Propuesta Metodológica para el Dimensionamiento de Plantas de Compostaje en Municipios con Generación de Residuos Orgánicos Aprovechables a Partir de 100 Ton/Día

Wendy Andrea Ávila Ruiz; Cod.20122181212

Jully Paola Moyano Hernández; Cod. 20131181037

Monografía presentada para optar al título de Ingeniería Sanitaria

Docente director

PhD. Juan Pablo Rodríguez Miranda

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Proyecto Curricular de Ingeniería Sanitaria

Bogotá D.C.

2019

DEDICATORIA

A mi madre Dora Hernández y mi hermano Faber Moyano, quienes, con gran amor, comprensión y mucha paciencia me han dado la fuerza moral para continuar luchando por la culminación de este sueño. A mis amigos y conocidos que de una u otra manera me llenaron el corazón de alegrías en los pequeños momentos compartidos y a todos aquellos personajes que me brindaron una voz de aliento en tiempos de caída. ¡Muchas gracias!

JULLY PAOLA MOYANO HERNÁNDEZ

DEDICATORIA

A mi familia por ser un pilar fundamental para la realización de este sueño, por sus buenas palabras, apoyo, motivación y bromas hacia mi persona. Especialmente a mi madre Adriana Ruiz un gran ejemplo de que toda etapa y proyecto se debe realizar con amor, constancia y motivación, a mi padre Félix Ávila por su ánimo. A mi compañera Jully Paola con quien pase algunas noches en vela luchando por la culminación de este proyecto, a cada uno de mis amigos y conocidos quienes con sus palabras alegraban y brindaron luces de aliento durante este proceso y finalmente a cada docente que se hizo presente durante el desarrollo de mi formación academica. ¡Gracias infinitas!

WENDY ANDREA AVILA RUIZ

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, por los espacios logísticos, el personal profesional y humano que nos formó al día de hoy como profesionales idóneos y responsables del deber, para aportar lo mejor de la Ingeniería Sanitaria a la sociedad.

A nuestro docente director Juan Pablo Rodríguez Miranda, por sus clases con grandes aportes ingenieriles en el tema del saneamiento básico con énfasis en residuos sólidos, junto a su buena disposición, apoyo incondicional y ánimo continuo durante el desarrollo de este trabajo.

Al docente evaluador Caudex Vitelio Peñaranda, por su paciencia, tiempo y apoyo en la estructuración de un documento de calidad, a fin de aportar una información más clara y comprensible a los lectores.

TÍTULO Y AUTORES

Propuesta metodológica para el dimensionamiento de plantas de compostaje en municipios con generación de residuos orgánicos aprovechables a partir de 100 Ton/día

AUTORES: WENDY ANDREA ÁVILA RÚIZ Y JULLY PAOLA MOYANO HERNÁNDEZ

RESUMEN

El presente trabajo a modo de monografía, presenta una recopilación de información bibliográfica secundaria en torno al tema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos a través de la técnica de compostaje, mediante la cual los autores muestran una comparación de tres metodologías propuestas para el dimensionamiento de plantas de compostaje con una capacidad de tratamiento de 100 Ton/día de residuos orgánicos municipales.

ABSTRACT

The present work as a monograph, show a compilation of bibliographic information, around the issue of use of organic waste through the tech-nique of composting, through which the authors show a comparison of three proposed methodologies for the sizing of plants composting with a treatment capacity of 100 tons/day with municipal organic waste.

Contenido

INTRODUCCIÓN 9

JUSTIFICACIÓN 11

1. OBJETIVOS 12

1.1. Objetivo general: 12

1.2. Objetivos específicos: 12

2. MARCO TEÓRICO 13

2.1 Compostaje 13

2.2. Sistemas de compostaje 13

2.3. Planta de compostaje 15

3. RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN 16

3.1. Criterios de dimensionamiento 16

3.2. Áreas de una planta de compostaje 22

3.2.1. Cámara de recepción y almacenamiento. 22

3.2.2. Área de descomposición. 25

3.2.3. Área de maduración. 38

3.2.4. Área de post- tratamiento. 41

3.2.5. Área de oficina y servicios. 43

3.2.6. Área de recepción de lixiviados. 44

3.2.7. Área el área total 48

3.3. Manejo de lixiviados 50

3.3.1. Recolección de lixiviados 51

3.4 Análisis y Discusiones 53

4. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA PARA DIMENSIONAR PLANTAS DE COMPOSTAJE 54

4.1. Desarrollo de las secuencias de cálculo de los métodos 54

4.1.1. Desarrollo de cálculos para la cámara de recepción 55

4.1.2. Desarrollo de cálculos para Área de descomposición 57

4.1.3. Desarrollo de cálculos para área de maduración. 61

4.1.4. Desarrollo de cálculos para área de post tratamiento 63

4.1.5 Desarrollo de cálculos para área de oficinas y servicios 64

4.1.6. Desarrollo de cálculos para Área de recepción de lixiviados (Tanque) 65

4.1.7. Desarrollo de cálculos para Área total de la planta de compostaje 66

4.2 Comparación de métodos 67

4.3. Comprobación de la metodología propuesta por los autores 68

4.4 Análisis y Discusiones 68

5. PERCEPCIONES FINALES 70

6. CONCLUSIONES 74

7. RECOMENDACIONES 75

8. BIBLIOGRAFÍA 76

ANEXO 1 Diagrama de Procesos en una Planta de Compostaje..... 81

ANEXO 2. Parámetros de Seguimiento en Compostaje..... 82

ANEXO 3. Elementos de Protección Personal para un Proceso de Compostaje..... 83

ANEXO 4. Plano de una Planta de Compostaje para 100 Ton/día..... 84

INTRODUCCIÓN

En el transcurso del tiempo se han presentado problemas relevantes debido a la alta generación y acumulación de residuos sólidos sin una separación en la fuente, ni un tratamiento acorde a sus características. Adicionalmente, un evento que agrava la situación es la alta presencia de los residuos orgánicos, ya que estos constituyen más de la mitad de los residuos domiciliarios dispuestos en los rellenos sanitarios, junto a la generación de lixiviados y gases de efecto invernadero.

A partir de lo anterior, se plantea como solución el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos a través de su transformación en las plantas de compostaje para la obtención de enmiendas orgánicas. Actualmente se toma como guía de diseño el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico- RAS 2000, titulo F, sección F.5.5.2.3., donde se encuentra una secuencia de cálculo para dimensionar plantas de compostaje que traten 100Ton/día de residuos orgánicos presentando cuatro estructuras internas, en las cuales se realiza todos los procesos de transformación de la materia orgánica.

Es de resaltar que dicha metodología del RAS2000 puede ser complementada, razón por la cual se ha elaborado este trabajo, cuya finalidad es proponer una metodología de dimensionamiento de plantas de compostaje en municipios con generación de residuos orgánicos aprovechables mayor o igual a 100 Ton/día, mejorando, optimizando y separando los espacios físicos de la planta, tras una revisión bibliográfica que permitiera la identificación y comparación de otras áreas logísticas con sus respectivas secuencias de cálculo para diseño en las plantas de compostaje.

Para el anterior efecto, este documento contiene seis capítulos que se verán descritos a continuación:

1. Objetivos. Se presentan objetivos generales y específicos del proyecto.

2. Marco teórico. Se presenta información base para una mejor comprensión del texto.

3. Recopilación de información. Se muestra la información secundaria recolectada referente a temas técnicos y de dimensionamiento de plantas de compostaje.

4. Desarrollo de la metodología de dimensionamiento. Se desarrollan algunos cálculos propuestos tras la recopilación de bibliografía, lo que permite presentar resultados sobre el dimensionamiento de la planta de compostaje.

5. Percepciones finales. Se realiza una descripción sobre los equipos/ herramientas y su uso dentro de una planta de compostaje.

6. Conclusiones. Se presentan las conclusiones en base al análisis realizado en los capítulos tres y cuatro.

7. Recomendaciones. Se realizan unas sugerencias a partir de la información propuesta en los capítulos que constituyen este documento.

JUSTIFICACIÓN

Colombia, presenta de acuerdo a un estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios en Bogotá D.C., que cerca del 60% corresponden a residuos orgánicos, el 17% a residuos reciclables, el 13% a residuos peligrosos y el 10% restante son residuos higiénicos-sanitarios. (UAESP, 2011). Posteriormente, se debe resaltar que el país presenta una tasa de aprovechamiento cercana al 38.2% correspondiente a los residuos reciclables nuevamente utilizados, los de cogeneración de energía y/o compostaje (DANE, 2017), siendo una cantidad baja de aprovechamiento, por lo que deja entre ver una problemática entorno a los residuos orgánicos, la cual puede ser abordada con mecanismos de tratamiento y transformación de este material biodegradable a productos aprovechables que beneficien las actividades agrícolas de las diferentes poblaciones. Se han realizado diferentes sistemas de tratamiento y aprovechamiento del material orgánico a través de técnicas como el compostaje y la lombricultura a fin de obtener subproductos de abono (compost o humus) que mejoren los suelos de su territorio, es importante tener en cuenta los lineamientos técnicos para sistemas de tratamiento y aprovechamiento del material orgánico.

Finalmente, el interés de este documento es responder a la pregunta: *"¿Cómo se puede optimizar el proceso del dimensionamiento para plantas de compostaje en municipios que generan más de 100 Ton/día de residuos orgánicos aprovechables?*", para lo cual se propone la implementación de una metodología de diseño donde se podrá dimensionar plantas de compostaje que traten y transformen 100 Ton/día de dichos residuos, aportando directamente en la reducción de hectáreas requeridas por los rellenos sanitarios, la generación de lixiviados y gases de efecto invernadero, dejando como valor agregado el compost, subproducto de calidad y beneficio agroforestal.

1. OBJETIVOS

1.1.Objetivo general:

Desarrollar una metodología para el dimensionamiento de plantas de compostaje en municipios con generación de residuos orgánicos aprovechables mayor a 100 Ton/día.

1.2.Objetivos específicos:

-Evaluar las metodologías para el dimensionamiento de plantas de compostaje en el ámbito nacional e internacional.

-Estructurar la metodología para el dimensionamiento de plantas de compostaje en municipios con generación de residuos orgánicos aprovechables mayores a 100 Ton/día.

2. MARCO TEÓRICO

Con el fin de entender el presente documento, es primordial presentar conceptos base antes de la recopilación y el desarrollo de la propuesta; estos conceptos serán presentados a continuación.

2.1 Compostaje

El compostaje es un proceso de descomposición biológica de los residuos orgánicos (Garrido Ibáñez, 2015) (Rondon Toro *et al*, 2016) en condiciones aeróbicas controladas que favorecen la acción de los consorcios microbianos presentes en las diferentes etapas (Agencia de residuos sólidos de Cataluña- ARC, 2016) (Oviedo Ocaña, Marmolejo Rebellon, & Torres Lozada, 2016). El proceso de compostaje presenta dos etapas predominantes basadas en la actividad biológica, siendo estás la etapa de descomposición (donde se da el aumento de microorganismos quienes usan las fuentes de carbono para su energía, y las fuentes de nitrógeno para su crecimiento), y la etapa de maduración (marca el cierre de la etapa anterior, presentando una estabilidad en los parámetros que se deben controlar en el proceso).

2.2. Sistemas de compostaje

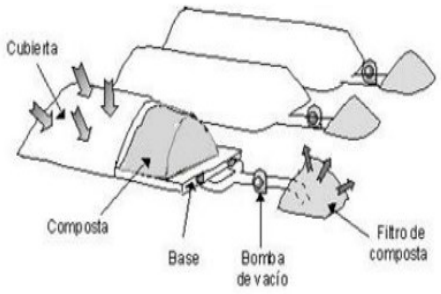
Un proceso de compostaje puede ser diferenciado según el método a utilizar, ya sea un sistema cerrado o un sistema abierto, a fin de llevar a cabo un proceso de transformación de la materia orgánica a enmienda orgánica para el suelo agrícola. Se presenta la descripción de cada sistema en la Tabla 2.1. y como apoyo visual las Ilustraciones 2.1. y 2.2.

Tabla 2.1. *Sistemas de compostaje*

<table>
<tr><th>Sistema</th><th colspan="3">Descripción</th><th>Fuente</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Sistema abierto</td><td colspan="3">Trabajan pilas estáticas y usan volteos periódicos en donde se presenta una aireación natural o en algunos casos forzada. Las instalaciones tienen un manejo sencillo, por lo que la operación tiene un costo menor de inversión. Ver Ilustración 2.1.</td><td rowspan="3">(Garrido Ibáñez, 2015)</td></tr>
<tr><td colspan="2">Compostaje en hilera o pila</td><td>compostaje en pila estática aireada</td></tr>
<tr><td colspan="2">El proceso se da en hileras o pilas del material orgánico al aire libre, para una fermentación durante 8 semanas. La hilera puede ser de 2 a 2.3m de alto por 4 a 5m de ancho en la base con longitud variable. Inicialmente para renovación de la mezcla y del oxígeno, se realizan dos volteos por semana manteniendo la temperatura de 55°C. Las falencias más notorias serían la liberación de compuestos con fuerte olor y por estar al aire libre sin cobertura producen lixiviados por las lluvias.</td><td>El proceso consiste en colocar la masa de residuos sobre una red de tuberías perforadas y conectadas a un ventilador que aspira o inyecta aire a fin de eliminar condiciones anaerobias. La regulación del caudal del ventilador permite el control de la temperatura y el oxígeno. Las dimensiones óptimas son 2 a 2.5m de altura, ya que no se realiza volteo no es necesario un ancho específico.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Sistema cerrado</td><td colspan="3">El proceso de fermentación se da en instalación cerrada y emplea maquinaria más compleja. En el sistema se da control de los parámetros del proceso, permite un proceso continuo y tratamiento de los gases a la salida del reactor, facilita la recolección y gestión de lixiviados. Presenta mayores costos de inversión, personal capacitado y mantenimiento continuo. Ver Ilustración 2.2.</td><td rowspan="3">(Garrido Ibáñez, 2015)</td></tr>
<tr><td>Compostaje tambor</td><td>Compostaje en contenedor</td><td>Compostaje en túnel</td></tr>
<tr><td>El proceso se da en un tambor de rotación lenta, que trabaja en continuo o por cargas. El sistema consigue un cierto grado de mezcla y homogeniza los residuos, a fin de usar menor tiempo en la fermentación. Requiere de electricidad para girar el tambor y una gran superficie.</td><td>El proceso se da en un contenedor de acero. Es un proceso en continuo, con carga del material en la parte anterior y descarga en la parte posterior. Presenta altos costos de mantenimiento (corrosión) y baja capacidad.</td><td>El proceso se da en un túnel cerrado construido en hormigón y tiene un falso suelo donde está la red de tuberías de ventilación donde se cuenta con un ventilador para impulsar el aire; el techo cuenta con un sistema de rociado para regar la pila. Los residuos se mantienen estáticos durante el proceso.</td></tr>
</table>

FUENTE: Elaborado por los autores a partir de la bibliografía

Ilustración 2.1. Esquema de sistema abierto.



FUENTE: Tomado de (Garrido Ibáñez, 2015)

Ilustración 2.2. Esquema de sistema abierto.

FUENTE: Tomado de (Garrido Ibáñez, 2015)

2.3. Planta de compostaje

Las etapas del compostaje dentro de una planta se llevan a cabo en un conjunto de estructuras ubicadas secuencialmente para la transformación de la materia orgánica, siendo este proceso descrito en el Anexo1- *Diagrama de procesos en la planta de compostaje.*

3. RECOPILACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se presenta la información bibliográfica recolectada, la cual trata temas técnicos y de dimensionamiento para plantas de compostaje.

3.1. Criterios de dimensionamiento

Las plantas de compostaje necesitan para su diseño el cumplimiento de algunos requerimientos mínimos, en el presente documento están dados por diferentes referentes bibliográfico y normativos como Aida Garrido con Plantas de compostaje en Túneles; la Agencia de Residuos Sólidos de Cataluña- (ARC); el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB), & la Dirección General de Gestión Integral de Residuos Sólidos (DGGIRS) de Bolivia; el Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000), título F; la Resolución 0330 de 2017; el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA); y el Decreto 596 de 2016 (ECA), por lo que se presenta en la Tabla 3.1., los criterios sugeridos por cada autor mencionado anteriormente.

La Tabla 3.1., contiene la información sugerida y de vital importancia antes de la aplicación de los métodos de cálculo ya que muestra criterios sobre del período de diseño, la necesidad de equipos mecánicos, las operaciones mínimas dentro de la planta, la distancia a la zona residencial, las características de los residuos orgánicos, los parámetros de control en el material de descomposición, la característica de los vehículos de ingreso de material, 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.

Tabla 3.1. *Criterios de dimensionamiento para plantas de compostaje (Rodríguez, 2018)*

Criterio	***ARC, 2016***	***MMAyA, 2012***	***RAS, titulo F***	***Res. 0330/17***	***ICA, 2015***	***Garrido, 2015***	***Dec. 596/16 (ECA)***
Período de diseño y operación			25-30 años, (nivel de complejidad)	25 años			
Equipos mecánicos	Mecánico.: 1000-6000Ton/año	Semi-mecánico: 2-10Ton/d Mecánico: >10Ton/d	No Mecánico: <3000 usuarios Semi-Mecánico.: 3001-8000 usuarios Mecanizado: >8000 usuarios				
Operaciones minimas	Alejados de nucleos habitados. En zonas rurales o semirurales más que n zonas industriales Lejano de cauces de ríos o zonas inundables. Contar con capacidad de la vía para vehículos de gran tonelaje. Etapas: recepción y almacenamien to, proceso de mezcla, etapa de descompo-sición, etapa de madura-ción, pos-tratamiento, almacenamien to, operaciones	Puede realizarseal aire libre o con infraestructura cubierta sin paredes	Tener enc cuenta los usos del suelo según (POT, PBOT o POT) y lo definido en el PGIRS municipal. Ser técnico, ecónomico y ambientalmente viable. Contar con servicios públicos. Tenener una distancia de 500m a las áreas residenciales y localizarse en suelos de expansión urbana, periurbana o rural. La zona operativa y de almacenamiento debe ser cubierto y con cerramiento físico. Tener diagrama del proceso.Contar con un área minima de recepción, vías de acceso según transporte a utilizar,	Tener en cuanta los planes de ordenamiento territorial y el PGIRS. Tener servicios públicos. Contar con vías de acceso o trafico vehícular. El diseño de la zona operativa y de almacenamien to debe ser cubierto y con cerramiento físico, contar con el diagrama de procesos, contar con área pesaje, recepción, procesos de adecuación para el aprovechamie	Seleccionar un sitio cubierto, seco y firme. Señalizar los espacios y áreas de proceso. Selección y acopio de residuos orgánicos. Uso de elementos de protección personal. Triturar residuos y posterior pesaje para reportar datosen un registro. Conformación de pilas usando capas de material vegetal con material mineral.		Cumplir el POT; Zona operativa y almacenamiento con cubierta; Contar con diagrama de flujo de todas las actividades Área (materiales de rechazo); Contar con sistemas para control de olores, recolección y uso de agua lluvia y recolección y tratamiento de lixiviados (según el caso); Uso de pisos rígidos y paredes para limpieza.

	complementarias.		sistema de drenaje para el control de aguas lluvia, y sistemas de recolección de lixiviados.	nto, almacenamiento de materia prima y productos para el mercado	Homogenizaciónde todos los materiales. Tamizaje. Empaque y almacenamiento del producto en un lugar fresco y seco. Registrar la fecha de almacenamiento del producto terminado.		
Distancia a zona residencial	>500m	300-500m	> 500 m				
Parametros de control*	C/N* :25-35	C/N* :20-30	C/N* : 20-30		C/N* : 20-25	C/N* : 25-30	
	Humedad: 50-70%	Humedad: 40-60%	Humedad: 40-60%		Humedad: 40-60%	Humedad: 50-70%	
	pH: 6-8	pH: 6.5-8	pH:4.0-9.0			pH: 6-8	
	Porosidad: 25-30%	Porosidad: 25%	Diametro particula		Diametro particula1 5-6cm	Diametro particula1-3cm	
	Temperatura °C: 50-68	Temperatura °C: 50-55	Temperatura °C: 20-55		Temperatura °C: 60-65	Temperatura °C: 55	
	Oxígeno: 15-21%	Aireación manual o mecanica (volteos), aieración forzada(inyección de oxígeno)	Aireacion depende del contenido de humedad inicial de la masa			v/v oxígeno*: >10%	
					Salmonella ausente en 25g de producto, escherichi coli<1000 NMP/g		

*Parametros de control: ver descripción en el Anexo 2
*C/N: Relación de cabono/nitrogeno

*v/v: Concentración volumen/volumen

Vehículo recolector			Motorizado y cobertura en carga Identificación ESP				
Dimensiones del vehículo			COMPACTADOR Compuerta abierta(Ca): 3,8-4m; Compuerta cerrada (Cc): 3m. Ancho(Ac): 2,6m-3m. Longitud (Lc): 7,7m				
Tiempo operación de la Planta (Top)		3 - 6 meses	3- 18 meses		25-90 días (3meses)		
Tiempo operación maduración (Tom)	2-4 semanas						
Tiempo contacto cámara (Tc) y dimensiones						3dia<Tc<4día,	
Tiempo área de descomposición (Tdes)						6-8 Semanas	
Espaciamiento entre pilas (Sh)		2,5m-3m	3 m entre camas, l según maquinas.				
Base Planta (B planta)			> 20 m				
Largo (LC) & alto (HC) de la cámara de recepción						6m<HC<12m; 10m<LC<20 m(según la cantidad de material de ingreso)	
Base (Bp), longitud (Lp) & alto (Hp) de las pilas		1.5m<Bp< 3m; 1.5m<Hp<2.5m	1m<Bp< 2m; 2m<Lp<20m; 0.3m<Hp<0.5m		1m<Hp<1.5m .	2m<Hp<2.3 m, 4m<Bp<5m, Lp, variable	
Densidad orgánico (Prsu org)			0.4 Ton/m^3				
Densidad (Prsu Compostaje)			0.6 Ton/m^3				
Fracción del volumen de residuos tratados tras la descomposición (Vr Rsu/Ve)	0.5≤ Vr Rsu/Ve≤ 0.3 (Rsu municipal); 4≤ Vr RSU/Ve≤ 2						

	(RSU lodos y pastos)						
Manejo de lixiviados	Contemplar como lixiviado el 5% (0,05m3/Ton) del volumen de residuos del proceso según humedad de residuos de ingreso.	Pendiente en el piso de 2%. Drenaje en los perimetros de la planta. Tener en cuenta la generación de lixiviado por el propio material(40-80L/Ton) y lixiviado generado por lluvias(según la zona). Factor de seguridad 1,5.	El sistema de drenaje debe ser una red horizontal del grava gruesa, con pendiente del fondo de 2% que favorezca el movimiento por gravedad. Determinar cantidad de lixiviados generados en el proceso. Establecer según el diseñador : la recicirculación o tratamiento de los lixiviados contemplando el impacto ambiental. Contemplar para efecctos de diseño el balance de agua.			El suelo se diseña con pendientes adecuadas para que el lixiviado se recolecte en un extremo. Uso de canalización por gravedad hacia el tanque de almacenamiento para posterior tratamiento o reciclado.	Contemplar tratamiento de lixiviados según sea el caso.
Tipos de aireación	Uso de maquinas de volteo (Volteadora aireadora) Dimensiones: Ancho: 3m Alto: 1,40m Peso:2,36Kg Capacidad de Volteo: 1m^3/hora	Volteo manual (2Ton/día) o mecánico (>2Ton/día) cada 6 o 10 días, según el tipo y tamaño del material			Recomiendan realizar volteos de la pila después de alcanzar la fase de eliminación de patogenos, cuando se presenten temperaturas >65°C. o intervalos en clima calido de 2-8días y en clima frio de 5-15días.	Uso de ventilador, red de tuberias de distribución y boquillas de salida para impulsar uniformenteel aire del suelo hacia el material de compostación.	

FUENTE: Datos obtenidos en la bibliografía (Elaboración propia)

3.2. Áreas de una planta de compostaje

En este proceso de compostaje se requieren diferentes áreas básicas, las cuales no solo se plantean como requisito mínimo en el Decreto 1077 de 2015 y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS 2000) título F, sino también en la bibliografía consultada como son los manuales de la Agencia de Residuos Sólidos de Cataluña- ARC, 2016 y en la Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos, mediante Compostaje y Lombricultura, (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012); dichas estructuras se describen en los numerales posteriores.

3.2.1. Cámara de recepción y almacenamiento. *(ARC, 2016), (Garrido Ibáñez, 2015), (Rodríguez, 2018), (Sánchez Díaz, 2008)*

Es el área superficial de ingreso del material a compostar. Acá se llevará a cabo tareas de recepción, identificación, pesaje, separación, clasificación y almacenamiento temporal de los residuos orgánicos. Se sugiere que esta área cuente con una cubierta y el suelo firme. En caso de que se requiera almacenar temporalmente los residuos, se hará por poco tiempo (3 días como máximo), evitando así la propagación de malos olores.

3.2.1.1. Ecuación para cámara de recepción por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

La ecuación contempla el área de recepción y almacenamiento correspondiente a la cámara de recepción, por lo que toma la cantidad de residuos sólidos orgánicos que ingresan en la planta los cuales se dividen entre la densidad de los residuos orgánicos y la altura propuesta para esta área. (Se toma según la altura de los residuos dispersos)

$$A_c = \left(\frac{U_{RSUorgánicos}}{\rho_{orgánico} * Hc}\right) \text{ (M. 3.2.1.1)}$$

Donde,

$(A_C) = Área\ de\ la\ cámara\ de\ recepción\ (m^2)$

$U_{RSUorgánicos} = Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ urbanos\ (\frac{Ton}{día})$

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

$Hc = Altura\ cámara\ (m)$

3.2.1.2. Ecuación para cámara de recepción por (RAS 2000, título F)

El documento RAS 2000 - título F, no contempla una ecuación que permita el dimensionamiento de la cámara de recepción.

3.2.1.3. Ecuación para cámara de recepción propuesta por los autores

La ecuación a utilizar es la sugerida por (Garrido Ibáñez, 2015), que tiene en cuenta para determinar el volumen de la cámara, la cantidad de los residuos orgánico que ingresan a la planta, la densidad de los mismos y el tiempo requerido para el almacenamiento temporal.

$$\forall c = \frac{U_{RSUorgánicos} * Tc}{\rho_{orgánicos}} \text{ (P. 3.2.1.1)}$$

Donde,

$\forall c = volumen\ de\ cámara\ (m^3)$

$U_{RSUorgánicos} = Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ urbanos\ (\frac{Ton}{día})$

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

$Tc = tiempo\ de\ RSUorganico\ en\ la\ cámara\ (días)$

Se tiene en cuenta para determinar el área de la cámara, el valor obtenido anteriormente, junto con las dimensiones de los vehículos que ingresan los residuos orgánicos y los que se movilizan internamente dentro de la planta (el carro compactador y los cargadores). Ver Tabla 3.1, pág. 18.

$$Ac = \frac{\forall c}{Hc} \quad (P.3.2.1.2)$$

A continuación, la ecuación dará el valor de la longitud que se requiere para la recepción y el almacenamiento temporal del volumen total de residuos orgánicos que ingresan para ser tratados en la planta y para ello se tiene en cuenta que la base de la cámara corresponde al ancho del vehículo de ingreso.

$$Lc = \frac{Ac}{Bc} \ (P.3.2.1.3)$$

Dónde:

$Ac = área\ de\ la\ cámara\ (m)$

$\forall c = volumen\ de\ cámara\ (m^3)$

$Hc = altura\ cámara\ (m)$ (Depende del vehículo de transporte)

$Bc = base\ de\ la\ cámara\ (m)$ (Depende del vehículo de transporte)

$Lc = largo\ de\ la\ cámara\ (m)$

3.2.2. Área de descomposición. *(ARC, 2016), (Rodríguez, 2018), (Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, 2012)*

El área de descomposición busca que mediante la disposición de los residuos orgánicos provenientes de la cámara de recepción (triturados) en pilas/ camas, se realicen actividades de mezcla, riego y control de los parámetros del proceso de compostaje, a fin de que el material con la ayuda del consorcio microbiano se degrade.

En el cálculo de la zona de descomposición se tiene en cuenta un factor de gran importancia como la cantidad de residuos a tratar, el tiempo requerido por el proceso para poder completar la fase de degradación, también se tiene en cuenta la estructura geométrica de la pila y el espaciamiento existente entre las pilas que permitirá el paso de la maquinaria a utilizar.

Esta zona debe estar pavimentada, con una pendiente de baja pronunciación (2% - 3% según bibliografía) y material impermeable adecuado para la recolección de los lixiviados, además entre cada pila debe existir un espacio que las separe entre sí (ver Tabla 3.1, pag. 18), por lo que el área de espaciamiento junto con el área de almacenamiento (debe garantizar el movimiento libre de los equipos y la estadía de los productos terminados mínimo 2 meses (60días)), por lo que se contempla dentro de la zona de descomposición.

Se da como sugerencia que las pilas estén cubiertas, ya sea en zonas de clima seco, donde escasea el recurso hídrico, a fin de prevenir la evaporación y perdida del agua; también en las zonas con exceso de precipitaciones, evitando la humidificación excesiva y una mayor generación de lixiviados.

3.2.2.1. Ecuación para área de descomposición por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Para el cálculo del área de descomposición se determina inicialmente la información de la pila como es el volumen, la longitud y el número, y luego si se determina el área que ocupa el total de las pilas. A continuación, se presentan las ecuaciones:

Volumen pila degradación

$$\forall_{pila} = \frac{U_{RSUorgánicos} * Tdes}{\rho_{compostaje}} \quad (M.3.2.2.1)$$

Donde,

$\forall_{Pila} = volumen\ de\ la\ pila\ \ (m^3)$

$U_{RSUorgánicos} = Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ urbanos\ (\frac{Ton}{día})$

$Tdes = Tiempo\ de\ descomposición\ (Semanas)$

$\rho_{compostaje} = Densidad\ residuos\ compostados\ \ (\frac{Ton}{m^3})$

Para el cálculo de la longitud de la pila se determina mediante la ecuación (M.3.2.2.2), que toma el volumen anterior y es dividido por el área de la pila; siempre y cuando la conformación de la pila sea triangular, en casos diferentes se debe contemplar la geometría correspondiente (trapezoidal, rectangular o semicircular).

Longitud pila

$$L_{pcalculado} = \frac{\forall pila}{(Bp * hp)/2} \quad (M.3.2.2.2)$$

Donde,

$L_{pcalculado} = longitud\ de\ la\ pila\ calculado\ (m)$

$\forall_{Pila} = volumen\ de\ la\ pila\ \ (m^3)$

$B_p = Base\ de\ la\ pila\ (m)$

$h_P = Altura\ de\ la\ pila\ (m)$

Es importante conocer cuántas pilas serán utilizadas en este proceso, por lo que se aplica la siguiente ecuación a fin de determinarlas:

Número total de pilas

$$N°_{pilas} = \frac{L_{pcalculado}}{Lp} \quad (M.3.2.2.3)$$

Donde,

$N°_{pilas} = número\ de\ pilas$

$L_{pcalculado} = longitud\ de\ la\ pila\ calculado\ (m)$

$L_p = longitud$ estandar $de\ la\ pila$ (m)

A partir de la cantidad de pilas que se utilizaran en este proceso, se determina el área total de descomposición haciendo uso del rango de la longitud estándar de las pilas Tabla 3.1, pág. 18.

Área de pilas de degradación (A_{pilas})

$$A_{pilas} = N°pilas * Bd * L_{pcalculado} \quad (M.3.2.2.4)$$

Donde,

$A_{pilas} = área\ de\ pilas\ para\ la\ degradación$

$N°_{\ pilas} = número\ de\ pilas$

$B_p = Base\ de\ la\ pila\ (m)$

$L_{pcalculado} = longitud\ de\ la\ pila\ calculado\ (m)$

3.2.2.2. Ecuación para área de descomposición por (RAS 2000, título F)

La siguiente secuencia de cálculo propuesta por el RAS, proyecta para calcular el área de descomposición tener en cuenta que este lugar se trabaja con las pilas geométricas y con el espacio de separación entre cada una de ellas.

Área transversal de la pila (A_T)

$$A_T = \frac{B_p * h_P}{2} \quad (R.3.2.2.1)$$

Donde,

$A_T = Área\ transversal\ pila\ (m^2)$

$B_p = Base\ de\ la\ pila\ (m)$

$h_P = Altura\ de\ la\ pila\ (m)$

Tomando el dato de área transversal y la cantidad de residuos sólidos que ingresan a la planta, se calcula la longitud de cada pila:

Longitud calculada (pila)

$$L_{p\text{calculado}} = \left(\frac{U_{RSUorgánicos}}{\rho_{\text{compostaje}}}\right) / A_T \quad (R.3.2.2.2)$$

Donde,

$L_{pcalculado} = longitud\ de\ la\ pila\ calculado\ (m)$

$U_{RSUorgánicos} = Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ urbanos\ \left(\frac{Ton}{día}\right)$

$\rho_{compostaje} = Densidad\ residuos\ compostados\ \left(\frac{Ton}{m^3}\right)$

$A_T = Área\ transversal\ pila\ (m^2)$

Luego se tiene como premisas la cantidad de pilas formadas por uno o dos meses según criterio del diseñador y la necesidad en la planta. Adicional, se contempla el área de cada pila por lo que la ecuación del área total para el proceso de degradación quedaría:

Área total de degradación (A_{ct})

$$A_{ct} = N°_{pilas} * (B_p * L_{p\text{calculado}}) \ (R.3.2.2.3)$$

Donde,

$A_{ct} = área\ total\ de\ degradación\ (m^2)$

$N°_{\ pilas} = número\ de\ pilas$

$B_p = Base\ de\ la\ pila\ (m)$

$L_{pcalculado} = longitud\ de\ la\ pila\ calculado\ (m)$

Como se menciona anteriormente y siguiendo el criterio de la Tabla 3.1, pág. 18, dentro de esta área se tiene en cuenta el espacio que debe existir entre las pilas, y se determina así:

Área de espaciamiento entre pilas (A_E)

$$A_E = \left(N°_{pilas} - 1 * \mathrm{S_h}\right) * L_{p\mathrm{calculado}} \text{ (R.3.2.2.4)}$$

Donde,

$A_E = área\ de\ espaciamiento\ (m^2)$

$N°_{\ pilas} = número\ de\ pilas$

$S_h = Separación\ entre\ hileras(m)$

$L_{pcalculado} = longitud\ de\ la\ pila\ calculado\ (m)$

Al área de descomposición se integra el área de almacenamiento, por lo que se contempla inicialmente el volumen del área que requieren de la cantidad de los residuos orgánicos, junto a la densidad del material producido o compostado, y se contempla un tiempo de operación/ permanencia de dos semanas a un mes.

Volumen de almacenamiento ($\forall_{alm}$)

$$\forall_{alm} = \left(\frac{U_{RSUorgánicos} * t_{alm}}{\rho_{RSU\ compostaje}}\right) \quad (R.3.2.2.5)$$

Donde,

$\forall_{alm}$= $volumen\ de\ amacenamiento\ (m^3)$

$U_{RSUorgánicos} = Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ u$rbanos $(\frac{Ton}{día})$

$\rho_{compostaje} = Densidad\ residuos\ compostados\ (\frac{Ton}{m^3})$

$t_{alm} = tiempo\ almacenamiento(días)$

Para determinar el área de almacenamiento se toma el volumen calculado

Área de almacenamiento (A_{alm})

$$A_{alm} = \left(\frac{\forall_{alm}}{A_{trans}}\right) * (B_{trans})(R.3.2.2.6)$$

Donde,

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

$\forall_{alm}$= $volumen\ de\ amacenamiento\ (m^3)$

$A_{trans} = área\ tranversal\ (m^2)$

$B_{trans} = ancho\ del\ area\ transversal\ (m)$

3.2.2.3. Ecuación para área de descomposición propuesta por los autores

Las siguientes ecuaciones son sugeridas por (Garrido Ibáñez, 2015) (Agencia de residuos sólidos de Cataluña- ARC, 2016) y el (RAS –título F, 2012), cuentan con 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.

Inicialmente, se maneja la ecuación del volumen parcial de la planta que 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.

Volumen parcial de la planta ($\forall_{planta}$)

$$\forall_{planta} = \frac{U_{RSUorgánico} * Tdes}{\rho_{compostaje}} \quad (P.3.2.2.1)$$

Donde,

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

$U_{RSUorgánicos} = Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ urbanos\ (\frac{Ton}{día})$

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

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

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:

Área transversal de la pila (A_T)

*Trapezoidal.

$$A_T = \frac{B_p * bp}{2 * hp} \quad (P.3.2.2.2.1)$$

*Triangular

$$A_T = \frac{h_p * B_p}{2} \quad (P.3.2.2.2.2)$$

*Rectangular

$$A_T = h_p * B_p \quad (P.3.2.2.2.3)$$

*Semicircular

$$A_T = \frac{\pi * (B_P/2)^2}{2} \quad (P.3.2.2.2.4)$$

Donde,

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

$B_p = Base\ de\ la\ pila\ (m)$

$bp = Base\ superior\ de\ la\ pila\ (en\ caso\ trapezoidal)\ (m)$

$h_P = Altura\ de\ la\ pila\ (m)$

*está ecuación puede variar de acuerdo con la forma geométrica de la pila, según proyección dentro del área de degradación en la planta de compostaje.

Utilizando el valor anterior del área transversal de la pila y la longitud estándar de la pila (Ver Tabla 3.1, pág. 18), se puede calcular el volumen de la pila, que será útil luego para determinar el número de pilas que se tendrán en la zona de descomposición para un día de trabajo en la planta.

Volumen de la pila

$$\forall_{pila} = A_T * Lp \quad (P.3.2.2.3)$$

Donde,

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

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

L_p = $longitud$ estandar $de\ la\ pila$ (m)

Número de pilas

$$N°_{pilas} = \frac{\forall_{planta}}{\forall_{pila}} \quad (P.3.2.2.4)$$

Donde,

$N°_{pilas}$ = $número\ de\ pilas$

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

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

Según indica la bibliografía, la longitud puede ser recalculada teniendo en cuenta el volumen de la planta, el área transversal de una pila y el número de pilas. Dicha longitud debe encontrarse dentro del rango de los criterios de la pila estándar. (Tabla 3.1, pág. 18).

Longitud calculada (pila)

$$L_{pcalculado} = \frac{\forall_{planta}}{(A_T * N°_{pilas})} \quad (P.3.2.2.5)$$

Donde,

$L_{pcalculado}$ = $Longitud\ calculada\ (pila)(m)$

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

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

$N°_{pilas}$ = $número\ de\ pilas$

Para determinar el área inicial de descomposición, se contempla la base y la longitud de una pila,

Área inicial de descomposición (A_{Cides}),

$$A_{Cides} = \mathrm{B}_p * L_p \quad (P.3.2.2.6)$$

Donde,

$A_{Cides} =$ área inicial de descomposición (m^2)

$B_p = Base\ de\ la\ pila\ (m)$

$L_p = longitud$ estandar $de\ la\ pila$ (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:

Área total de descomposición (A_{CT}):

$$A_{CT} = A_{Cides} * N°_{pilas}\ (P.3.2.2.7)$$

Donde,

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

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

$N°_{pilas} = número\ de\ pilas$

Entre cada pila debe existir una separación, para que se desplacen los equipos o maquinaria encargada del volteo, dicho espacio se denomina espaciamiento (S_h) y debe ser calculado como un área superficial. (Ver Tabla 3.1, Pág. 18).

Área total de espaciamiento (A_E)

$$A_E = Sh * N°_{pilas} * L_p \quad (P.3.2.2.8)$$

Donde,

$A_E = área\ total\ de\ espaciamiento\ (m^2)$

$S_h = Separación\ entre\ hileras\ (m)$

$N°_{pilas} = número\ de\ pilas$

$L_p = longitud$ estandar $de\ la\ pila$ (m)

El área final de descomposición (A_{CfT}), sería entonces la sumatoria entre el área total de descomposición junto al área total de espaciamiento

Área final de descomposición (A_{CfT}),

$$A_{CfT} = A_{Cides} + \text{AE} \quad (P.3.2.2.9)$$

Donde,

$A_{CfT} = área\ tinal\ de\ descomposición\ (m^2)$

$A_E = área\ total\ de\ espaciamiento\ (m^2)$

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

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 en la Tabla 3.1, pág. 18

Volumen total de la planta de compostaje ($\forall_{TPC}$)

$$\forall_{TPC} = \frac{U_{RSUorgánico}}{\rho_{RSU\ compostaje}} \quad (P.3.2.2.10)$$

Donde,

$\forall_{TPC}$= $volumen\ total\ de\ la\ planta\ de\ compostaje\ (\frac{\mathrm{m}^3}{día})$

$U_{RSUorgánicos} = Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ u$rbanos $(\frac{Ton}{día})$

$\rho_{RSUcompostado} = Densidad\ residuos\ compostados\ (\frac{Ton}{m^3})$

Continuando con el cálculo del área total de almacenamiento, se debe tener en cuenta una base de la planta y los días que serán almacenados los productos compotados. Ver Tabla 3.1, pág. 18.

Área total de almacenamiento (A_{TA})

$$A_{TA} = \frac{\forall_{TPC}}{A_{CT}} * B_{planta} * 60días \text{ (P.3.2.2.11)}$$

Donde,

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

$\forall_{TPC}$= $volumen\ total\ de\ la\ planta\ de\ compostaje\ (\frac{\mathrm{m}^3}{día})$

$B_{planta} = Base\ planta\ (m)$

3.2.3. Área de maduración. (ARC, 2016), (Rodríguez, 2018)

La zona de maduración es un área amplia, donde se deben conformar pilas con el material que proviene del proceso de descomposición, y se da continuidad a la fase final de degradación alcanzando una estabilización de temperaturas lo que ratificaría la maduración y generación de compost. En esta área se tendrán presente tiempos de operación en la maduración y espacios específicos.

3.2.3.1. Ecuación para área de maduración por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

En estos cálculos se utiliza el área transversal de la pila de compostaje y la mitad del volumen de la pila de descomposición, debido al porcentaje reducido tras la pérdida de agua durante su paso por el proceso anterior.

Longitud total de la pila de maduración (L_m)

$$L_m = \frac{\forall_{pila} * 1/2}{(Bp * hp)/2} \quad \text{(M. 3.2.3.1)}$$

Donde,

$L_m = Longitud\ total\ de\ la\ pila\ de\ maduración\ (m)$

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

$B_p = Base\ de\ la\ pila\ (m)$

$h_P = Altura\ de\ la\ pila\ (m)$

Posteriormente, se requiere calcular el número de pilas contemplando las dimensiones de estas en la etapa de descomposición, por lo que se utiliza la siguiente ecuación,

Número de pilas

$$N°_{pilasM} = \frac{L_m}{L_p} \quad \text{(M. 3.2.3.2)}$$

Donde,

$N°_{pilasM} = número\ de\ pilas\ de\ maduración$

$L_m = Longitud\ total\ de\ la\ pila\ de\ maduración\ (m)$

$L_p = longitud$ estandar $de\ la\ pila$ (m)

Tras determinar el número de pilas, se procede a calcular el área neta que requiere el proceso de maduración según dimensiones de área para cada pila. (Ver Tabla 3.1, pág. 18)

Área de maduración (A_M)

$$A_M = N°_{pilasM} * B_p * L_p \quad \text{(M. 3.2.3.3)}$$

Donde,

$A_M = área\ de\ maduración\ (m^2)$

$N°_{pilasM} = número\ de\ pilas\ de\ maduración$

$B_p = Base\ de\ la\ pila\ (m)$

$L_p = longitud\ estandar\ de\ la\ pila$ (m)

Al igual que en el área de descomposición, esta área contiene espacios entre las pilas así que el área total de maduración será la suma del área de dicha separación y el área de las pilas.

Área total de maduración

$$A_{TM} = A_M + A_E \quad \text{(M. 3.2.3.4)}$$

3.2.3.2. Ecuación para área de maduración por (RAS 2000, título F)

El RAS no especifica el área que debe tener este proceso, ya que se encuentra inmerso los cálculos del área de descomposición.

3.2.3.3. Ecuación para área de maduración propuesta por los autores

Se presenta una ecuación sugerida por (Agencia de residuos sólidos de Cataluña- ARC, 2016), en donde se tiene en cuenta la cantidad de residuos sólidos urbanos orgánicos, la operación de reagrupación de material y la duración del proceso, todos contenidos en la siguiente ecuación. Se debe contemplar criterios de la Tabla 3.1, pág. 18.

Área de maduración de residuos sólidos orgánicos en hileras o pilas

$$AM = \frac{T_{om} * 1{,}10 * U_{RSUorgánico} * B_{planta}^2}{(L_{P+}B_{planta})} * \frac{\forall_{RSU}}{\forall_e} \quad \text{(P. 3.2.3.1)}$$

Donde,

$A_M = Área\ de\ maduración\ (m^2)$

$U_{RSUorganico} = cantidad\ de\ residuo\ organico\ (\frac{Ton}{día})$

$* T_{OM} = Tiempo\ de\ maduración\ (semanas)$

$B_{planta} = base\ planta\ (m)$

$\frac{\forall_{RSU}}{\forall_e} = Fraccion\ del\ volumen\ de\ residuos\ tratados\ tras\ la\ descomposición$

$1{,}10 = factor\ de\ seguridad$

*Se da una modificación con conversión de unidades en el tiempo que presenta la bibliografía, ya que esta se da en años y se propone que sea en semanas teniendo en cuenta que el paso del material por esta área no es muy largo.

3.2.4. Área de post- tratamiento. *(MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)*

Luego del proceso de maduración, el material compostado debe contar con un espacio en el cual se mejoren las características de refinación y empaque para su posterior venta. Por tanto, el área superficial de post tratamiento contara con un cribado (con el fin de retirar partículas impropias) y un embalaje (con el fin de empacar el compost en materiales que den presencia comercial).

3.2.4.1. Ecuación para área de post- tratamiento por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Para conocer el valor de esta área superficial, se hace uso del volumen de la pila y las dimensiones del equipo utilizado durante este proceso (criba o tamiz industrial).

Área de pos tratamiento (A_{post})

$$A_{post} = \frac{\forall_{pila} * \frac{1}{3}}{H_{criba}} + A_{criba} \ (M.3.2.4.1)$$

Donde,

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

$\forall_{pilaD} = volumen\ pila\ (m^3)$

$H_{criba} = Altura\ criba\ (m)$

$A_{criba} = Área\ criba (m^2)$

Se considera adicionalmente, el cálculo del área de almacenamiento teniendo presente los tiempos requeridos y la altura para almacenar los productos de compost. (Ver Tabla 3.1, pág. 18)

Área de almacenamiento (A_{alm})

$$A_{alm} = \frac{\forall_{pilaD} * \frac{1}{3} * t_{alm}}{h_{alm}} \quad \text{(M. 3.2.4.2)}$$

Donde,

$A_{alm} = Área\ de\ almacenamiento\ (m^2)$

$\forall_{pilaD} = volumen\ pila (m^3)$

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

$t_{alm} = tiempo\ de\ almacenamiento\ (días)$

$h_{alm} = altura\ dealmacenamiento\ (m)$

3.2.4.2. Ecuación para área de post- tratamiento por (RAS 2000, título F)

Dentro de las ecuaciones del RAS, no se contempla esta área y por tanto no tienen ecuaciones que busquen determinarla.

3.2.4.3. Ecuación para área de post- tratamiento propuesta por los autores

La ecuación que se va a utilizar es tomada de (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, mediante Compostaje y Lombricultura, 2012), y a la cual se le adiciona el área requerida por una ensacadora que se utilizara para el envasado del compost en lonas debidamente rotuladas con la marca del producto comercial.

Post tratamiento (A_{post})

$$A_{post} = \left(\frac{\forall_{pila} * \frac{1}{3}}{Hcriba}\right) + A_{criba} + A_{ensec} \text{ (P.3.2.4.1)}$$

Donde,

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

$\forall_{pila} = volumen\ pila\ (m^3)$

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

$H_{criba} = Altura\ criba\ (m)$

$A_{criba} = Área\ criba(m^2)$

$A_{ensec} = Área\ ensecadora(m^2)$

3.2.5. Área de oficina y servicios. *(Rodríguez, 2018) (Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, 2012)*

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 el clima del lugar, se hace necesario contar con aire acondicionado, junto a la adecuación de espacio de visitas, sala de reuniones y baños. Para el dimensionamiento del área de oficinas y servicios, es necesario contar con el cálculo del área de almacenamiento en la planta, ya que esta infraestructura debe ser 3 veces el área antes mencionada.

3.2.5.1. Ecuación para área de oficina y servicios por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS,2012)

Este referente bibliográfico no contempla el área de oficinas y servicios dentro de sus cálculos.

3.2.5.2. Ecuación para área de oficina y servicios por (RAS 2000, título F)

El documento RAS, indica que las oficinas son tres veces más grandes que el área de almacenamiento, por lo que la ecuación seria la siguiente:

Área de oficinas y servicios (A_{Os})

$$A_{Os} = 3 * A_{TA} \text{ (R.3.2.5.1)}$$

Donde,

$A_{Os} = área\ de\ oficinas\ y\ servicios\ (m^2)$

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

3.2.5.3. Ecuación para área de oficina y servicios propuesta por los autores

Este cálculo es tomado del documento RAS, donde se sugiere que el área de las oficinas y los servicios sea tres veces mayor al área de almacenamiento.

Área de oficinas y servicios (A_{OS})

$$A_{OS} = 3 * A_{TA} \text{ (P.3.2.5.1)}$$

Donde,

$A_{Os} = área\ de\ oficinas\ y\ servicios\ (m^2)$

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

3.2.6. Área de recepción de lixiviados. *(Rodríguez, 2018) (Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, 2012)*

El manejo y algunos criterios de estos lixiviados se han descrito en la Tabla 2.2. Por otra parte, 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.

3.2.6.1. Ecuación para área de recepción de lixiviados por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Para conocer el volumen de lixiviados generados durante el proceso de compostaje se tiene en cuenta que estos líquidos pueden ser provenientes de la perdida de agua contenida naturalmente en los residuos orgánicos, así como la presencia de agua procedente de las precipitaciones y que cae directamente sobre el material de descomposición/maduración. El manual indica que el porcentaje de lixiviados generado corresponde a un 5%. En caso de contar con techo sobre la zona de descomposición y maduración, no se contempla el agua de las precipitaciones.

Volumen de lixiviados generados en área de descomposición (V_{lixd})

$$V_{lixd} = Qd * (0{,}05)\left(\frac{1año}{52\ semanas}\right) * Td * 1{,}5 \quad \textit{(M.3.2.6.1)}$$

Donde,

$V_{lixd} = Volumen\ de\ lixiviado\ de\ la\ descomposición\ (m^3/año)$

$Qd = Capacidad\ de\ diseño\ de\ la\ instalación, excluyendo\ el\ estructurante\ (\frac{Ton}{año})$

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

$Td: Tm = Duración\ de\ la\ etapa\ de\ descomposición\ y\ maduración\ respectivamente$

$1.5 = Factor\ de\ seguridad$

Volumen de lixiviados generados por lluvias (Vs)

$$Vs = (S1 + S2 + S3 + \cdots) * PP * \frac{FS}{1000} \ (M.2.5.6.2)$$

Donde,

$V_s = Volumen\ de\ lixiviado\ en\ zonas\ no\ protegidas\ a\ la\ lluvia\ (m^3/año)$

$S1 + S2 + S3 + .. = Superficie\ de\ las\ zonas\ de\ descomposición y\ maduración\ (m^2)$

$PP = Lluvia\ \ máxima\ en\ 24\ horas\ para\ un\ periodo\ de\ retorno\ de\ 10\ años\ (\frac{l}{m^2})$

$Fs = Factor\ de\ seguridad, igual\ a\ 1.25\ con\ pluviometria\ inferior\ a\ 600\frac{l}{m^2}\ y\ 1.50\ si\ es\ mayor$

Volumen de lixiviados generados en la planta (V_{lix})

$$V_{lix} = V_{lixd} + V_s \ (M.3.2.6.3)$$

Donde,

$V_{lix} = volumen\ total\ de\ lixiviados\ (m^3)$

$V_{lixd} = Volumen\ de\ lixiviado\ de\ la\ descomposición\ (m^3)$

$V_s = Volumen\ de\ lixiviado\ en\ zonas\ no\ protegidas\ a\ la\ lluvia\ (m^3)$

El método no contempla una ecuación que permita identificar el área que contenga el volumen de lixiviados generado por los procesos de descomposición y maduración calculados con las ecuaciones anteriores.

3.2.6.2. Ecuación para área de recepción de lixiviados por (RAS 2000, título F)

Este espacio no ha sido contemplado dentro de las ecuaciones sugeridas por el RAS.

3.2.6.3. Ecuación para área de recepción de lixiviados, propuesta por los autores

La ecuación que se describe a continuación es sugerida por (Agencia de residuos sólidos de Cataluña- ARC, 2016) y (CEPIS/OPS, 1996) (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, mediante Compostaje y Lombricultura, 2012), en esta se hace uso de la cantidad de residuos que ingresan a la planta, los tiempos de descomposición y maduración, además de dos valores lo cuales corresponden a un valor del 5% del volumen de los residuos, un factor de seguridad (1.5).

$$\forall \text{id} = (U_{\text{RSUorgánicos}}/7) * (0{,}05) * 1.5 * (\text{Tdesc} + \text{Tom}) \quad (\text{P. } 3.2.6.1)$$

Donde,

$\forall id = Volumen\ de\ lixiviados\ procedente\ de\ las\ etapas\ de\ descomposición\ y\ maduración\ (m^3)$

$U_{\text{RSUorgánicos}} = Cantidad\ de\ residuos\ sólidos\ u$rbanos $(\frac{Ton}{día})$

$Tdesc = Tiempo\ de\ descomposición(semanas)$

$Tom = Tiempo\ de\ descomposición$ *(Semanas)*

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

$1.5 = Factor\ de\ seguridad$

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

Cálculo del tanque de almacenamiento de lixiviados

$$A_{tanqL} = L_{tanq} * An_{tanq} \quad (P.\ 3.2.6.2)$$

Donde,

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

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

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

3.2.7. Área el área total *(Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, 2012)*

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 (A_M), área de post tratamiento (A_{post}), área de oficina y servicios(A_{OS}), área de almacenamiento de lixiviados (A_{tanq}).

3.2.7.1. Ecuación para el área total por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Dentro de esta bibliografía no contempla una ecuación o una explicación de los valores que se deben tener en cuenta para conocer el valor del área total de la planta, sin embargo, guiados por la necesidad por conocer el total de las áreas, se sumaran el área de recepción, el área de degradación, el área de maduración, el área de pos tratamiento, el área de almacenamiento y el área de oficinas para poder establecer un valor y ser comparado con los demás métodos.

Cálculo del total de áreas superficiales determinadas por el método

$$A_{Total} = A_c + A_{pilasd} + A_M + A_{alm} + A_{post} + A_{lix}\ (M.3.2.7.1)$$

Donde,

$A_{Total} = área\ total\ de\ la\ planta\ (m^2)$

$A_c = ára\ de\ la\ cámara\ de\ recepción\ (m^2)$

$A_{pilasd} = área\ de\ pilas\ de\ descomposición\ (m^2)$

$A_M = área\ de\ maduración (m^2)$

$A_{alm} = área\ de\ almacenamiento\ (m^2)$

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

3.2.7.2. Ecuación para el área total por (RAS 2000, título F)

Se realiza una suma de todas las áreas que se contemplaron y calcularon dentro del método RAS (área de almacenamiento, el área de espaciamiento, el área de compostación y el área de oficinas y servicios).

Área total de la planta de compostaje (A_{total})

$$A_{Total} = A_{alm} + A_{esp} + A_{comp} + A_{os} \text{ (R.3.2.7.1)}$$

Donde,

$A_{Total} = Área\ total\ (m^2)$

$A_{alm} = Área\ almacenamiento\ (m^2)$

$A_{esp} = Área\ espaciamiento\ (m^2)$

$A_{comp} = Área\ total\ de\ compostación\ (m^2)$

$A_{os} = Área\ de\ oficinas\ y\ servicios\ (m^2)$

3.2.7.3. Ecuación para el área total propuesta por los autores

Al igual que en el RAS, título F, se realiza la sumatoria de cada una de las áreas superficiales que se fueron calculadas secuencialmente en este método (cámara de recepción, el área total de descomposición, el área de espaciamiento, el área de maduración, el área de almacenamiento, el área de post-tratamiento, el área de oficina y servicios, y el área de tanques de lixiviados).

Área total de la planta de compostaje (A_{TPC})

$$A_{TPC} = A_C + A_{CTdescom} + A_E + A_{TA} + A_M + A_{post} + A_{OS} + A_{tanqL} \text{ (P.3.2.7.1)}$$

Donde,

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

$A_C = Área\ cámara\ de\ recepción\ (m^2)$

$A_{CTdescom} = Área\ total\ de\ descomposición\ (m^2)$

$A_E = Área\ de\ espaciamiento\ (m^2)$

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

$A_M = Área\ de\ maduración\ (m^2)$

$A_{post} = Área\ de\ pos\ tratamiento\ (m^2)$

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

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

3.3. 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), entre otros; por consiguiente, en la Tabla 3.2, se describe la información para el manejo de lixiviados.

Tabla 3.2. Información para el manejo de lixiviados en la planta de compostaje

Tema	***Descripción***	***Fuente***
Lixiviados	*El lixiviado es un producto generado de la degradación natural de los residuos orgánicos es un factor de riesgo medio ambiental, por lo que se contemplan dentro del diseño de la planta de compostaje a fin de controlar y aprovecharlo. La opción de reutilizar el lixiviado permite solventar la necesidad en la planta cuando se requiere el riego de las pilas iniciales de compostaje.*	*(Agencia de residuos sólidos de Cataluña- ARC, 2016)*
Manejo estructural	*La recolección de lixiviado se realizaría instalando tubería con ubicación al final de cada sección de pilas, contemplando una pendiente adoptada en el terreno de aprox.2%.*	*(MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)*
	Para efectos de cálculo de tuberías se realizan cálculos usando las ecuaciones de Hazen Williams (Definir el diámetro de la tubería) y Manning (Determinar velocidad y caudal de la tubería).	*(Rodríguez, 2018)*
	Se contempla trabajar con el volumen de lixiviados calculado, haciendo uso de tubería de PVC para la recolección a la salida de las pilas y posterior conducción a un tanque de recolección.	
	El tanque de recolección y almacenamiento de los lixiviados contara con medidas estándar según el volumen comercial más aproximado a la cantidad de lixiviados calculado para la planta (ver sección 3.2.6.3)	

3.3.1. Recolección de lixiviados

A continuación, tras revisión en la Tabla 3.1. pág. 19 y Tabla 3.2 (criterios, manejo de lixiviados), se presentan las ecuaciones utilizadas para determinar los componentes necesarios en la recolección de lixiviados mediante tubería de PVC en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Ecuaciones para definir componentes en la recolección de lixiviados

Nombre	***Ecuación***	***Fuente***
Hazen Williams	$Q = 0.2787 * C * D^{2.63} * S^{0.54}$ $(HW.3.3.1.1)$ $D = (\frac{Q}{0.2787 * C * S^{0.54}})^{1/2.63}$ $(HW.3.3.1.2)$ $J = (\frac{Q}{0.278 * C * D^{2.63}})^{1/0.54}$ $(HW.3.3.1.3)$ *Donde,* $Q = Caudal\ (m^3/d)$ $C = Factor\ de\ fricción\ de\ Hazen\ Williams$ $S = Pendiente\ (No\ porcentual)$ $D = Diámetro\ (")$	*(Rodríguez, 2018)*
Chezy-Manning	$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$ $(CM.3.3.1.1)$ $D = 1.548 * (\frac{n * Q}{S^{1/2}})^{3/8} \pi r^2$ $(CM.3.3.1.2)$ *Donde,* $Q = Caudal\ (L/s)$ $V = Velocidad\ del\ flujo\ (m/s)$ $S = Pendiente\ de\ la\ tuberia (No\ porcentual)$ $n = Coeficiente\ de\ rugosidad\ de\ Manning$ $R = Radio\ hidráulico\ (m)$	*(Rodríguez, 2018)*

FUENTE: Elaborado por los autores

3.4 Análisis y Discusiones

El capítulo 3, direcciona la información bibliográfica secundaria hacia la comprensión del temario que constituye la finalidad del presente documento. Dicha información recopilada, permite que los autores se enfoquen en el desarrollo posterior de un ejercicio que permitirá demostrar el diseño para plantas de compostaje, contemplando criterios mínimos junto a los tres métodos de dimensionamiento (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012), (RAS 2000, título F) y (Propuesta de los autores), vienen a ser muy útiles a la hora de definir las características con que se quiere la planta.

Al momento en que se presentan los diferentes métodos, se da espacio a que los diseñadores tenga a criterio propio la evaluación del método que aporte y determine las áreas que sean más eficientes para el desarrollo óptimo de las plantas de compostaje para tratar los residuos orgánicos.

4. DESARROLLO DE LA METODOLOGIA PARA DIMENSIONAR PLANTAS DE COMPOSTAJE.

4.1. Desarrollo de las secuencias de cálculo de los métodos

En el presente numeral se resolverá un ejemplo utilizando las secuencias de cálculo correspondientes a las tres metodologías presentadas para las diferentes áreas superficiales que componen la planta de compostaje (Sección 3.2).

Los datos que serán tenidos en cuenta para el desarrollo del ejemplo se presentan en la Tabla 4.1., donde se indican las características del material orgánico, las dimensiones de la maquinaria y los equipos a utilizar, junto a los tiempos requeridos para los procesos.

Tabla 4.1. Datos para ejercicio

No.	***Datos***	***Cantidad***	***Unidades***	***Fuente***
1	*Cantidad de Residuos Sólidos Orgánicos de entrada*	*100*	*Ton/d*	RAS, titulo F
2	*Densidad de Residuos Orgánicos*	*0,4*	*Ton/m^3*	RAS, titulo F
3	*Densidad de Residuos compostaje*	*0,6*	*Ton/m^3*	RAS, titulo F
4	*Tiempo en cámara de recepción*	*3*	*Días*	*Garrido, 2015*
5	*Altura del vehículo (compactador)*	*4*	*m*	McNeilus, 2017
6	*Ancho del vehículo (compactador)*	*3*	*m*	McNeilus, 2017
7	*Forma de la pila*	*Triangular*		*ARC, 2016*
8	*Base de la pila*	*3*	*m*	RAS, titulo F
9	*Altura de la pila*	*1,5*	*m*	*MMAyA, 2012*
10	*Tiempo de descomposición*	*6*	*Semanas*	*Garrido, 2015*
11	*Espacio entre pilas*	*3*	*m*	*MMAyA,2012;*RAS,titu loF
12	*Tiempo de almacenamiento*	*1*	*Semana*	*Garrido, 2015*
13	*Área transversal*	*20*	*m^2*	*ARC, 2016*
14	*Tiempo de maduración*	*2*	*Semanas*	*ARC, 2016*
15	*Longitud estandar*	*20*	*m*	RAS, titulo F
16	*Base de la planta*	*20*	*m*	*ARC, 2016*
17	*Fracción de volumen tratado*	*0.33*		*ARC, 2016*
18	*Altura de la criba*	*3*	*m*	*MMAyA, 2012*
19	*Área de la criba*	*21*	*m^2*	*MMAyA, 2012*
20	*Área de la ensacadora*	*1*	*m^2*	*EPC, 2011*
21	*Tiempo de almacenamiento para lixiviados*	*60*	*días*	*ARC, 2016; MMAyA, 2012*

FUENTE: (Elaboración propia)

4.1.1. Desarrollo de cálculos para la cámara de recepción

La determinación del área para la cámara de recepción requiere de las ecuaciones contenidas en la sección 3.2.1., junto a los datos del ejercicio en la Tabla 4.1.

4.1.1.1. Ecuación para cámara de recepción por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Aplicando la ecuación (M.3.2.1.1), se obtiene:

$$A_c = \left(\frac{100\ (^{Ton}/_{día})}{0.4(^{Ton}/_{m^3}) * 4m} \right) = 62.5 m^2$$

4.1.1.2 Ecuación para cámara de recepción por (RAS 2000, título F)

Según la sección 3.2.1.2., no se contempla una ecuación para dimensionar esta estructura.

4.1.1.3 Ecuación para cámara de recepción propuesta por los autores

Se utilizan las ecuaciones de la sección 3.2.1.3., en la que se inicia con la ecuación (P. 3.2.1.1) que presenta el volumen de la cámara:

$$\forall c = \frac{100\ (^{Ton}/_{día}) * 3\text{días}}{0.4(^{Ton}/_{\text{m}^3})}$$

$$\forall c = 750\text{m}^3$$

Para el área de total de la cámara se utiliza la ecuación (P.3.2.1.2) obteniendo:

$$Ac = \frac{750m^3}{4\ m} = 188m^2$$

Es así como finalmente se desarrolla la ecuación (P.3.2.1.3)

$$* Lc = \frac{188m^2}{3m} = 62.5m^2$$

*este valor puede variar al cambiar el ancho de la cámara, sin embargo, para efecto de este ejercicio el valor que se está tomando (4m) es el mínimo requerido para el funcionamiento adecuado del equipo mecánico en esta área.

4.1.2. Desarrollo de cálculos para Área de descomposición

Para el cálculo del área de descomposición se tiene en cuenta las ecuaciones de la sección 3.2.2., y mediante los datos para el ejercicio de la Tabla 4.1., se direccionan los cálculos.

4.1.2.1. Ecuación para área de descomposición por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Para el cálculo de esta área se hará uso inicialmente de la ecuación (M.3.2.2.1),

Volumen de la pila ($\forall_{pila}$)

$$\forall_{pila} = \frac{100\ \left(Ton/día\right) * 42(\text{días})}{0.6(Ton/\text{m}^3)} = 7000\text{m}^3$$

Se continúa la secuencia de cálculo, aplicando la ecuación (M.3.2.2.2), para ello se contempla en el ejercicio un área de la pila triangular. Luego se utiliza la ecuación (M.3.2.2.3)

Longitud calculada

$$L_{pcalculado} = \frac{7000\text{m}^3}{\frac{3\text{m} * 1.5\text{m}}{2}} = 3111.1\text{m}$$

Número de pilas

$$N°_{pilas} = \frac{31111\text{m}}{20\text{m}} = 155.5$$

Finalmente, se utilizará la ecuación (M.3.2.2.4), y se contempla la longitud estándar presentada para el ejercicio en la Tabla 4.1.

Área de las pilas

$$A_{pilasd} = 155.5 * 3m * 20m = 9333{,}3m^2$$

4.1.2.2. Ecuación para área de descomposición por (RAS 2000, título F)

Se inicia aplicando la ecuación (R.3.2.2.1), teniendo en cuenta los datos del ejercicio (Tabla 4.1)

Área transversal de la pila (A_T)

$$A_T = \frac{3m * 1.5m}{2} = 2.25m^2$$

Posteriormente, con la ecuación (R.3.2.2.2), se determina la longitud diaria de la pila

Longitud calculada

$$L_{pcalculado} = \frac{100\ (\text{ton}\ )}{\frac{0.6\left(Ton/m^3\right)}{2.25m^2}} = 74m$$

Se continúa con la ecuación (R.3.2.2.3), teniendo en cuenta que para dos meses se conformaran 60 pilas.

Área total de degradación (A_{ct})

$$A_{ct} = 60 * (3m * 74m) = 13333m^2$$

Para el área de espaciamiento se utiliza la ecuación (R.3.2.2.4),

Área de espaciamiento (A_E)

$$A_E = (60 - 1 * 3\text{m}) * 74\text{m} = 13111\text{m}^2$$

Se continúa aplicando la ecuación (R.3.2.2.5), y la información del ejercicio Tabla 4.1.

Volumen de almacenamiento

$$\forall_{alm} = \left(\frac{1500\ ton}{0.6\left(Ton/\text{m}^3\right)} \right) = 2500\text{m}^3$$

Usando la ecuación (R.3.2.2.6) y los datos del ejercicio para el área transversal contenidos en la tabla 4.1, se determina:

Área de almacenamiento (A_{alm})

$$A_{alm} = \left(\frac{2500\text{m}^3}{(20)} \right) * (10) = 1250\text{m}^2$$

4.1.2.3. Ecuación para área de descomposición por los autores

Teniendo en cuenta la sección 3.2.2.3., se trabajan inicialmente con la ecuación (P.3.2.2.1),

Volumen de la planta ($\forall_{planta}$)

$$\forall_{planta} = \frac{100\ \left(Ton/_{día}\right) * 42(\text{días})}{0.6(Ton/\text{m}^3)} = 7000\text{m}^3$$

Se continúa aplicando la ecuación (P.3.2.2.2.2), contemplando datos del ejercicio (Tabla 4.1.)

Área transversal de la pila (A_T)

$$* A_T = \frac{3\text{m} * 1.5\text{m}}{2} = 2.25\text{m}^2$$

Posteriormente, se utiliza la ecuación (P.3.2.2.3) así:

$$\forall_{pila} = 2.25\text{m}^2 * 20\text{m} = 45\text{m}^3$$

Y la ecuación (P.3.2.2.4),

Número de la pila

$$N°_{pilas} = \frac{7000\text{m}^3}{45\text{m}^3} = 156$$

Siguiendo la secuencia de cálculos, se hace uso de la ecuación (P.3.2.2.5),

Longitud calculada

$$L_{pcalculado} = \frac{7000\text{m}^3}{(2.25\text{m}^2 * 156)} = 19.94\text{m} \approx 20\text{m}$$

Se maneja la ecuación (P.3.2.2.6) para el área inicial de descomposición y luego se aplica la ecuación (P.3.2.2.7),

Área inicial de descomposición (A_{Cides})

$$A_{Cides} = (3m) * 20m = 60m^2$$

Área total de descomposición (A_{CT}):

$$A_{CT} = 60m^2 * 156 = 9333.33m^2$$

El área superficial de espaciamiento se calcula con la ecuación (P.3.2.2.8),

Área de espaciamiento

$$A_E = (3m * (156) * 20\text{m}) = 9333.33\text{m}^2$$

El área final de descomposición se calcula con la ecuación (P.3.2.2.9),

Área final de descomposición (A_{CfT})

$$A_{CfT} = 9333.33\text{m}^2 + 9333.33\text{m}^2 = 18666.66\text{m}^2$$

Al final se realiza el cálculo del volumen total de la planta de compostaje aplicando la ecuación (P.3.2.2.10),

Volumen diario de la planta de compostaje.

$$\forall_{TPC} = \frac{100\ \left(Ton/_{día}\right)}{0.6(Ton/_{\mathrm{m}^3})} = 167\mathrm{m}^3/día$$

Con la ecuación (P.3.2.2.11) y los datos del ejercicio (Tabla 4.1), se calcula el área total de almacenamiento:

Área de total de almacenamiento

$$A_{TA} = \frac{\frac{167\mathrm{m}^3}{día}}{20\mathrm{m}} * 20\mathrm{m} * 7días = 1166.7\mathrm{m}^2$$

4.1.3. Desarrollo de cálculos para área de maduración.

Para el cálculo del área de maduración se tiene en cuenta la información presentada en la sección 3.2.3.

4.1.3.1. Ecuación para área de maduración por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Se requiere inicialmente determinar la longitud de la pila de maduración con la ecuación (M.3.2.3.1). Luego se aplica la ecuación (M.3.2.3.2) para definir el número de pilas a conformar.

Longitud total de la pila de maduración (L_m)

$$L_m = \frac{7000\mathrm{m}^3\ * \frac{1}{2}}{\frac{3\mathrm{m} * 1.5\mathrm{m}}{2}} = 1555.55\mathrm{m}$$

Número de pilas

$$N°pilas = \frac{1555.55\text{m}}{20\text{m}} = 78$$

Finalmente, se calcula el área de maduración con la ecuación (M.3.2.3.3),

Área de maduración (A_M)

$$A_M = 78 * 3m * 20m = 4766{,}66\text{m}^2$$

Para contemplar el espaciamiento éntrelas pilas se puede trabajar la ecuación (M.3.2.3.4), aunque se debe resaltar que puede variar en la medida en que se haga uso completo o no del área de maduración.

4.1.3.2. Ecuación para área de maduración por (RAS 2000, título F)

Según lo descrito en la sección 3.2.3.2., el RAS, título F no describe esta área de manera diferenciada al área de descomposición.

4.1.3.3. Ecuación para área de maduración por los autores

Aplicando la ecuación (P.3.2.3.1), y siguiendo los datos del ejercicio en la tabla 4.1, se determina el área de maduración

$$AM = \frac{100\ \left(Ton/_{día}\right) * \left(2\ semanas * 7\frac{día}{semana}\right) * 1{,}10 * (20^2 m)}{(20\text{m} + 20\text{m})} * \ 0{,}33 = 6158{,}4\text{m}^2$$

4.1.4. Desarrollo de cálculos para área de post tratamiento

Se contempla los lineamientos de la sección 3.2.4., correspondiente al área de post-tratamiento y en el cual se determinan variables de acuerdo a los equipos a utilizar para el cribado y el embalaje. Ver Tabla 3.1.

4.1.4.1. Ecuación para área de post tratamiento por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Usando la ecuación (M.3.2.4.1), se determina el área superficial de post tratamiento, seguido de este cálculo se continúa con la ecuación (M.3.2.4.2) para el cálculo del almacenamiento. Se tienen en cuenta los datos del ejercicio de la Tabla 4.1.

Área de pos tratamiento (A_{post})

$$A_{post} = \frac{7000m^3 * \frac{1}{3}}{3m} + 21m = 721m^2$$

Área de almacenamiento (A_{alm})

$$A_{alm} = \frac{7000\text{m}^3 * \frac{1}{3} * 7días}{2m} = 8166{,}7\text{m}^2$$

4.1.4.2. Ecuación para área de post tratamiento por (RAS 2000, título F)

Según se indica en la sección 3.2.4.2., en el documento del RAS, no contempla ni se propone un dimensionamiento para esta área.

4.1.4.3. Ecuación para área de post tratamiento por los autores

En la sección 3.2.4.3., se presenta la ecuación (P.3.2.4.1.) y los datos del ejercicio en la Tabla 4.1.

Post tratamiento (A_{post})

$$A_{post} = \left(\frac{7000\text{m}^3 * \frac{1}{3}}{3m}\right) + 21m^2 + 1m^2 = 722\text{m}^2$$

4.1.5 Desarrollo de cálculos para área de oficinas y servicios

El área de oficinas y servicios, que es contemplado en la sección 3.2.5., presenta una similitud entre sí, ya que las ecuaciones indican que está área es considerada tres veces mayor que el área de almacenamiento.

4.1.5.1. Ecuación para área de área de oficinas y servicios por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Según la sección 3.2.5.1., el documento (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012), no presenta una ecuación que lleve al dimensionamiento de esta área.

4.1.5.2. Ecuación para área de área de oficinas y servicios por (RAS 2000, título F)

El área de las oficinas y servicios se calcula con la ecuación (R.3.2.5.1)

Área de oficinas y servicios (A_{OS})

$$\text{A}_{\text{Os}} = 3 * 1250\text{m}^2 = 3750\text{m}^2$$

4.1.5.3. Ecuación para área de área de oficinas y servicios por los autores

Con la ecuación (P.3.2.5.1), está basada en lo que indica el RAS, es decir que el área de oficina debe ser tres veces mayor que el área de almacenamiento

Área de oficinas y servicios (A_{OS})

$$\text{A}_{\text{OS}} = 3 * 1166{,}7 = 3500\text{m}^2$$

4.1.6. Desarrollo de cálculos para Área de recepción de lixiviados (Tanque)

Contemplando lo descrito en la sección 3.2.6., para el área de lixiviados se manejan las siguientes secuencias de cálculo.

4.1.6.1. Ecuación para el volumen de lixiviados (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Se presenta la ecuación (M.3.2.6.1), para determinar el volumen de lixiviado generado durante el proceso de descomposición que adicionalmente cuenta con cobertura (techo).

Volumen de lixiviados en área de descomposición (V_{lixd})

$$V_{lixd} = 100\ \left({}^{Ton}/_{día}\right) * (0{,}05)\left(\frac{7\ dias}{1\ semanas}\right) * 8semanas * 1{,}5 = 420m^3$$

$$Vs = (S1 + S2 + S3 + \cdots) * PP * \frac{FS}{1000} = 0$$

$$\mathrm{V}_{lix} = 315\mathrm{m}^3 + 0$$

4.1.6.2. Ecuación para área de recepción de lixiviados (Tanque) por (RAS 2000, título F)

Según la sección 3.2.6.2, el documento del RAS, no contemplo ecuaciones para determinar esta área.

4.1.6.3. Ecuación para área de recepción de lixiviados (Tanque) por los autores

Este cálculo sigue la ecuación (P.3.2.6.1). y los datos del ejercicio de la Tabla 4.1.

Volumen de lixiviados (∀id)

$$\forall \mathrm{id} = \left(100\frac{\left({}^{Ton}/_{día}\right)}{7}\right) * (0{,}05) * 1.5 * (60\mathrm{dias}) = 64.2\mathrm{m}^3$$

Teniendo en cuenta que el volumen de lixiviados es alto, se define la instalación de dos tanques comerciales, con una capacidad de almacenamiento de 35 m^3/cada uno, donde se identifica

según catálogos (Rotoplast, 2016) un ancho de 2.3m y un largo de 8.3m, para cada tanque. El área del tanque se determina con el uso de la ecuación (P.3.2.6.2)

Área de un solo tanque de almacenamiento para lixiviados (A_{tanqL}), sería:

$$A_{tanqL} = 8.3m * 2.3m = 19.09m^2$$

Y de ser los dos tanques, se sumaría el área del siguiente tanque

$$A_{tanqL} = 19.09m^2 * 2 = 38.18m^2$$

4.1.7. Desarrollo de cálculos para Área total de la planta de compostaje

Finalmente, en la sección 3.2.7., se presenta el cálculo del área total de la planta de compostaje, que no es más que la sumatoria de todas las áreas anteriormente calculadas.

4.1.7.1. Ecuación para área total de la planta por (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012)

Esta metodología no propone un cálculo, pero se define determina con la sumatoria de la ecuación (M.3.2.7.1)

Cálculo del total de áreas superficiales determinadas por el método

$$A_{Total} = 62.5m^2 + 9336m^2 + 4727m^2 + 721m^2 + 8166,7m^2 = 22947,7m^2$$

$$A_{Total} = 2,3\ ha$$

4.1.7.2. Ecuación área total de la planta por (RAS 2000, título F)

El área total se calcula siguiendo la ecuación (R.3.2.7.1),

Área total de la planta de compostaje (A_{total})

$$A_{Total} = 13333,33m^2 + 13111m^2 + 1250m^2 + 3750m^2 = 31444m^2$$

$$A_{Total} = 3,1\ ha$$

4.1.7.3. Ecuación para área total de la planta por los autores

La determinación del área total de la planta se maneja siguiendo la ecuación (P.3.2.7.1),

Área total de la planta de compostaje (A_{TPC})

$$A_{TPC} = 188m^2 + 9333m^2 + 9333m^2 + 1166.6m^2 + 6158m^2 + 722m^2 + 3500m^2 + 38m^2 = 30439.4m^2$$

$$A_{Total} = 3{,}0\ ha$$

4.2 Comparación de métodos

A continuación, en la Tabla 4.2., se presentan la recopilación de los resultados obtenidos para realizar una comparación de cada método respecto a los valores obtenidos.

Tabla 4.2. Resultados de los métodos

Areas	***RAS (100 Ton/día)***		***MMAyA (100 Ton/día)***		***Propuesta (100 Ton/día)***	
Área cámara de recepción y almacenamiento	*No maneja*		*62,50*	*m^2*	*188*	*m^2*
Área total de compostaje (ACT)	*13333*	*m^2*	*9333.33*	*m^2*	*9333.33*	*m^2*
Area de espaciamiento (AE)	*13111*	*m^2*	*No maneja*	*m^2*	*9333.33*	*m^2*
Área total de almacenamiento (ATA)	*1250*	*m^2*	*8166.7*	*m^2*	*1166.7*	*m^2*
Área de maduración (AM)	*No maneja*		*4726.7*	*m^2*	*6158*	*m^2*
Área de post tratamiento (Apost)	*No maneja*		*721*	*m^2*	*722*	*m^2*
Área de oficinas y servicios (Aos)	*3750*	*m^2*	*No maneja*	*m^2*	*3500*	*m^2*
Área de almacenamiento lixiviados (Alix)	*No maneja*		*No maneja*		*38.1*	*m^2*
Área total de la planta de compostaje	*31444*	*m^2*	*22947.7*	*m^2*	*30439*	*m^2*
	3.1	*ha*	*2.3*	*ha*	*3.04*	*ha*

FUENTE: Elaborado por los autores

4.3. Comprobación de la metodología propuesta por los autores

Este numeral presenta mediante el método propuesto por los autores de este documento, como varía el dimensionamiento de una planta teniendo diferentes cantidades de residuos sólidos orgánicos (10Ton/día, 50 Ton/día, 100 Ton/día, 150 Ton/día).

En la Tabla 4.3 se muestran los resultados obtenidos para las diferentes cantidades que se contemplaron anteriormente.

Tabla 4.3. Resultados de dimensionamiento para 10Ton, 50Ton, 100Ton y 150 Ton

Areas	***10 Ton/día***		***50 Ton/día***		***100 Ton/día***		***150 Ton/día***	
Cámara de recepción y almacenamiento (AC)	*18,750*	*m2*	*93,750*	*m2*	*187,50*	*m2*	*281,3*	*m2*
Área total de compostaje (ACT)	*933*	*m2*	*4667*	*m2*	*9333*	*m2*	*14000*	*m2*
Área de espaciamiento (AE)	*933*	*m2*	*4667*	*m2*	*9333*	*m2*	*14000*	*m2*
Área transversal de almacenamiento (Aalm)	*117*	*m2*	*583*	*m2*	*1167*	*m2*	*1750*	*m2*
Área de maduración (AM)	*670*	*m2*	*3109,20*	*m2*	*6158*	*m2*	*9208*	*m2*
Área de post tratamiento (Apost)	*92*	*m2*	*372*	*m2*	*722*	*m2*	*1072*	*m2*
Área de oficinas y servicios (Aos)	*350*	*m2*	*1750*	*m2*	*3500*	*m2*	*5250*	*m2*
Área de almacenamiento lixiviados (Alix)	*2*	*m2*	*19*	*m2*	*38*	*m2*	*54*	*m2*
Área total de la planta de compostaje	*3115,9*	*m2*	*15260,6*	*m2*	*30439,3*	*m2*	*45615,9*	*m2*
	0,311	*ha*	*1,52*	*ha*	*3,043*	*ha*	*4,56*	*ha*

FUENTE: Elaborado por los autores

4.4 Análisis y Discusiones

Teniendo en cuenta los resultados de la Tabla 4.2., se presenta que el método del (RAS, título F), resulta ser el área calculada de mayor tamaño, teniendo ausencia en determinar áreas para la

recepción, la maduración, el post tratamiento y el almacenamiento de lixiviados, siendo así un método sobre dimensionado. Por lo que se sugiere que el área de descomposición sea redimensionada y se adicione un cálculo para determinar el área de maduración a fin de manejarlo como un proceso diferente. Por otra parte, el método de (MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, 2012), resulta ser el área calculada de menor tamaño y presenta ausencia de ecuaciones que determinen áreas de espaciamiento, oficina y servicios, almacenamiento de lixiviados. Por lo que se sugiere complementar las ecuaciones, ya que por un lado el espaciamiento debe ser manejado dentro del área de descomposición y maduración en la medida en que sea requerido un espacio entre las pilas conformadas, y por el otro lado se requiere un área superficial destinado a oficinas donde se lleve a cabo la administración de la planta. Finalmente, el método propuesto por los autores de este documento, resulta ser el área calculada de tamaño intermedio, donde se manejaron ecuaciones que permitían determinar las áreas requeridas para conformar una planta de compostaje. La razón por la cual se manejan ecuaciones para determinar todas las áreas no tiene otro fin más que el de dar gran importancia en el funcionamiento de todos los procesos del compostaje en áreas diferenciadas, lo que permitirá la obtención de productos con calidad y garantía.

Los valores contenidos en la tabla 4.3., muestran que la cámara de recepción, el área total de compostaje, el área de espaciamiento y el área de maduración, aumentan gradualmente a medida que las cantidades de residuos orgánicos incrementan, lo que favorece en términos de diseño la recepción y el tratamiento. Adicionalmente, se puede decir que el área de oficinas y servicios aumentan aproximadamente el doble a medida que aumentan las cantidades de residuos que ingresan lo que favorece la incorporación de personal y los trabajos administrativos.

5. PERCEPCIONES FINALES

A fin de presentar el diseño total de la planta de compostaje con capacidad de tratamiento de 100Ton/día se revisan elementos de complemento como son los equipos y herramientas presentes en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Equipos y herramientas de una planta de compostaje

Equipo/Herramienta	Dimensiones	Fuente
Volteadora Aireadora para compost (PT120)	Peso Total:2363Kg Altura Máx. 4.40m Capacidad Volteo: 1000m^3/h Tamaño de la pila: 3m ancho*1.4m alto	(IBICOL Ltda. & MIDWEST, 2018)
Vehículo compactador	Altura Máx. 3.8m Longitud total: 4.7m Anchura del vehículo:2.6m	(McNeilus, 2017)
Bodcat- mini cargador	Altura Máx. 4.06m Longitud sin cucharon: 2.9m Anchura del vehículo:1.83m	(CAT, 2019)
Báscula para pesaje de un solo eje	Longitud: 18-30m Ancho: 3-3.5m Unidades de plataforma: 1	(METTLER TOLEDO, 2013)
Banda transportadora, Tornillo sin fin y Triturador horizontal	Capacidad: 2Ton/h Motor: 3Hp; 2Hp; 15Hp Longitud: 6-10m Ancho: 0.8m Altura: 1.5m	(Empresas Públicas de Cundinamarca-EPC, 2011)
Criba o zanja metálica	Motor: 10Hp Longitud: 2m Ancho: 1.5m Altura: 2.20m	

Las dimensiones de los equipos y herramientas anteriormente presentadas, permiten dimensionar mejor como se observa en el plano en planta (Ver Anexo 3) en el cual se indica la ubicación y dimensión de las áreas, vías de acceso, entre otros elementos que permitirán un óptimo

proceso. Es de resaltar que el ingreso a la planta contara con báscula de vehículo para llevar un control de la cantidad de material de entrada por los carros compactadores, 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. Nota: Las pilas de compostaje se ubicarán de menor a mayor desde el punto más cercano hacia el más distante a la cámara, siguiendo la pendiente del terreno a fin de favorecer la evacuación de los lixiviados a través de la tubería contemplada en PVC por efecto del escurrimiento debido a la gravedad. 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 pasaría al área de maduración y su traslado seria 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 alcanzo 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; el material de rechazo en este punto puede ser incorporado nuevamente a las pilas iniciales del área de descomposición de tal forma que favorezca la composición de las pilas en ese proceso. Finalmente, al momento de contar con un producto terminado se dispondrán en el área de almacenamiento contemplado para tres meses, de tal forma que garantice sostenibilidad del producto ante un mercado. 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; está 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.

Dando continuidad al ejemplo de 100Ton/día, y teniendo en cuenta la información de la sección 3.3., se calculan los valores para las ecuaciones de Hazen –Williams y Manning, obteniendo los resultados de la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. *Cálculos resultantes de las ecuaciones Hazen-Williams y Manning*

Hazen-williams		
Q	1,25	m3/día
C	150	
S	0,02	no porcental
Dcalculado	0,59	pulgadas
Dcalculado	0,015	m
Dcomercial	0,025	m
Dcomercial	1	pulgadas
Qcalculado	4,849	m3/día
perdidas (J)	0,001632247	

manning		
n	0,011	
S	0,02	no porcental
Q	1,25	m3/día
Dcalculado	0,642600573	pulgadas
Dcalculado	0,016322055	m
Dcomercial	0,025	m
Dcomercial	1	pulgadas

Adicionalmente se procede a calcular la potencia de la bomba comercial requerida para evacuar los lixiviados contenidos en el tanque de almacenamiento subterráneo.

Tabla 5.3. Cálculos resultantes para la potencia de la bomba

4. POTENCIA DE LA BOMBA (HP)			
P (HP)	4,049		
FACTOR DE SEGURIDAD	1,12		
TOTAL	4,53	COMERCIAL P(HP)	5,5

6. CONCLUSIONES

*A partir de la información consultada, analizada y evaluada se concluye que las tres metodologías pueden ser desarrolladas para dimensionar plantas de compostaje con capacidad de tratamiento de 100 Ton/día.

*Se resalta que el caso particular del RAS, debido a la carencia de cálculos para determinar algunas áreas da cabida a la inexactitud en un área total por lo que sobre dimensiona la planta; mientras que para el método de MMAyA, VAPSB, & DGGIRS, la misma carencia de ecuaciones permite que el área total sea más pequeña y es posible que no logre cumplir a cabalidad los procesos de compostaje dentro de la planta. Por tanto, se considera que la propuesta al tener una secuencia de cálculo que contempla el diseño de cada área tiene una mayor posibilidad de acercamiento a la realidad respecto al dimensionamiento de las plantas de compostaje.

*La metodología que a partir de este proyecto se estructuró, contiene instalaciones relevantes dentro de una planta de compostaje como son la cámara de recepción, un área de descomposición, un área de maduración, un área de post-tratamiento, y un área de almacenamiento para lixiviados, lo que permite servir de complemento para mejorar el sistema de recolección de lixiviados a fin de cumplir con la norma (Decreto 1077/15, Decreto 596/16, Decreto 0330/17; entre otras) y servir de complemento a los lineamientos técnicos definidos por el RAS, Titulo F.

7. RECOMENDACIONES

*Las áreas de descomposición y maduración deben contemplarse de manera individual, ya que el área de maduración requiere de espacio suficiente para su adecuado funcionamiento durante el tiempo que dicho proceso así lo requiera.

*Se recomienda calcular individualmente el área de espaciamiento que debe estar contenido dentro del área de descomposición y maduración.

*Se sugiere que el área total cuente con una cubierta y suelo firme a fin de evitar daños por precipitaciones tanto en los procesos de compostaje como a la maquinaria requerida al interior de la planta.

*El área de descomposición y maduración deben contar con una pendiente baja relativa al 2%, a fin de favorecer el escurrimiento de los lixiviados generados por los residuos orgánicos durante el paso por estos dos procesos.

*El área de almacenamiento debe contar con una capacidad de almacenamiento mínima de 2 meses, lo que garantiza una permanencia en el mercado comercial.

8. BIBLIOGRAFÍA

Acosta Carrión, W., & Peralta Franco, M. I. (2015). Elaboración de Abonos Orgánicos a Partir del Compostaje de Residuos Sólidos Agrícolas en el municipio de Fusagasugá. *Elaboración de Abonos Orgánicos a Partir del Compostaje de Residuos Sólidos Agrícolas en el municipio de Fusagasugá*. Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia: Universidad de Cundinamarca.

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.

Alegre, M., Cantanhede, A., & Sandoval, L. (2017). *Guía para el Manejo de Residuos Sólidos en Ciudades Pequeñas y Zonas Rurales* (Vol. 1). Santiago de Chile, Chile: CEPIS /OPS.

ARL SURA. (2019). *Gestión SST para trabajadores.* Medellin: ARL SURA.

Banco de la República de Colombia. (2017). *Serie historica desde 1985.* Bogotá D.C.: Banco de la República de Colombia.

CAT. (3 de marzo de 2019). *Catálogo Minicargador-CAT.* Recuperado el 03 de marzo de 2019, de Catálogo Minicargador-CAT: https://www.slideshare.net/oro5cocatt/catalogo-minicargador-de-ruedas-256b-262b-268b-espaol-wwworoscocattcom

CEPIS/OPS. (1996). Análisis Sectorial de Residuos Sólidos en Colombia. En CEPIS, *Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud* (pág. 100). Lima: CEPIS.

DANE. (2017). *Boletin Técnico Cuenta ambiental y económica de flujo de materiales R.S. 2012-2015p.* Bogotá D.C.: DANE.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (27 de Noviembre de 2015). CUENTA DE RESIDUOS 2005 – 2013 provisional Oferta y utilización de residuos sólidos. *Boletin Técnico-DANE, 2*, 15.

EAWAG/Sandec, Rothenberger. (2006). *Decentralised composting for cities of Low - and middle- Income Countries. A Users´Manual* (Vol. 1). Duebendorf, Suiza: La preocupación de residuos.

Empresas Públicas de Cundinamarca-EPC. (2011). *Informe de Residuos Sólidos en Cundinamarca.* Bogotá D.C.: Gobernación de Cundinamarca.

FAO. (2013). *Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina* (Vol. 1). Santiago de Chile: FAO.

Garrido Ibáñez, A. M. (2015). ingenieria básica de una planta de compostaje en túneles. En A. M. Garrido Ibánez, *Ingenieria básica de una planta de compostaje en túneles* (pág. 121). Sevilla, España: Universidad de Sevilla.

IBICOL Ltda., & MIDWEST, B.-S. (02 de enero de 2018). *IBICOL-Insumos Biologicos de Colombia.* Recuperado el 03 de marzo de 2019, de IBICOL-Insumos Biologicos de Colombia: https://www.ibicol.com.co/recursos/pdf/volteadora_curvas_pt_120.pdf

ICA. (2015). *Cartilla práctica para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológica.* Bogotá D.C.: ICA.

ICONTEC. (26 de 04 de 2006). Guía para el Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos no Peligrosos. *Guía Técnica Colombiana GTC 53-7*, 30. Bogotá D.C., Bogotá D.C., Colombia: ICONTEC.

McNeilus. (2017). *Catálogo de cargador trasero Metro-Pak*. Recuperado el 19 de 02 de 2019, de Catálogo de cargador trasero Metro-Pak: https://www.casainglesa.co/wp-content/uploads/2018/09/Intl-Sales-Metro-Pak-Spanish.pdf

METTLER TOLEDO. (2 de Enero de 2013). *Guía de básculas para camiones.* Recuperado el 03 de marzo de 2019, de Guía de básculas para camiones: file:///C:/Users/USER/Downloads/Gu%C3%ADa%20de%20b%C3%A1sculas%20para%20camiones.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (17 de octubre de 2016). En cuenta regresiva para limpiar Colombia. *Noticias-minambiente*, pág. 1.

Ministerio del Medio Ambiente. (1998). *Política para la Gestión Integral de Residuos.* Santafé de Bogotá: Ministerio del Medio Ambiente.

MMAyA, VAPSB, & DGGIRS. (2012). *Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, mediante Compostaje y Lombricultura* (Vol. 1). La Paz, Bolivia.

MMAyA, VAPSB, & DGGIRS. (2012). *Guía para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, mediante Compostaje y Lombricultura* (Vol. 1). La Paz, Bolibia.

Naciones Unidas. (16 de Junio de 1972). *DECLARACIÓN DE ESTOCOLMO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE HUMANO.* Recuperado el 15 de Enero de 2019, de DECLARACIÓN DE ESTOCOLMO SOBRE EL MEDIO AMBIENTE HUMANO: http://www.ordenjuridico.gob.mx/TratInt/Derechos%20Humanos/INST%2005.pdf

ONU. (Septiembre de 2012). *DECLARACIÓN DE RÍO DE JANEIRO.* Recuperado el 15 de Enero de 2019, de DECLARACIÓN DE RÍO DE JANEIRO: https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/declaracic3b3n-de-rio-1992.pdf

Oviedo Ocaña, E. R., Marmolejo Rebellon, L. F., & Torres Lozada, P. (septiembre de 2016). Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia. *Ingeniería Investigación y Tecnología, 18*(1), 12.

Reportero industrial. (27 de Agosto de 2012). *Reportero Indutrial*. Recuperado el 28 de Febrero de 2019, de Reportero Indutrial: http://www.reporteroindustrial.com/temas/Guantes-en-carnaza-para-uso-industrial+10089375

República de Colombia. (1991). *Constitución Política de Colombia.* Bogotá: República de Colombia.

Röben, E. (2002). *Manual de compostaje para municipios* (Vol. 1). Loja, Ecuador: DED/Ilustre Municipalidad de Loja.

Rodríguez, J. P. (02 de Diciembre de 2018). Criterios Plantas de compostaje, tomado del RAS 2010, Resolución 0330/17. (W. Avila, & P. Moyano, Entrevistadores)

Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios.* Santiago de Chile: Naciones Unidas-CEPAL.

Rondon Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., & Gálvez, A. (2016). *Guía general para lagestión de residuos sólidos domiciliarios* (Vol. 1). Santiago, Chile: Naciones Unidas/CEPAL.

Rotoplast. (02 de enero de 2016). *Rotoplast. Linea de tanques*. Recuperado el 29 de 03 de 2019, de Rotoplast. Linea de tanques: http://www.rotoplast.com.co/tanques-horizontales/

SAMANCTA. (12 de 10 de 2012). *Comisión Europea Fiscalidad y Unión Aduanera*. Recuperado el 08 de 03 de 2019, de Comisión Europea Fiscalidad y Unión Aduanera:

https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/ES/Safety/FootProtection_ES.htm

Sánchez Díaz, I. (2008). Estudio Técnico y Económico de una Planta de Tratamiento de Residuos Vegetales en GETAFE. Getafe, España.

SEMARNAT/INE/GTZ. (2006). *Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos* (Vol. 1). Ciudad de México, México: SEMARNAT.

Superservicios. (2017). *Disposición final de Residuos Sólidos. Informe Nacional 2016.* Bogotá D.C.: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Tecniagricola. (16 de Abril de 2013). *www.tecnicoagricola.es*. Recuperado el 17 de Noviembre de 2018, de www.tecnicoagricola.es: http://www.tecnicoagricola.es/abonos-organicos-y-enmiendas-organicas/

UAESP. (2011). *Caracterización de Residuos Sólidos Residenciales Generados en la Cisudad de Bogotá D.C.* Bogotá D.C.: UAESP.

Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2012). Título F- Sistemas de Aseo Urbano. En *Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico-RAS* (pág. 264). Bogotá, Colombia: Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio.

ANEXO 1 Diagrama de Procesos en una Planta de Compostaje.

ANEXO 2. Parámetros de Seguimiento en Compostaje

ANEXO 3. Elementos de Protección Personal para un Proceso de Compostaje

ANEXO 4. Plano de una Planta de Compostaje para 100 Ton/día