

METODOLOGÍA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE UNA PLANTA DECOMPOSTAJE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS EN EL INIVIT

Sadi Trujillo Machado*

Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). Apartado 6, Santo Domingo CP: 53000, Villa Clara, Cuba.

*Autora para la correspondencia: sadiutr@gmail.com

Recibido: 18 de octubre de 2023; Aceptado: 16 de noviembre de 2023

RESUMEN

Con el fin de mejorar el uso de fertilizantes en cultivos agroindustriales y el avance de tecnologías, este trabajo tiene como objetivo facilitar la comprensión del proceso de compostaje de residuos agrícolas a partir de la cual se realiza una propuesta para el diseño y construcción de la planta de compostaje. En el diseño de la planta de compostaje, se propone el modelo pila para el tratamiento de dos toneladas de residuos orgánicos generados diariamente, y se calculó que el número de pilas necesarias será de cuatro pilas, la longitud de las pilas será de 18 m, el ancho de 3 m y su altura de 1,5 m teniendo en cuenta el tipo de residuo, el tiempo de descomposición será de 49 días. La Planta de Compost diseñada es una herramienta muy útil para el tratamiento de los residuos orgánicos. Esto contribuye a la recuperación de fracción orgánica la cual podrá ser utilizada como abono en la agricultura y se disminuye considerablemente la disposición de residuos en el vertedero, mediante la cual se muestra una metodología para determinar el dimensionamiento de la planta en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales.

Palabras clave: compost, desechos sólidos, planta de compost, reciclaje, residuos orgánicos.

METHODOLOGY FOR THE SIZING OF AN AGRICULTURAL WASTE DECOMPOSTING PLANT AT INIVIT

ABSTRACT

In order to improve the use of fertilizers in agro-industrial crops and the advancement of technologies, this work aims to facilitate the understanding of the composting process of agricultural waste from which a proposal for the design and construction of the composting plant is made. In the design of the composting plant, the pile model is proposed for the treatment of two tons of organic waste generated daily, and it was calculated that the number of piles needed will be four piles, the length of the piles will be 18 m, the width of 3 m and its height of 1.5 m taking into account the type of waste, the decomposition time will be 49 days. The designed Compost Plant is a very useful tool for the treatment of organic waste. This contributes to the recovery of organic fraction which can be used as fertilizer in agriculture and considerably decreases the disposal of waste in the landfill, through which a methodology is shown to determine the sizing of the plant at the Tropical Viandas Research Institute.

Keywords: compost, solid waste, compost plant, recycling, organic waste.

INTRODUCCIÓN

El manejo inadecuado de residuos, desechos sólidos y otros subproductos por parte de las empresas agroalimentarias incide directamente sobre el equilibrio medio ambiental. El manejo adecuado y eficiente de estas materias primas permite generar desarrollo sostenible en la sociedad, reducción de la contaminación ambiental y la formación de economía circular (Aguiar *et al.*, 2022).

El inadecuado manejo de los residuos sólidos agrícolas actualmente, representa uno de los problemas ambientales más graves a nivel mundial, ocasionando insalubridad y desgaste al medio ambiental existente.

Actualmente existen numerosas investigaciones para recuperar y aprovechar residuos agroindustriales según su procedencia. En este sentido, la obtención de energías renovables (Montoya-Pérez y Durán-Herrera, 2017), bioplásticos (Calero Zurita *et al.*, 2021), biocombustibles (Claudio *et al.*, 2021), hongos comestibles (Aguilar, 2020), compost (Cazáres *et al.*, 2016), tratamientos de desechos agroindustriales con microorganismos (Rosero, 2017), estructuras celulósicas (Zuluaga *et al.*, 2019) son un ejemplo sobre cómo transformar esta fuente de posible contaminación en materias primas aprovechables.

Los residuos agrícolas tienen un alto aprovechamiento por lo que genera beneficios para el ambiente y la sociedad, por otra parte, al ser tratados evita la contaminación al medio ambiente. La diversidad de residuos agrícolas puede ser utilizada principalmente como alternativa para la producción de compost (Hernández *et al.*, 2016) y bioenergéticas (Muñoz *et al.*, 2014).

Existen diversas técnicas para mejorar las condiciones físicas y químicas del suelo y su capacidad productiva. Entre estas se encuentran la aplicación del compost obtenido a partir de los residuos orgánicos, y su uso en la agricultura, como un abono que no es agresivo al medio. El compostaje permite la recuperación de residuos orgánicos heterogéneos mediante un bioproceso aeróbico que los convierte en compost (Varnero *et al.*, 2011).

Es importante mencionar un aspecto importante del compostaje de este tipo de residuos, es que, como producto generado de parcelas de cultivo, forma parte importante de las acciones para la sostenibilidad del agro ecosistema, obteniendo un insumo desde dentro de la misma parcela o lugar de producción (Martínez, 2006).

Con la problemática del país por la no implementación de fertilizantes y abonos químicos en la producción en los campos de alimentos calificados para el consumo interno, el Instituto de Investigación de Viandas Tropicales (INIVIT) desde hace varios años desarrollan métodos de compostaje como sustituto de elementos químicos nocivos para la salud y contribuir en las diferentes ramas de la agricultura cubana, teniendo como objetivo fundamental el autoabastecimiento de abonos orgánicos de alta calidad y cumplir con las medidas para la protección del medio ambiente.

Con el objetivo de desarrollar una metodología para el dimensionamiento de una planta de compost para el tratamiento de los residuos agrícolas en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales se realizó el presente trabajo.

Metodología y resultados

Caracterización de los residuos orgánicos en INIVIT

La clasificación de los residuos orgánicos generados por la entidad se desarrolla con el fin de identificar las fuentes, sus características y la cantidad del mismo, permitiendo

plantear alternativas de solución para poder realizar un manejo adecuado y disminuir la contaminación que estos puedan causar al medio ambiente.

Para la identificación de las fuentes de generación se realizó el diagnóstico de la generación de residuos en el campo teniendo en cuenta cada uno de los procesos y sub-procesos que se efectúan en las actividades de investigación y producción.

Una vez identificados los residuos generados por las respectivas fuentes se procedió a realizar una cuantificación de los mismos, aunque, no se cuenta con datos de la generación de residuos orgánicos, se construyó una tabla donde cada categoría incluye los residuos provenientes de todas las fuentes; de esta manera, se obtienen los datos de generación que se muestran (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación y cuantificación de los residuos generados por fuentes de generación.

Residuos	Componentes/Materiales de los residuos	Cantidad (Kg/día)
Cosechas	Bejuco de boniato, residuos de plátano, frijol, malas hiervas, pajas de arroz, tallos de maíz, etc.,	1560
Estiércoles	Excremento de ovejo.	240
Caseros	Cascaras: yuca, plátano, , pepino, boniato, etc.,	10

Fuente: Elaboración propia

Se observa que la mayor cantidad de residuos orgánicos son generados por restos de cosechas, seguido por los estiércoles responsables del desarrollo de los microorganismos siendo todo ello la materia prima que se utiliza para el compostaje realizado en la institución, por lo que se tendrán en cuenta para el diseño y dimensionamientos en la Planta de Compost propuesta.

Gestión de Residuos Sólidos Orgánicos

No es más que el conocimiento de las fuentes de generación, composición y gestión de los residuos sólidos (tipo de recolección), cantidad de residuos dispuestos y condiciones del entorno. Localización de los sitios y factores para su selección.

Existen dos métodos que se emplean en la localización de posibles sitios para un sistema de compostaje: Por el conocimiento del área o por los mapas existentes del área según estudios topográficos y meteorológicos.

Para la localización de sitios se deberán tomar en cuenta los siguientes criterios: uso del suelo y planes de expansión urbana por parte del Instituto de Planificación Física (IPF), mínimo impacto social y ambiental tanto por la construcción, como por el cierre, factores climáticos, topográficos, geológicos e hidrogeológicos, prevención de riesgos sanitarios y ambientales, preservación de la zona y de sus alrededores, preservación de áreas naturales y conservación de recursos naturales renovables y la vulnerabilidad del área a desastres naturales.

Análisis territorial

El análisis territorial contempla: superficie del territorio disponible, descripción climática, precipitación anual, dirección del viento, descripción de suelo, hidrogeología, hidrografía, caracterización biótica (flora y fauna), análisis de vulnerabilidad, población permanente y flotante, infraestructura, vías de comunicación, desarrollo urbano, entre otras.

Diseño y construcción de un Sistema de Compostaje Aeróbico

La primera acción deberá ser el estudio de las áreas donde se pretende localizar la nueva planta. Por tanto, las actividades para la preparación del diseño y construcción del sistema se deben iniciar a partir de la revisión y complementación de los lineamientos y estrategias locales de los documentos elaborados en el Plan de Ordenamiento para el Desarrollo Municipal y el Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos Municipales (RSM) y toda la información proveniente de fuentes que permitan caracterizar el área de estudio y la gestión actual de los RSM.

Operaciones de Proceso de Compostaje

En una planta de compostaje se pueden distinguir las siguientes operaciones:

1. Recepción y almacenamiento: Área superficial de ingreso del material a compostar. Se llevarán a cabo tareas de recepción, identificación, pesaje, separación, clasificación y almacenamiento temporal de los residuos orgánicos. Debe contar con cubierta y suelo firme. El almacenamiento de residuos será temporal (tres días como máximo), evitando así la propagación de malos olores (Garrido, 2015; ARC, 2016).

Ecuación para determinar el volumen de la recepción y almacenamiento: Tiene en cuenta la cantidad de los residuos orgánicos que ingresan a la planta, la densidad de los mismos y el tiempo requerido para el almacenamiento temporal.

$$V_c = \frac{U_{RSU \text{ orgánicos}} * T_c}{\rho_{orgánicos}}$$

Donde:

V_c = volumen de cámara (m^3)

$U_{RSU \text{ orgánicos}}$ = Cantidad de residuos sólidos urbanos (Ton/día)

T_c = tiempo de RSU orgánico en la cámara (días)

$\rho_{orgánicos}$ = Densidad de los residuos orgánico (Ton/ m^3)

Ecuación para el área de recepción y almacenamiento: Se tiene en cuenta para determinar el área de la cámara, el valor obtenido anteriormente, las dimensiones de los vehículos que ingresan los residuos orgánicos y los que se movilizan dentro de la planta.

$$A_c = \frac{V_c}{H_c}$$

Donde:

A_c = área de la cámara (m^2)

V_c = volumen de cámara (m^3)

H_c = altura de la cámara (m)

Ecuación de la longitud que se requiere para la recepción: Se tiene en cuenta que la base de la cámara corresponde al ancho del vehículo de ingreso.

$$L_c = \frac{A_c}{B_c}$$

Donde:

L_c = largo de la cámara (m)

A_c = área de la cámara (m^2)

B_c = base de la cámara (m)

2. Pretratamiento: mezcla u homogenización: A fin de que el compostaje sea factible y se desarrolle correctamente, es necesario que el conjunto de parámetros (porosidad, estructura, proporción de materia orgánica biodegradable, relación C/N, humedad y pH) que afectan al proceso se mantenga dentro de los rangos de valores considerados

ideales por lo que se debe recurrir a la preparación de mezclas con materiales complementarios entre sí y por ende la separación y clasificación para lograr mezclas que se aproximen a los valores ideales (ARC, 2016).

A efectos de definir esta etapa se clasifican en dos tipos de materiales:

Residuos de baja degradabilidad (RBD): que son los residuos orgánicos que individualmente se ven afectados por una actividad de descomposición microbiana muy escasa, (agua, materia orgánica fácilmente degradable, nitrógeno o algún otro elemento esencial, etc.) o bien por presentar una acidez o una basicidad extremas.

Residuos de alta degradabilidad (RAD): que son los susceptibles de ser biodegradados con facilidad como la materia orgánica que ha sufrido algún tipo de tratamiento biológico.

3. Proceso: etapa de descomposición: fase en la que se produce la descomposición biológica de las moléculas más fácilmente degradables con una liberación de energía que conlleva al aumento de la temperatura del material y la evaporación de parte del agua contenida, con una disminución inicial del pH por formación de ácidos orgánicos. Se caracteriza por la reducción del peso y del volumen, la estabilización parcial y la higienización del material, gracias al mantenimiento de un ambiente óptimo para el desarrollo de los microorganismos.

Ecuaciones para el volumen de descomposición: permiten la determinación del volumen, la forma de la pila, el espaciamiento que debe existir entre las pilas y además en este numeral se contempla el área de almacenamiento del producto final.

Ecuación del volumen parcial de la planta: contempla la cantidad de los residuos orgánicos de ingreso, la densidad de los mismos y el tiempo que la materia orgánica permanecerá en el proceso de descomposición.

$$V_{planta} = \frac{U_{RSU \text{ orgánicos}} * T_{des}}{\rho_{orgánicos}}$$

Donde:

V_{planta} = volumen parcial de la planta (m^3)

$U_{RSU \text{ orgánicos}}$ = Cantidad de residuos sólidos urbanos (Ton/día)

T_{des} = Tiempo en que se mantiene el proceso de descomposición (días)

$\rho_{orgánicos}$ = Densidad residuos compostados (Ton/ m^3)

Posteriormente, teniendo en cuenta que el espacio primordial dentro de este proceso son la forma y ubicación de las pilas de compostaje, se debe tener en cuenta su área transversal y para ello se proporcionan las siguientes ecuaciones según su forma geométrica (trapezoidal).

$$A_T = \frac{B_P * b_P}{2} * h_P$$

Donde:

A_T = Área transversal de la pila (m^2)

B_P = Base de la pila (m)

b_P = Base superior de la pila (en caso trapezoidal) (m)

h_P = Altura de la pila (m)

Ecuación del volumen de la pila.

$$V_{pila} = A_T * L_P$$

Donde:

V_{pila} = volumen de la pila (m^3)

A_T = Área transversal de la pila (m^2)

L_P = longitud standar de la pila (m)

Según indica la longitud y el número de pilas puede ser recalculada teniendo en cuenta el volumen de la planta y el área transversal de una pila. Dichos parámetros deben encontrarse dentro del rango de los criterios de la pila estándar.

$$\begin{aligned} \text{Longitud de la pila} \quad L_p \text{ calculado} &= \frac{V_{\text{planta}}}{(A_T * N^{\circ}_{\text{pilas}})} \\ \text{Número de pilas} \quad N^{\circ}_{\text{pilas}} &= \frac{V_{\text{planta}}}{V_{\text{pila}}} \end{aligned}$$

Donde:

$$L_p \text{ calculado} = \text{Longitud calculada (pila)} (m)$$

$$N^{\circ}_{\text{pilas}} = \text{número de pilas}$$

$$V_{\text{planta}} = \text{volumen parcial de la planta (m}^3\text{)}$$

$$V_{\text{pila}} = \text{volumen de la pila (m}^3\text{)}$$

$$A_T = \text{Área transversal de la pila (m}^2\text{)}$$

Ecuación del área total de descomposición: Se calcula primeramente el área inicial de descomposición, y luego se procede a calcular el área requerida para el total de pilas de descomposición de la siguiente manera:

$$A_{\text{cides}} = B_p * L_p$$

Donde:

$$A_{\text{cides}} = \text{área inicial de descomposición (m}^2\text{)}$$

$$B_p = \text{Base de la pila (m)}$$

$$L_p = \text{longitud estándar de la pila (m)}$$

Teniendo el área inicial de descomposición, se procede a calcular el área requerida para el total de pilas de descomposición de la siguiente manera:

$$A_{CT} = A_{\text{cides}} * N^{\circ}_{\text{pilas}}$$

Donde,

$$A_{CT} = \text{área total de descomposición (m}^2\text{)}$$

$$A_{\text{cides}} = \text{área inicial de descomposición (m}^2\text{)}$$

$$N^{\circ}_{\text{pilas}} = \text{número de pilas}$$

4. Proceso: etapa de maduración: Es la parte final del proceso de compostaje y se generan mayoritariamente compost estables, de características similares a las sustancias húmedas del suelo, a partir de los compost producidos en la anterior etapa de descomposición.

La descomposición de materia orgánica, aunque existe, tiene mucha menos importancia, por lo que no hay ni un consumo elevado de oxígeno ni una gran liberación de energía. Por ello, la temperatura de la masa debería ir disminuyendo gradualmente.

Ecuación para área de maduración.

$$AM = \frac{T_{om} * 1.10 * U_{RSU \text{ orgánicos}} * B^2_{\text{planta}}}{(L_p + B_{\text{planta}})} * \frac{V_{RSU}}{V_e}$$

Donde:

$$AM = \text{Área de maduración (m}^2\text{)}$$

$$U_{RSU \text{ orgánicos}} = \text{cantidad de residuo orgánico (Ton/día)}$$

$$T_{om} = \text{Tiempo de maduración (semanas)}$$

$$L_p = \text{longitud standar delapila (m)}$$

$$B_{\text{planta}} = \text{base de la planta (m)}$$

$$\frac{V_{RSU}}{V_e} = \text{Fracción del volumen de residuos tratados tras la descomposición}$$

$$1.10 = \text{factor de seguridad}$$

5. Proceso: postratamiento: En esta etapa hay conjuntos de operaciones opcionales que necesariamente, deben llevarse a cabo una vez finalizada la etapa de maduración, para aprovechar la mezcla compostada, separar los impropios que el compost genera por no haberse eliminado anteriormente, mejorar las características físicas del estructurante recuperado y obtener unos productos para el aprovechamiento interno con unas características químicas o físicas determinadas.

Ecuación para área de post- tratamiento

$$A_{post} = \left(\frac{V_{pila} * \frac{1}{3}}{H_{criba}} \right) + A_{criba} + A_{ensec}$$

Donde:

A_{post} = área de pos tratamiento (m^2)

V_{pila} = volumen de la pila (m^3)

$\frac{1}{3}$ = material orgánico reducido

H_{criba} = Altura de la criba (m)

A_{criba} = Área de la criba (m^2)

A_{ensec} = Área en secadora (m^2)

6. Almacenamiento de compost: En esta etapa el compost entra al período comprendido como el final de la etapa productivas y su salida del proceso por lo que se necesita un tiempo de almacenamiento para poder establecer la estacionalidad en la demanda, las emergencias logísticas, la trazabilidad de los productos producidos y el control o la reducción de la incidencia del polvo y su dispersión.

Ecuación del área total de espaciamento: Entre cada pila debe existir una separación, para que se desplacen los equipos o maquinaria encargada del volteo, dicho espacio se denomina espaciamento (Sh) y debe ser calculado como un área superficial:

$$A_E = S_h * N^{\circ}_{pilas} * Lp$$

Donde:

A_E = área total de espaciamento (m^2)

Sh = Separación en trehileras (m)

N°_{pilas} = número de pilas

Lp = longitud standar de la pila (m)

Ecuación total de la planta de compostaje:

Finalmente, para el cálculo del área superficial de almacenamiento se requiere de la identificación del volumen diario de residuos que ingresaron a la planta respecto a la densidad del material luego del proceso de descomposición presentado.

$$V_{TPC} = \frac{U_{RSU \text{ orgánicos}}}{\rho_{RSU \text{ orgánicos}}}$$

Donde:

V_{TPC} = volumen total de la planta de compostaje (m^3 /día)

$U_{RSU \text{ orgánicos}}$ = Cantidad de residuos sólidos urbanos (Ton/día)

$\rho_{RSU \text{ orgánicos}}$ = Densidad residuos compostados (Ton/ m^3)

Ecuación para el área total del almacenamiento: se debe tener en cuenta una base de la planta y los días que serán almacenados los productos compostados.

$$A_{TA} = \frac{V_{TPC}}{A_{CT}} * B_{planta} * T_{al}$$

Donde

A_{TA} = área total de almacenamiento (m^2)

V_{TPC} = volumen total de la planta de compostaje (m^3 /día)

A_{CT} = área total de descomposición (m^2)

B_{planta} = Base de la planta (m)

T_{al} = Tiempo de almacenamiento (semanas)

7. Área de oficina y servicios: En esta área superficial es necesaria una infraestructura en la cual se puedan realizar funciones administrativas, además se requiere una dotación de vestidores para el personal encargado de las diferentes áreas de la planta. Estas edificaciones deben contar con servicios de electricidad, línea telefónica, aseo y agua potable. Dependiendo del clima del lugar, se hace necesario contar con aire acondicionado, junto a la adecuación de espacio de visitas, sala de reuniones y baños.

Ecuación para área de oficina y servicios.

$$A_{OS} = 3 * A_{TA}$$

Donde:

A_{OS} = área de oficinas y servicios (m^2)

A_{TA} = área de almacenamiento (m^2)

8. Manejo de lixiviados: Los residuos orgánicos son los mayores generadores de lixiviados y por lo tanto estos deben ser tratados dentro de la planta de compostaje, el manejo de estos líquidos requiere de elementos adicionales entre los cuales se contempla la recolección de los lixiviados, almacenamiento y disposición final (reutilizar, recirculación o tratamiento).
9. Área de recepción de lixiviados: Los lixiviados deben ser recogidos y almacenados, ya que pueden: ser recirculados únicamente en la etapa de descomposición, o ser transportados a instalaciones externas para su tratamiento. El drenaje de los lixiviados debe garantizar una pendiente mínima de 2%. A continuación, se contempla el cálculo del volumen de lixiviados generado por los residuos que ingresaron a la planta y las dimensiones del tanque de almacenamiento.

Ecuación para área de recepción de lixiviados.

$$V_{id} = \left(\frac{U_{RSU \text{ orgánicos}}}{7} \right) * 0.05 * 1.5 * T_{al \ id}$$

Donde:

V_{id} = Volumen de lixiviados procedente de las etapas de descomposición y maduración (m^3)

$U_{RSU \text{ orgánicos}}$ = Cantidad de residuos sólidos urbanos (Ton/día)

$T_{al \ id}$ = Tiempo de almacenamiento para lixiviados (semanas)

$$T_{al \ id} = T_{desc} + T_{om}$$

T_{desc} = Tiempo de descomposición (semanas)

T_{om} = Tiempo de maduración (semanas)

% lixiviado = Cantidad de lixiviado generado por Tonelada es de 5% (no porcentual)

1.5 = Factor de seguridad

Cálculo del tanque de almacenamiento de lixiviados.

Conociendo el valor anterior (V_{id}), se procede a seleccionar un tanque de almacenamiento con dimensiones comerciales conocidas, lo que permite determinar a continuación el área del tanque.

$$A_{tanqL} = L_{tanq} * An_{tanq}$$

Donde:

A_{tanqL} = Área del tanque comercial para lixiviados (m^2)

L_{tanq} = Longitud del tanque comercial (m)

An_{tanq} = Ancho del tanque comercial (m)

Ecuación del área total: Área total requerida para el funcionamiento adecuado de la planta de compostaje, es el total de la sumatoria de las áreas superficiales de: la cámara de recepción (A_C), área total de descomposición (A_{CT}), área de espaciamiento (A_E), área total de almacenamiento (A_{TA}), área de maduración (AM), área de post tratamiento (A_{post}), área de oficina y servicios (A_{OS}), área de almacenamiento de lixiviados (A_{tanqL}).

Ecuación para el área total propuesta

$$A_{TPC} = A_C + A_{CT} + AM + A_{post} + A_E + A_{TA} + A_{OS} + A_{tanqL}$$

Donde:

A_{TPC} = Área total de la planta de compostaje (m^2)

A_C = Área cámara de recepción (m^2)

A_{CT} = Área total de descomposición (m^2)

A_{TA} = Área total de almacenamiento (m^2)

AM = Área de maduración (m^2)

A_{post} = Área de postratamiento (m^2)

A_E = Área de espaciamiento (m^2)

A_{OS} = Área de oficinas y servicios (m^2)

A_{tanqL} = Área del tanque comercial para lixiviados (m^2)

Desarrollo de las secuencias de cálculo del método escogido

En el presente trabajo se presenta el diseño de la planta de compost propuesta en la institución, utilizando las secuencias de cálculo correspondientes.

Los datos utilizados para el diseño de la planta, serán los residuos orgánicos generados y que serán tratados en la planta, también se tendrán en cuenta, las operaciones mínimas dentro de la planta, los parámetros de control en el material de descomposición, los tiempos de operación para cada proceso, la descripción de las unidades de descomposición y maduración, el manejo de lixiviados y el tipo de aireación.

Cálculo de áreas superficiales de la Planta de Compostaje

1. Recepción y almacenamiento.

$$V_C = \frac{2 \text{ Ton/días} * 3 \text{ días}}{\frac{0.4 \text{ Ton}}{m^3}} = 15 m^3 \quad A_C = \frac{7.5 m^3}{2 m} = 7.5 m^2$$

$$L_C = \frac{7.5 m^3}{3 m} = 2.5 m$$

En esta etapa se calcula el área en la cámara de recepción mediante su volumen y para conocer la longitud que se requiere para la misma.

2. Pretratamiento: mezcla u homogenización

Se clasifican los materiales:

- Residuos de baja degradabilidad (RBD)
- Residuos de alta degradabilidad (RAD)

3. Proceso: etapa de descomposición.

$T_{des} \rightarrow 7 \text{ semanas} = 49 \text{ días}$

$$V_{planta} = \frac{2 \text{ Ton/días} * 49 \text{ días}}{\frac{0.6 \text{ Ton}}{m^3}} = 163.3 m^3$$

$$A_T = \frac{3m * 1m}{2} * 1.5m = 2.25m^2 \forall_{pila} = 2.25m^2 * 20m = 45m^3$$

$$N^{\circ}_{pilas} = \frac{163.3m^3}{45m^3} = 3.63 \approx 4L_{p\text{ calculado}} = \frac{163.3m^3}{(2.25m^2 * 4)} = 18.14m$$

Mediante el cálculo del volumen de descomposición se halla el área transversal de la pila y luego su volumen, para determinar el número y la longitud de las pilas. Se procede al cálculo del área inicial de descomposición y con ella el área requerida para el total de pilas de descomposición:

$$A_{cides} = 3m * 20m = 60m^2 A_{CT} = 60m^2 * 4 = 240m^2$$

4. Proceso: etapa de maduración.

$$T_{om} \rightarrow 2semanas = 14días$$

$$\frac{\forall_{RSU}}{\forall_e} = 0.33 \text{ dato experimental evaluado por expertos.}$$

$$AM = \frac{14días * 1.10 * 2Ton/días * (20m)^2}{(20m + 20m)} * 0.33 = 101.64m^2$$

Al igual que en el área de descomposición, esta área contiene espacios entre las pilas, pero se les considera del mismo tamaño que la anterior en donde se tiene en cuenta la cantidad de residuos sólidos urbanos orgánicos, la operación de reagrupación de material y la duración del proceso.

5. Proceso: postratamiento.

$$A_{post} = \left(\frac{45m^3 * \frac{1}{3}}{2m} \right) + 21m^2 + 1m^2 = 29.5m^2$$

La ecuación es para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, mediante compostaje, la cual se le adiciona el área requerida por una ensacadora que se utilizará para el envasado del compost en lonas debidamente rotuladas.

6. Almacenamiento de compost.

$$A_E = 3m * 4 * 20m = 240m^2 \forall_{TPC} = \frac{2Ton/días}{\frac{0.6Ton}{m^3}} = 3.33m^3/días$$

$$A_{TA} = \frac{3.33m^3/días}{240m^2} * 20m * 7días = 1.94m^2 \approx 2m^2$$

Es imprescindible conocer el área total de espaciamiento disponible para almacenar sin embargo mediante la ecuación total de la planta de compost se puede determinar el área total de almacenamiento.

7. Área de oficina y servicios.

$$A_{OS} = 3 * 2m^2 = 6m^2$$

8. Área de manejo y recepción de lixiviados.

$$\forall_{id} = \left(\frac{2Ton/días}{7} \right) * 0.05 * 1.5 * (63días) = 1.35m^3$$

Como el área de recepción de lixiviado posee $1.35m^3 \approx 1350L$ se puede depositar en tres tanques de 500L (Tanque Cilíndrico Vertical de 55 galones) de plástico comúnmente utilizados en industrias con 0.94m de largo y 0.56m de ancho, por tanto:

$$A_{tanqL} = (0.95m * 0.56m) * 3 = 1.596m^2$$

Ecuación del área total de la Planta de Compost

$$A_{TPC} = A_c + A_{CT} + AM + A_{post} + A_E + A_{TA} + A_{OS} + A_{tanq}$$

$$A_{TPC} = 7.5m^2 + 240m^2 + 101.64m^2 + 29.5m^2 + 240m^2 + 2m^2 + 6m^2 + 1.596m^2$$

$$A_{TPC} = 628.24m^2$$

Las dimensiones de las etapas y herramientas anteriormente presentadas, permiten un mejor plano de una planta en óptimo proceso, teniendo la planta de Compost un área de alrededor de 628,24 m².

Equipamiento necesario

Estos equipos fueron seleccionados a través del sitio web [Índice de costos de equipos de proceso \(matche.com\)](http://matche.com).

1. Selección de la Grúa
 2. Grúa transportadora.
 3. Trómel.
 4. Separador magnético.
 5. Cinta transportadora.
 6. Tambor rotario para la fermentación.
- Pala Volteadora.

Descripciones finales

Las dimensiones de los equipos y herramientas, permiten la ubicación y la dimensión de las áreas, vías de acceso, entre otros elementos que permitirán un óptimo proceso. Es de resaltar que el ingreso a la planta contará con vehículo que permita llevar un control de la cantidad de materia prima de entrada (carros con tracción animal), los cuales diligenciarán un registro de ingreso indicando procedencia del material, características y responsables; posteriormente, el carro que ingreso tendrá la posibilidad de descargar en la cámara de recepción ubicada muy cerca a la báscula a fin de evitar un gran desplazamiento por dicho vehículo.

La cámara debe estar dotada con un equipo de trituración a fin de reducir el tamaño del material, el cual será recogido tiempo después por una máquina de recolección más pequeña (mini cargador), vehículo que se encarga de trasladar el material desde la cámara hasta el lugar de conformación de las pilas de compostaje iniciales (área de descomposición) según orden designado.

La conformación de las pilas contara con una máquina volteadora aireadora, la cual no solo airea, sino que mezcla el material y lo humedece, ya que el brazo de mezcla cuenta con un sistema de riego por aspersión incidiendo directamente sobre el material orgánico y evitando desperdicios de agua durante el proceso de construcción de las pilas. Los espacios entre pilas contemplan las dimensiones de los vehículos que se movilizaran por esta área.

Seguido del área de descomposición y cuando el material orgánico logre una maduración adecuada pasará al área de maduración y su traslado sería nuevamente con el mini cargador y serán los operarios quienes adecuen las pilas, la zona también debe contar con sistema de recolección y conducción de lixiviados hacia el tanque de almacenamiento. Si el material compostado alcanzó las características adecuadas de estabilización, su traslado será ahora hacia el área de pos-tratamiento, donde se contará con un equipo de cribado y embalaje a fin de mejorar el diámetro del producto final.

Finalmente, al momento de contar con un producto terminado se dispondrán en el área de almacenamiento contemplado para tres meses. Las oficinas se tendrán muy cerca al área de almacenamiento, de tal forma que se pueda controlar no solo el material que ingreso sino también el próximo material que saldrá de la planta; esta área contara con

ventanas para visualizar la operatividad del lugar, un baño y los elementos propios del lugar.

Es importante resaltar que el total de la planta contara con cobertura (Techo), a fin de reducir el impacto de las precipitaciones de la zona, las cuales podrían incidir negativamente en los tiempos de descomposición y maduración de compost, aumentando la generación de lixiviados y fomentando la presencia de malos olores (Ávila y Moyano, 2019).

CONCLUSIONES

1. El diseño de la planta permitirá completar el estudio del Sistema de Gestión de los residuos sólidos urbanos.
2. Para tratar dos toneladas de residuos orgánicos que se generan diariamente, se necesitan cuatro Pilas de una longitud 18m, 3 m de ancho y 1,5 m de altura, teniendo en cuenta el tipo de residuo a tratar, el tiempo de descomposición será de 49 días.
3. Los residuos sólidos orgánicos utilizados como materia prima para la elaboración de compostaje rústico dan una opción viable para la construcción de una planta piloto (con Pilas estáticas con aireación pasiva), siendo éste un método para obtener un abono rico en proteínas y nutrientes para los cultivos de la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de residuos sólidos de Cataluña. ARC. 2016. Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje (Vol. 1). (Agencia de residuos sólidos de Cataluña. ARC, Ed.) Barcelona, Cataluña: Agencia de residuos sólidos de Cataluña-ARC.
- AGUIAR NOVILLO, S. ENRÍQUEZ ESTRELLA, M. y UVIDIA CABADIANA, H. 2022. Residuos agroindustriales: su impacto, manejo y aprovechamiento. AXIOMA. Revista Científica de Investigación, Docencia y Proyección Social 27: 5-11 DOI: <https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>.
- AGUILAR, J. 2020. Aprovechamiento de residuos de Chocho como sustrato para la obtención de hongos comestibles *Pleurotus ostreatus*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias.
- ÁVILA, W.A y MOYANO, J.P. 2019. Propuesta Metodológica para el Dimensionamiento de Plantas de Compostaje en Municipios con Generación de Residuos Orgánicos Aprovechables a Partir de 100 ton/día. Tesis. Ing. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá D.C: <http://repository.udistrital.edu.com>.
- CALERO ZURITA, M., DE SANTIS ARAUZ, D., RIVAS SIERRA, D. y BERNAL GUTIÉRREZ, A. 2021. Estado del arte de bioplástico proveniente de los residuos agroindustriales del plátano (musa paradisiaca), para la producción de envases biodegradables. *Revista Ingeniería e Innovación*, 9(1), 10. <https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rrii/article/view/2416>.
- CAZARES, A., REAL, N., DELGADO, M., BAUTISTA, L. y VELASCO, J. 2016. Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad*, 9(8), 10-17.
- CLAUDIO, R., AGUILAR, G., ROBERTO, M., y HERMENEGILDO, E. 2021. Biocombustibles mediante residuos agroindustriales: por un mejor cuidado del medio ambiente del planeta. *Ciencia Latina Revista Multidisciplinar*, 5, 1-26. Disponible en: https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1410 p 14443.

- GARRIDO IBÁÑEZ, A. M. 2015. Ingeniería básica de una planta de compostaje en túneles. En A. M. Garrido Ibáñez, Ingeniería básica de una planta de compostaje en túneles (pág. 121). Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- HERNÁNDEZ, A., REAL, N., DELGADO, M., BAUTISTA, L. y VELASCO, J. 2016. Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad*, 9(8):10-17.
- MARTÍNEZ, P., ROSA, E., RODRÍGUEZ, I., LEIVA, J. y PÉREZ, M. 2016. Minimización del impacto ambiental de las aguas oleosas mediante columna rellena con bagazo de caña de azúcar. *Centro Azúcar*, 43(1):61-6.
- MONTOYA-PÉREZ, L., y DURÁN-HERRERA, J. E. 2017. Producción de hidrógeno a partir de la fermentación de residuos agroindustriales de la piña. *Revista Tecnología en Marcha*, 30(3), 106. <https://doi.org/10.18845/tm.v30i3.3277>.
- MUÑOZ, D., CUATIN, M. y PANTOJA, A. 2014. Aprovechamiento de residuos agroindustriales como biocombustible y bioenergía. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 12(2):10-19.
- ROSETO, E. 2017. Impacto de la producción de biomasa de *Auricularia auricula*, utilizando residuos agroindustriales contaminantes del Ecuador (Número March). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23142.63041>.
- VARNERO, M., GALLEGUILLOS, K. y ROJAS, R. 2011. Sistemas de compostaje para el tratamiento de alperujo. *Información Tecnológica*, 22(5):49-56.
- ZULUAGA, R., OSORIO, M., CASTRO, C., BETANCOURT, S., KERGUELEN, H., SALAZAR, S., SANTANA, R., y MARÍN, D. 2019. Compendio de las alternativas para el desarrollo de materiales que brindan las estructuras celulósicas aisladas de residuos de la agroindustria de. CYTED-Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, 119-130. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/122024/CONICET_Digital_Nro.734b37f4-424f-4639-a2ef-5b4dc1ed2403_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y.