

## **PROPUESTA DE DISEÑO Y ESTIMACIÓN DE LA INVERSIÓN INICIAL, DE UNA PLANTA PROCESADORA DE ABONOS ORGÁNICOS – MINERALES CON EL USO DE VERMICOMPOST**

*DIMAS ROMÁN<sup>1</sup>, RUBÉN ENSALZADO<sup>2</sup>, ROBERTO BURGUEIRA<sup>3</sup>*

<sup>1,2</sup>Universidad Simón Bolívar, Departamento de Procesos y Sistemas. Venezuela.

Email: {droman, rensalzado}@usb.ve

<sup>3</sup>Provenagro. Email: rburguera@cantv.net

Recibido: diciembre 2010

Recibido en forma final revisado: octubre 2012

### **RESUMEN**

El problema que representa la disposición y almacenamiento de los residuos vegetales en las ciudades, aunado a las malas prácticas agrícolas de agregar al suelo biomasa lignocelulósica fresca, la cual es inmovilizada por los microorganismos que la degradan conllevó al uso de la técnica de vermicompostaje y la utilización de roca fosfática como proveedor de fósforo al suelo para la obtención de un abono orgánico-mineral. Para tal efecto, se elaboró la ingeniería conceptual de una planta procesadora de abono orgánico – mineral a partir de vermicompost a la cual se le realizó una estimación de costos clase IV (margen de error permitida del 20 al 25%) para determinar la inversión inicial. La capacidad de la planta contempla la producción de 240 ton/año de abonos orgánico-minerales considerando tres fórmulas principales: inicio, desarrollo y floración-fructificación. Las fórmulas se diferenciarán por el contenido en Sulpomag® de cada uno de los productos, una vez que se haya obtenido el vermicompost enriquecido con fosforita. La ingeniería conceptual realizada establece la separación de la planta en tres secciones principales: preparación del sustrato, reacción, separación y acondicionamiento del producto.

*Palabras clave:* Abono, Biomasa, Residuos vegetales, Vermicompost, TR.

## **DESIGN PROPOSAL AND ESTIMATE OF THE INITIAL INVESTMENT OF A PROCESSING PLANT ORGANIC – MINERAL FERTILIZER WITH THE USE OF VERMICOMPOST**

### **ABSTRACT**

In this paper we consider the problem of the disposal and storage of green waste in cities, coupled with poor agricultural practices of lignocelluloses biomass fresh added to the soil, which is immobilized by microorganisms that degrade it (Villalba, 2005). For this reason, the use of vermicomposting technology and phosphate rock as a supplier of phosphorus to the soil to obtain an organic-mineral fertilizer is suggested. To this aim, a conceptual engineering study along with a class IV estimate (i.e., with 20 to 25% error range permitted) of the initial investment in a processing plant organic – mineral fertilizer from vermicompost, was developed. The plant capacity will be able to produce 240 ton / year of organic-mineral fertilizers, by considering three main actions: initiation, development and flowering-fruitletting. The formulas differ on the Sulpomag ® content in each of the products, once the vermicompost enriched with phosphate rock are obtained. The Conceptual engineering performed provides for the separation of the plant in three main sections: substrate preparation, reaction, separation and the packaging of products.

*Keywords:* Fertilizer, Biomass, Vegetable waste, Vermicompost, TR

### **INTRODUCCIÓN**

La disminución del contenido de materia orgánica, en la mayoría de los suelos destinados a la agricultura, es lo que ha promovido la investigación de técnicas más adecuadas para la preservación de los niveles óptimos de humus mediante una gestión racional de los residuos vegetales

(Civeira, 2010). Ocurre, generalmente, que al quitar en forma repetida los residuos provenientes de las plantas tras las sucesivas cosechas, los ciclos biogeoquímicos de los distintos elementos pueden sufrir graves cambios. Dichos cambios serán los causantes de un estado de deterioro irreversible en el que la productividad del suelo dependerá de una gestión externa de la actividad humana (Villalba,

2005). En la actividad agrícola se observa que una de las formas más expeditas de disponer de los residuos vegetales, es por medio de la quema, la cual ocasiona contaminación del aire y pérdida de materia prima para la formación de humus, aunado, a las malas prácticas agrícolas de agregar al suelo biomasa lignocelulósica fresca que conllevan a la inmovilización biológica del nitrógeno del suelo por los microorganismos que la degradan (Villalba, 2005; Hepper *et al.* 2008). Es por medio del proceso de compostaje que se intenta controlar la transformación microbiana de los desechos orgánicos y lograr la descomposición adecuada del contenido de lignocelulosa, para garantizar que el abono orgánico, no ocasione efectos perjudiciales al medio ambiente (Blanco *et al.* 1992; Gautam *et al.* 2010). La técnica de compostaje de desechos orgánicos, está bastante estudiada y es frecuente preparar materiales frescos para que se lleve a cabo el proceso de descomposición y estabilización de la materia orgánica sin estudios posteriores para comprobarlo (Villalba, 2005). Se ha reportado que el uso de vermicompost induce a un mayor crecimiento de raíces y hojas en naranja criolla cuando se comparan con plantas que fueron abonadas con fertilizantes tradicionales (Oropeza & Russian, 2008). Un problema adicional lo constituye la generación de residuos orgánicos en los centros poblados, que por ser considerados “desechos” no se disponen apropiadamente transformándose en fuentes de contaminación del medio ambiente; sin embargo, la creciente sensibilidad sobre los problemas ambientales, la necesidad de encontrar solución al aumento en la generación de desechos producto del desarrollo de la sociedad y la necesidad de reducir la utilización de materiales no renovables, han propiciado un incremento en el uso de residuos orgánicos como fertilizantes en la agricultura moderna (Ciavatta *et al.* 1990., Lin & Tsai, 2010). Cada día se hace necesario mejorar la sustentabilidad del medio ambiente por medio de una adecuada gestión de los residuos sólidos generados por la población (Román, 2012). De aquí la importancia que representa la creación de plantas industriales que procesen el vermicompost, con la finalidad de elaborar abonos orgánicos.

## METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La siguiente investigación se dividió en dos etapas: Experimental y no experimental descriptiva, con diseño Transeccional y enmarcándose en un proyecto factible de investigación aplicada. La etapa experimental consistió en la elaboración de vermicompost enriquecido con roca fosfática y Sulpomag® (22% S, 18% Mg y 22% K<sub>2</sub>O). Para llevar a cabo esta etapa, se utilizó un cantero bajo sombra de 6 m de largo x 1,50 m de ancho y 0,7 m de profundidad, construido con bloques de concreto al cual

se le agregó una mezcla de 0,775 ton de materia orgánica pre-compostada, producto de la recolección de residuos vegetales provenientes del municipio Baruta (hortalizas, frutos, follajes y material vegetal seco) con un tiempo promedio de madurez de 40 días (Reinecke & Viljoen, 1990) y 0,775 ton de roca fosfática micronizada. Esta mezcla se vertió uniformemente en el cantero. Luego se le agregó 0,198 ton de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) la cual se distribuyó uniformemente en el lecho y posteriormente se le agregó a la mezcla 1,24 ton de agua para obtener una humedad promedio del 80%. Las variables a controlar fueron: humedad y luz. Para mantener la humedad adecuada se vertía un promedio diario de 60 l de agua/día para compensar las pérdidas por evaporación y drenaje. Aún cuando el cantero estaba bajo techo, se requería cubrir la superficie con plástico negro para evitar posibles daños a las lombrices. Al finalizar el ciclo de producción (12 semanas) se le agregó Sulpomag® (22% S, 18% Mg y 22% K<sub>2</sub>O) cuyas cantidades dependen de los requerimientos de Magnesio y Potasio de las plantas y del suelo. La etapa no experimental contempló el estudio de mercado, la elaboración de la ingeniería conceptual y la estimación de la inversión inicial de la planta. Para la investigación de mercado se utilizó la técnica de encuesta y como instrumento de recolección entrevistas estructuradas. Para esta etapa se seleccionó la zona de la Gran Caracas, donde se visitaron al azar 40 negocios de productos agrícolas, cifra que representa un 20% del total de empresas registradas (la información recolectada en campo, dio un total de 196 negocios que comercializan productos agrícolas). La información obtenida permitió estimar la cantidad promedio vendida de abonos orgánicos y calcular la capacidad de planta. Para el cálculo de los costos de construcción de la planta, se utilizó la Guía referencial de costos de construcción del Colegio de Ingenieros de Venezuela (2010). Una vez comprendido el proceso de producción del vermicompost enriquecido con roca fosfática, se realizó un diagrama de flujo del proceso y se identificaron tres secciones de la planta (Preparación del sustrato, reacción, separación y acondicionamiento del producto). Se realizaron los balances de masa respectivos y se hizo el dimensionamiento preliminar de los equipos mayores consultando la bibliografía de Walas (1990) y los autores que se citan a continuación: Secador rotatorio (McCabe, 2007), Molino de bola (Gupta & Yan, 2006), Mezclador (Perry, 1999), Tamiz rotatorio (Stebbing, 1985). La estimación de costos inversión fue de clase IV (margen de error de un 20 a 25%) y se utilizaron la consulta de los siguientes autores: Peters & Timmerhaus (1991), Sapg (2007), Stebbing (1985) y Towler & Sinnott (2008).

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los contenidos promedios de Nitrógeno, Fósforo, Potasio Calcio, Magnesio y Zinc de un abono orgánico con base vegetal y el de Vermicompost se muestran en la Tabla 1.

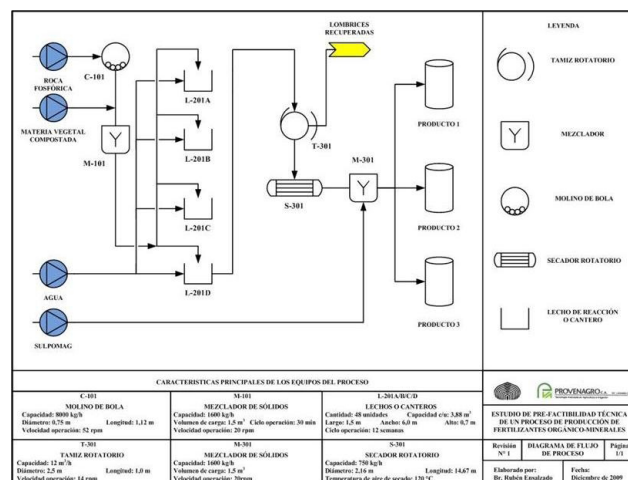
**Tabla 1.** Contenido de nutrientes de abono orgánico y vermicompost

| Nutrientes % | Abono Orgánico | Vermicompost |
|--------------|----------------|--------------|
| Nitrógeno    | 1,0-2,0        | 1,0-2,5      |
| Fósforo      | 0,5-1,0        | 2,0-4,0      |
| Potasio      | 2,0-3,0        | 1,0-2,5      |
| Calcio       | 3,0-5,0        | 1,0-8,0      |
| Magnesio     | 0,5-1,0        | 1,0-2,5      |
| Zinc (ppm)   | 100-200        | 100-200      |

(Fuente: Pimentel, 2005)

El porcentaje de nutrientes aportados por los abonos orgánicos, presentan valores relativamente bajos si se comparan con los fertilizantes químicos utilizados en los sistemas de producción agrícola (Román, 1990), de aquí la importancia que reviste el enriquecimiento de los productos orgánicos con algunas otras fuentes de nutrientes, cuyas cantidades dependen de las requerimientos del suelo y de las plantas; cabe destacar que uno de los beneficios significativos de los abonos orgánicos es la capacidad de mejorar las propiedades físicas de los suelos (Román *et al.* 2007). Cuando se añade roca fosfática al material pre-compostado, no ocasiona ningún efecto nocivo a las lombrices y aumenta el contenido de fósforo disponible en el producto final. Ensayos preliminares con Sulpomag® (22% S, 18% Mg y 22% K<sub>2</sub>O) llevados a cabo en esta investigación, indicaron que se debe incorporar este producto después de obtenido el vermicompost, ya que al añadirse al material pre-compostado pueden ocasionar la muerte de las lombrices. En la investigación de mercado realizada en la Gran Caracas, se utilizó un tamaño muestral de 40 empresas agrícolas de un total de 196 contabilizados, lo cual representó el 20% del total de empresas; sin embargo, de las cuarenta empresas entrevistadas suministraron información 33 lo que representa un tamaño real de la muestra del 17%. Se obtuvo como resultado una venta mensual que oscila entre 2 y 4 ton/mes/empresa. Se tomó un valor conservador de 2 ton/mes/empresa, lo cual dio una cantidad estimada de demanda total de abono orgánico de 4704 ton/año para la zona de la Gran Caracas. Con base en este valor y debido a que existe un mercado de abonos orgánicos y fertilizantes ya establecidos en el área geográfica estudiada, lo cual implica un esfuerzo adicional desde el punto de vista mercadotécnico para introducir

el nuevo producto, se sugirió una capacidad de planta equivalente al 5% de la demanda total estimada, lo que representó en términos absolutos 240 ton/año. En lo que respecta a la ingeniería conceptual, se puede observar en la Figura 1 el diagrama de flujo del proceso (DFP) donde se sugieren tres secciones para la planta: Sección preparación del sustrato, sección de reacción, sección de separación y acondicionamiento de productos.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de proceso (DFP) de la planta de producción de abono orgánico- mineral a partir de vermicompost

En la sección de preparación del sustrato, se hará la mezcla que alimentará a los lechos de reacción para que sea procesada por las lombrices (Eisenia foetida). En caso de que la roca fosfática fuese comprada en granulometrías promedio de 2 cm o más, ésta debe micronizarse (molino de bolas señalada en el DFP como C-101), esto se realiza con la finalidad de obtener un diámetro menor a 0,2 mm y poder así aumentar la superficie específica de la roca y lograr una mayor uniformidad en la mezcla. Una vez que se lleva a cabo esta disminución de tamaño, la roca fosfática es mezclada con la base vegetal compostada previamente y llevada al mezclador M-101. En la Tabla 2 se muestra el balance de masa correspondiente a la sección de preparación del sustrato.

**Tabla 2.** Balance de masa de la sección de preparación de sustrato. Mezclador M-101

| Sustancia                      | Ingreso al equipo<br>[ton/semana] | Salida del equipo<br>[ton/semana] |
|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Base vegetal<br>compostada     | 3,10                              | 3,10                              |
| Agua (humedad<br>promedio 40%) | 1,24                              | 1,24                              |
| Roca fosfórica                 | 3,10                              | 3,10                              |
| TOTAL                          | 7,44                              | 7,44                              |

En la sección de reacción se realiza la bio-conversión del sustrato utilizando las lombrices. Para la producción estimada, se requieren 48 canteros con las dimensiones especificadas en la metodología (L-201), para fines de visualización, el DFP sólo muestra 4 de ellos, que representan los necesarios para la producción semanal. En la Tabla 3 se muestra el balance de masa en la sección de reacción.

**Tabla 3.** Balance de masa de la sección de reacción. Estimado para 4 lechos de reacción L-201 A/B/C/D

| Sustancia                    | Ingreso a los canteros [ton/ciclo] | Salida de los canteros [ton/ciclo] |
|------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Sustrato vegetal enriquecido | 6,20                               | 3,72                               |
| Agua (humedad promedio 80%)  | 4,96                               | 2,98                               |
| Lombrices                    | 0,79                               | 1,10                               |
| TOTAL                        | 11,95                              | 7,80                               |

Una vez preparado el sustrato se coloca en los canteros L-201 A/B/C/D en donde se controlan las condiciones de humedad y luz solar durante 12 semanas de procesamiento con las lombrices. Finalmente, en la sección de separación y acondicionamiento de productos se recuperan las lombrices del material extraído de los lechos de reacción, se disminuye la humedad del fertilizante orgánico hasta el valor definitivo para almacenamiento y se mezcla con la fracción de Sulpomag® indicada para la fórmula que se esté desarrollando. Siguiendo el flujo del DFP, el material de los lechos L-201 A/B/C/D se extrae de forma manual y se recuperan las lombrices con el separador T-301. Posteriormente, las lombrices se reintroducen en el proceso para el procesamiento de un sustrato fresco y el resto del material se canaliza hacia el secador rotatorio S-301 a una temperatura máxima de 70 °C para disminuir su humedad desde un valor de 70%-60% hasta 10%-8% aproximadamente. Una vez alcanzado el valor de humedad especificado para el producto, se mezcla con la fracción indicada de Sulpomag® en el mezclador M-301(Tabla 4).

**Tabla 4.** Balance de masa de la sección de separación y acondicionamiento de productos. Mezclador M-301

| Sustancia                    | Ingreso al equipo [ton/semana] | Salida del equipo [ton/semana] |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Sustrato vegetal enriquecido | 3,72                           | 3,72                           |
| Agua (humedad promedio 10%)  | 0,42                           | 0,42                           |
| Sulpomag®                    | 0,46                           | 0,46                           |
| TOTAL                        | 4,60                           | 4,60                           |

Para los efectos del DFP, los mezcladores M-101 y el M-301 son dos equipos distintos, pero por el hecho de ser un proceso discontinuo y que estas etapas no deben llevarse a cabo simultáneamente, se trata del mismo equipo físico.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La Planta procesadora de vermicompost va permitir aprovechar los Residuos Sólidos Orgánicos Vegetales (RSOV) generalmente considerados desechos y la roca fosfática que se produce en el país, para producir un abono orgánico-mineral de manera industrializada.

Se pueden obtener distintas fórmulas de abono orgánico-mineral dependiendo de los requerimientos de nutrientes de la plantas con solo variar el contenido de Sulpomag®. El procesamiento industrial del vermicompost, va permitir la sustitución parcial del uso de fertilizantes de origen químico en ciertos cultivos como en el caso de los ornamentales.

Las bases de diseño de la Planta contempla la producción de 240 ton/año de abonos orgánico-minerales para abarcar un mercado estimado en 5% del total para la Gran Caracas. La ingeniería básica considerada, indica que requiere de un espacio físico de aproximadamente 2.000 m².

El estimado de costo clase IV del proyecto arrojó un valor de inversión de Bs. 1.839,6. Este estimado contempla la inversión en equipos mayores y construcción de cuatro naves industriales para la instalación de estos equipos y de los lechos de reacción para el procesamiento del humus de lombriz.

Las recomendaciones sugeridas son:

- Realizar un estudio de mercado, que contemple el área agrícola productiva, en cultivos como hortalizas y frutales.
- Se sugiere la inclusión de una línea de empaque de sólidos para los productos terminados y su posterior ubicación hacia los canales de distribución que se consideren pertinente.
- Se deben afinar los dimensionamiento preliminares realizados en este proyecto, tanto de equipos mayores como de obras de civiles, para determinar el monto de inversión correspondiente a un estimado de costos clase I (error del 5%).
- Evaluar la posibilidad de instalar la planta en naves industriales ya existentes, considerando una estrategia de alquiler de espacios.

- Realizar las evaluaciones económicas pertinentes para determinar la factibilidad económica del proyecto. Para ello, es necesario establecer un costo de venta de los productos fertilizantes. Se sugiere la determinación de los criterios de evaluación como: VAN, TIR y Payback dinámico para determinar el tiempo de recuperación de la inversión.

## REFERENCIAS

- BLANCO, M., NEGRO, M., ALMENDROS, G. (1992). Enfoque experimental del control de fototoxicidad y evolución del nitrógeno en el compostaje de la paja. En Libro 1 de conferencias. Congreso y Exposición Internacional de Residuos Sólidos "Iswa 92"; 14 - 19 Madrid.
- CIAVATTA, C., GOVI, M., VITTORI, A., SEQUI, P. (1990). Characterization of humified compounds by extraction and fractionation on solid polyvinylpyrrolidone. *Journal. Chromatogr.* 509:141-146.
- CIVEIRA, G. (2010). Influence of Municipal Solid Waste Compost on Soil Properties and Plant Reestablishment in Peri-Urban Environments. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(3):446-453.
- GAUTAM, S., BUNDELA, P., PANDEY, A., AWASTHI, M., SARSAIYA, S. (2010). Evolution of Composting as a Strategy for Managing Organic Municipal Solid Wastes in Central India. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(10): 5451-5455, 2010, ISSN 1991-8178.
- GUPTA, A. & YAN, D. S. (2006). *Mineral Processing, Design and Operation: An Introduction*. Elsevier, cap. 7 y 11. U.S.A.
- HEPPER, E., URIOSTE, A., BELMONTE, V., BUSCHIAZZO, D. (2008). Temperaturas de quema y propiedades físicas y químicas de suelos de la Región Semiárida Pampeana Central. *Ciencias del suelo* vol.26 no.1 Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- LIN, H. & TSAI, Z. (2010). A Model for the Implementation of a Two-Shift Municipal Solid Waste and Recyclable Material Collection Plan that Offers Greater Convenience to Residents. ISSN:1047-3289 *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 61:55-62 DOI:10.3155/1047-3289.61.1.55
- MCCABE, W., SMITH, J., HARRIOTT, P. (2005). *Operaciones unitarias en ingeniería química*. McGraw-Hill Interamericana, séptima edición, cap.2.
- OROPEZA, J., & RUSSIAN, T. (2008). Efecto del vermicompost, sobre el crecimiento, en vivero de la naranja "criolla" sobre tres patrones. *Agronomía Tropical* 58(3): 289-297.
- PERRY, R. (1999). *Perry's Chemical Engineers Handbook*. McGraw-Hill, séptima edición, cap. 9, 19 y 20.
- PETERS, M. & TIMMERHAUS, K. (1991). *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Fourth edition, McGraw Hill.
- REINECKE, A. & VILJOEN, S. (1990). The influence of feeding patterns on growth and reproduction of vermicomposting earthworm *Eisenia foetida*. *Biology and Fertility of Soils*, 10, 184-187.
- ROMÁN, D. (1990). Fertilizantes de uso común y no común en Venezuela y las nuevas perspectivas a nivel mundial. *Informe Técnico*. Palmaven, Caracas.
- ROMÁN, D., PÉREZ, N., MUZALI, M., CASANOVA, J. (2007). Design of a producing Plant of Biofertilizer from Vinaza of Sugar Cane. Fifth LACCEI International Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Mexico.
- ROMÁN, D. (2012). *Modelo de Gestión para la Revalorización de Residuos Sólidos Orgánicos Vegetales*. Tesis de Maestría en Ingeniería Industrial, Mención Gerencia. UNEXPO.
- SAPAG, N. (2007) *Proyecto de Inversión, Formulación, Evaluación*. Pearson. Mexico.
- STEBBING, S. (1985). *Cost Estimation Handbook for Small Placer Mines*. United States Department of Interior y el Bureau of Mines, pp. 9, 41.
- TOWLER, G. & SINNOT, R. (2008). *Chemical Engineering Design: Principles, Practice, and Economics of Plant and Process Design*. Butterworth-Heinemann, pp. 319-321.
- VILLALBA, L. (2005). Caracterización físico-química y biológica de un compost elaborado con desechos generados en la USB. Trabajo especial de grado por el título de Magister en Ciencias Biológicas. Universidad Simón Bolívar.
- WALAS, S. (1990). *Chemical Process Equipment*. Butterworth -Heinemann, pp. 237-254, 301, 335-350, 663-669