbiana del rumen.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS GENERALES DE EM

COMPOSICIÓN MICROBIOLÓGICA: Bacterias fototróficas, Bacterias ácido lácticas, Levaduras.

PRESENTACIÓN: Líquido (Envase Plástico de 4, 20, 30, 50 y 60 L).

TOXICIDAD: No es irritante, ni tóxico. No es apto para consumo humano.

RIESGO AL FUEGO: No es inflamable ni es explosivo.

ALMACENAMIENTO: Mantener el producto a temperatura ambiente protegido del sol.

ESTABILIDAD: A temperatura ambiente el producto es viable durante 45 días.

pH: menor o igual a 3.5

Beneficios de la aplicación de EM en el manejo de residuos sólidos orgánicos:

- Promueve la fermentación aeróbica de compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica por oxidación en la que se liberan gases generadores de olores molestos (sulfurosos, amoniacales y mercaptanos). Adicionalmente, evita la proliferación de insectos vectores, como moscas, ya que estas no encuentran un medio adecuado para su desarrollo.
- Incrementa la eficiencia de la materia orgánica como fertilizante, ya que durante el proceso de fermentación se liberan y sintetizan sustancias y compuestos como: aminoácidos, enzimas, vitaminas, sustancias bioactivas, hormonas y minerales solubles, que al ser incorporados al suelo a través del abono orgánico, mejoran sus características físicas, químicas y microbiológicas.

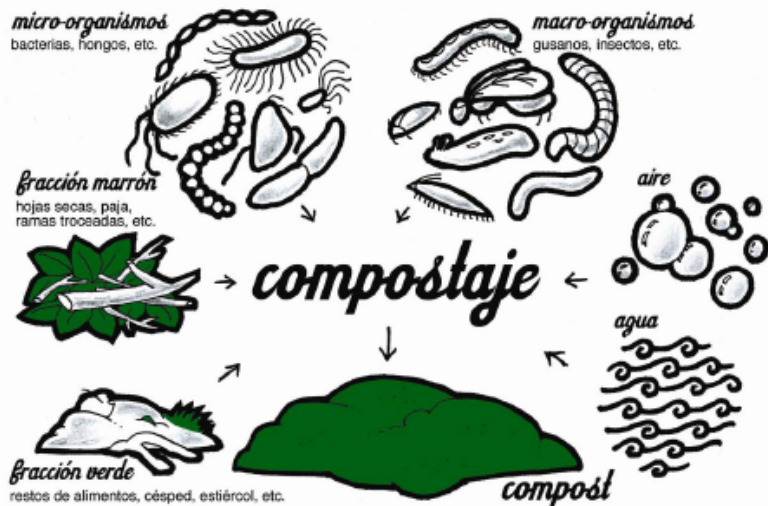
- Acelera el proceso de compostaje a una tercera parte del tiempo de un proceso convencional.
- Eliminación de microorganismos patógenos en el material compostado, por efecto de las altas temperaturas generadas en los núcleos de las pilas, que alcanzan los 70°C, la mayoría de este tipo de microorganismos perecen entre los 40 y 50°C.

ANEXO 3.

PLEGABLE ENTREGADO EN LA CAMPAÑA DE RECICLAJE

BOLSA VERDE (MATERIAL ORGÁNICO COMPOSTABLE)	BOLSA GRIS (MATERIAL RECICLABLE)	BOLSA NEGRA (OTROS RESIDUOS NO RE-UTILIZABLES)
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Restos de fruta y verdura ➤ Cascaras de frutos ➤ Flores, hojas y plantas verdes o secas ➤ Restos de comida, estropeados o vencidos ➤ Cáscaras de huevo ➤ Restos de cereales y derivados (pasta, pan..) ➤ Posos de café e infusiones así como los filtros de papel ➤ Pañuelos y servilletas de cocina (que <u>no</u> contengan impresiones ni colores) ➤ Restos de vino, vinagre, jugos, cerveza o licores ➤ Pasto o césped cortado ➤ Cenizas y aserrín o virutas de madera no tratada (como ramas de plantas) ➤ Tapones de Corcho ➤ Lana e hilo natural ➤ Cortes de cabello (pelo <u>no</u> teñido) y uñas <p>NUNCA ADICIONAR</p> <ul style="list-style-type: none"> • Excrementos de animales • Restos de carne, pescado o productos lácteos • Materiales químicos o metales • Tabaco 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ ENVASES: latas de aluminio, botellas de vidrio, galones limpios, envases de plástico y cartón. Deben aplanarse los envases que lo permitan.  <ul style="list-style-type: none"> ➤ PAPEL Y CARTÓN: hojas de papel bond, papel periódico, cuadernos, revistas, facturas, carpetas, sobres manila y todo tipo de cartón. Deben depositarse plegados o aplastados.  <ul style="list-style-type: none"> ➤ BOLSAS PLÁSTICAS: bolsas de arroz, azúcar, sal, bolsas de tiendas y supermercados.  <p style="text-align: center;">“ESTOS MATERIALES SE DEBEN DEPOSITAR LO MÁS LIMPIOS POSIBLES, ES DECIR SIN RESTOS DE SU CONTENIDO INICIAL”</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Excrementos de animales • Restos de carne, pescado o productos lácteos • Productos que contengan grasas • Pañales y papel higiénico usado • Colillas de cigarrillos • Restos generados al barrer o hacer aseo • Residuos de Productos químicos <p style="text-align: center;">EN ESTA BOLSA SE ADICIONA TODA BASURA O RESIDUO QUE NO CORRESPONDE A NINGUNA DE LAS OTRAS DOS BOLSAS</p> <p style="text-align: center;"><i>“RECICLANDO Y SEPARANDO LOS RESIDUOS, TODOS CUIDAMOS EL MEDIO AMBIENTE”</i></p>

**100 kg basura orgánica
= 25 - 30 kg compost**



En resumen, se ha pasado de restos de fruta, verduras, alimentos, vegetales y otros materiales ricos en materia orgánica a una tierra oscura y estable. Esta es la ecuación del compostaje. Durante el proceso, la pila va perdiendo peso y volumen.

LAS VENTAJAS DEL COMPOSTAJE

Ahorraremos en abonos. Haciendo compost con nuestros residuos no necesitamos comprar abonos ni sustratos, ya los tenemos en casa gratis y de una gran calidad.

Ahorraremos en recogida de basuras. Entre el 40 y el 50% de nuestra bolsa de la basura se estima que está formada por restos orgánicos. Es un gasto absurdo pagar porque se recojan, trasladen y amontonen para que se pudran estos restos y los de las podas y siegas del césped a decenas de kilómetros pudiéndolos transformar en un rico abono en nuestra propia casa con el consiguiente ahorro.

Contribuiremos a reducir la contaminación. Cuanto más cerca de nuestra casa aprovechemos los residuos orgánicos más se reducirá el consumo de combustibles para el transporte, habrá menos acumulación de desechos en vertederos y contribuiremos a una notable reducción de sustancias tóxicas y gases nocivos en los mismos puesto que en los vertederos los residuos orgánicos se pudren (sistema anaerobio), envueltos con todo tipo de materiales inorgánicos. Por supuesto que también evitaremos la contaminación producida al quemarlos.

Mejoraremos la salud de la tierra y de las plantas. El compost obtenido de nuestros desechos orgánicos se pueden emplear para mejorar y fortalecer el suelo del césped, de los arbustos, de los árboles y del huerto, con una calidad de asimilación incomparablemente superior a la de sustancias químicas o sustratos de origen desconocido que compramos, ya que el compost vigoriza la tierra y favorece la actividad de la vida microbiana, evita la erosión y el lixiviado de los nutrientes y en general potencia y favorece toda la actividad biológica de los suelos que es la mejor garantía para prevenir plagas y enfermedades en los vegetales.

ANEXO 4.

PROTOCOLO DE PUESTA EN MARCHA Y OPERACIÓN

PASO*	NOMBRE	TAREA	MEDIDAS DE SEGURIDAD EN LA OPERACIÓN	OBSERVACIONES
1	Verificación del estado del molino de martillos	Abrir la parte superior del molino y revisar que no existan elementos extraños que puedan obstruir la rotación de los martillos. Verificar que en la tolva de salida del molino no existan elementos extraños que puedan obstruir el paso de los cangilones	-Verificar que el molino se encuentre apagado -Emplear EPPs mínimos	
2	Verificación del estado de las cadenas de transmisión de potencia	Revisar que no existan elementos extraños entre los eslabones de las cadenas que puedan impedir su normal funcionamiento. Revisar que la tensión de la cadena sea adecuada y que exista buena lubricación	-Verificar que todos los equipos se encuentren apagado -Emplear EPPs mínimos	
3	Verificación del estado de las correas de transmisión de potencia	Revisar que no existan elementos extraños sobre las correas que puedan impedir su normal funcionamiento. Revisar que la tensión de la correa sea adecuada y que el desgaste no sea excesivo	-Verificar que todos los equipos se encuentren apagado -Emplear EPPs mínimos	
4	Preparación de los microorganismos	En el tanque de microorganismos vacío, adicionar 45 Litros de agua, posteriormente adicionar 5 litros de microorganismos EM; de esta forma se obtienen 50 litros de microorganismos en solución que alcanzarán para tratar el volumen completo del bioreactor (agitación periódica)	-Verificar que la válvula de salida del tanque se encuentre cerrada -Emplear EPPs mínimos	-Emplear un instrumento adecuado para medir el volumen, por ejemplo un balde que tenga marcada la capacidad - Si se cambian los volúmenes a preparar <u>recuerde que por cada litro de Microorganismos EM se adicionan 9 litros de agua</u>
5	Recepción de los residuos sólidos orgánicos	En el día que se reciben los residuos se procede <u>inmediatamente</u> a sacarlos de las bolsas extendiéndolos en el área de recepción cercana a la compuerta donde se alimenta el molino. Las bolsas se almacenan aparte para reciclaje	-Emplear EPPs mínimos	

* La tabla continúa en la siguiente hoja

6	Revisión de los residuos sólidos orgánicos	En los residuos ya extendidos retirar cualquier material que no sea biodegradable como plástico, vidrio, metal o piedra.	-Emplear EPPs mínimos	
7	Encendido del sistema de transporte por cangilones	En el panel de control central encender el sistema de transporte por cangilones verificando que funcione correctamente	- Verificar que el sistema de transporte funcione con las condiciones mínimas de seguridad -Emplear EPPs mínimos	
8	Encendido del molino de martillos	En el panel de control central encender el molino de martillos verificando que funcione correctamente	- Verificar que el molino funcione con las condiciones mínimas de seguridad -Emplear EPPs mínimos	
9	Encendido del ventilador de aspiración centrífugo	En el panel de control central encender el ventilador verificando que funcione correctamente	- Verificar que el ventilador funcione con las condiciones mínimas de seguridad -Emplear EPPs mínimos	El ventilador se deja encendido siempre que hayan residuos dentro del bioreactor
10	Cargar el molino de martillos	En la tolva de entrada al molino palear los residuos sólidos con una frecuencia de 8 a 12 paladas por minuto hasta que todos los residuos sólidos pasen por el molino.	-Verificar que al palear los residuos no se encuentre ningún plástico, vidrio, piedra, metal o cualquier material que pueda obstruir el funcionamiento normal del molino -Emplear EPPs mínimos	
11	Apagado del molino	Al terminar la carga completa de los residuos al molino, apagar el molino en el panel central	-Verificar que el molino quede apagado -Emplear EPPs mínimos	
12 [†]	Apagado del sistema de transporte por cangilones	Revisar que en la tolva de descarga del molino no queden residuos sólidos y apagar el sistema de transporte en el panel central	-Verificar que sistema de transporte quede apagado -Emplear EPPs mínimos	

[†] La tabla continúa en la siguiente hoja

13	Encendido del bioreactor	En el panel de control central encender el bioreactor y dejar encendido durante una hora	-Verificar que el bioreactor funcione con las condiciones mínimas de seguridad -Emplear EPPs mínimos	Tener presente la hora de encendido y la hora a la que se debe apagar el bioreactor registrándolas en el formato de operación del bioreactor
14	Apertura de la válvula del tanque de los microorganismos	Justo después de encender el bioreactor, abrir la válvula del tanque de los microorganismos completamente	-Emplear EPPs mínimos	Si el bioreactor se está trabajando casi lleno y se prepararon los 50 litros que indicaba el <i>paso 4</i> , entonces el tanque de los microorganismos se desocupará completamente.
15	Cierre de la válvula del tanque de los microorganismos	<u>Bioreactor lleno</u> : si el bioreactor se está trabajando casi lleno y se prepararon los 50 litros que indicaba el <i>paso 4</i> , entonces cerrar la llave al desocuparse el tanque de los microorganismos <u>Bioreactor a la mitad de la capacidad</u> : si el bioreactor está ocupado solo hasta la mitad y se prepararon los 50 litros que indicaba el <i>paso 4</i> , entonces la válvula se debe cerrar cuando en el tanque aún queden 25 litros, es decir la mitad de la solución preparada.	-Emplear EPPs mínimos	Tener presente con cuanto volumen está operando el bioreactor para saber cuándo hay que cerrar la válvula del tanque de los microorganismos ya que en el <i>paso 4</i> se prepara solución para el bioreactor lleno.
16	Apagado del bioreactor	Pasada una hora de encendido del bioreactor, en el panel de control apagar el bioreactor	-Verificar que el bioreactor quede apagado -Emplear EPPs mínimos	Las paletas del bioreactor deben quedar detenidas completamente
17	Termina el protocolo de puesta en marcha			

Tabla 5. Protocolo de puesta en marcha y operación.

Fuente: el Autor

Para los siguientes días simplemente se debe:

Para los siguientes días simplemente se debe:

1. Prender el bio-reactor una hora al día (para que las aspas giren y puedan homogenizar)
2. El ventilador siempre se encuentra encendido porque se están procesando residuos dentro del bioreactor
3. A los 10 días de tratamiento de los residuos se preparan mas microorganismos como lo indica el paso 4 y se adicionan siguiendo los pasos del 10 al 13

4. El Bio-reactor se descarga cuando ya se han procesado residuos por al menos una o dos semanas (siempre se trata de dejar los residuos el mayor tiempo posible dentro del bio-reactor) y es necesario tratar nuevos residuos (no se deben mezclar residuos viejos y nuevos).
5. Para descargar el bio-reactor todos los equipos deben estar apagados. Posteriormente se retiran la bandejas del fondo del bio-reactor y el compost cae al suelo, de donde es paleado a la división o cubículo correspondiente para su proceso de maduración
6. Cuando el compost está fuera del bio-reactor en su proceso de maduración debe ser volteado cada uno o dos días
7. A los 20 días de tratamiento de los residuos se preparan mas microorganismos como lo indica el paso 4 y se adicionan siguiendo los pasos del 10 al 13 si aun están en el bio-reactor; si se encuentran en proceso de maduración en la pila se adicionan con un aspersor o rociados sobre la pila, volteándola constantemente para que se alcance mayor homogeneidad.
8. Pasados aproximadamente 60 días de iniciado el proceso para un lote de residuos, se obtiene el compost o abono orgánico