

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Propuesta y aplicación de una metodología holística para la  
evaluación, construcción y operación de sistemas de compostaje.**

**Mauricio Alejandro Narváez Salazar**

**Ingeniería Química**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
**INGENIERO QUÍMICO**

Quito, 27 de julio de 2021

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Propuesta y aplicación de una metodología holística para la  
evaluación, construcción y operación de sistemas de compostaje.**

**Mauricio Alejandro Narváez Salazar**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Juan Diego Fonseca, PhD.**

Quito, 27 de julio de 2021

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Mauricio Alejandro Narváez Salazar

Código: 00107071

Cédula de identidad: 171606420-7

Lugar y fecha: Quito, 27 de julio de 2021

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo proponer una metodología integral de fácil uso para la evaluación del potencial de implementación, construcción, y operación de sistemas de compostaje. Para esto se ha definido una metodología para la evaluación del potencial de los distintos métodos de compostaje y se ha realizado un árbol de toma de decisiones para seleccionar el sistema adecuado de acuerdo con los distintos parámetros que afectan su elaboración. Además, se ha establecido una metodología para el diseño, construcción y operación para un sistema de compostaje regular el cual se lo pondrá a prueba en un caso de estudio en el proyecto inmobiliario Costa Jama. Este proyecto cuenta con 139 personas actualmente generando una cantidad aproximada de 2000 kg mensuales de desechos orgánicos los cuales pueden ser tratados por medio de un sistema de compostaje regular para la producción de abono natural de alta calidad. Considerando la cantidad de desechos producidos por las personas diariamente en zonas urbanas se espera que este proyecto sirva como base para nuevas propuestas donde se pueda realizar un análisis más detallado y una metodología práctica para poder establecer normativas tanto dentro como fuera del país.

**Palabras clave:** sistema de compostaje, compost, desechos orgánicos, relación C:N, abono natural, Costa Jama.

## ABSTRACT

The objective of this project is to propose a comprehensive, user-friendly methodology for the evaluation of the potential for implementation, construction, and operation of composting systems. To accomplish this, a methodology has been defined for the evaluation of the potential of the different composting methods and a decision-making tree has been made to select the appropriate system according to the different parameters that affect its elaboration. In addition, a methodology has been established for the design, construction, and operation of a regular composting system which will be put to the test in a case study in the Costa Jama real estate project. This project has 139 people currently generating an approximate amount of 2000 kg of organic waste per month which can be treated through a regular composting system to produce high-quality natural compost. Considering the amount of waste produced by people daily in urban areas, it is expected that this project will serve as a basis for new proposals where a more detailed analysis and a practical methodology can be carried out in order to establish regulations both inside and outside the country.

**Key words:** composting system, compost, organic waste, C:N ratio, natural fertilizer, Costa Jama.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
1.1	Antecedentes.....	11
1.2	Justificación.....	12
1.3	Planteamiento del proyecto.....	13
1.4	Resultados esperados.....	14
<b>2</b>	<b>BASES DEL DISEÑO.....</b>	<b>15</b>
2.1	Descripción de producto.....	15
2.2	Descripción de materias primas .....	16
2.2.1	Relación C:N de distintos desechos.....	16
2.2.2	Contenido de humedad en materias primas .....	17
2.2.3	Materias primas no deseables.....	17
2.2.4	Plásticos biodegradables .....	18
2.3	Limitaciones y normas .....	18
2.3.1	Normativa para plásticos biodegradables .....	19
2.4	Tipos de sistemas de compostaje .....	20
2.4.1	Compostaje regular.....	20
2.4.2	Vermicompost.....	20
2.4.3	Bokashi compost .....	21
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE COMPOSTAJE.....</b>	<b>22</b>
3.1	Introducción.....	22
3.2	Parámetros involucrados durante el proceso de compostaje.....	22
3.2.1	Rangos recomendados y variaciones permitidas de cada parámetro .....	24
3.3	Parámetros principales de estudio.....	25
3.3.1	Comparación entre parámetros.....	25
3.3.2	Definición de la relación C:N en la alimentación.....	26
3.3.3	Humedad del sistema de compostaje.....	27
3.3.4	Relación de espacio disponible y requerido.....	28
3.3.5	Tamaño de partícula de la alimentación a un proceso de compostaje regular .....	28
3.3.6	Personal necesario para la operación de un sistema de compostaje regular .....	29
3.4	Influencias externas y otros parámetros .....	30
3.5	Utilizar las mediciones para concluir sobre la recomendación del sistema de compostaje..	31
3.6	Conclusión.....	32
<b>4</b>	<b>METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE REGULAR .....</b>	<b>33</b>
4.1	Introducción.....	33

4.1.1	Definición de sectores .....	33
4.1.2	Funcionamiento de una compostera .....	34
4.2	Metodología para el diseño de un sistema de compostaje regular .....	35
4.2.1	Definición de caudales.....	35
4.2.2	Tiempo de residencia en cada etapa del proceso de compostaje.....	36
4.2.3	Capacidad de los equipos.....	36
4.2.4	Materiales para sistemas abiertos y cerrados .....	37
4.3	Metodología para la construcción e implementación para un sistema de compostaje regular 38	
4.3.1	Sistemas abiertos .....	38
4.3.2	Sistemas cerrados .....	39
4.4	Metodología para la operación de sistema de compostaje regular .....	41
4.4.1	Etapa de preparación de alimentación .....	41
4.4.2	Etapa de descomposición de la mezcla.....	41
4.4.3	Etapa de maduración del compost obtenido.....	42
4.4.4	Material de apoyo para operadores.....	43
4.4.5	Costos de elaboración y operación .....	44
4.4.6	Costos variables de operación.....	45
4.4.7	Costos fijos de operación.....	45
4.5	Conclusión.....	45
<b>5</b>	<b>APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS EN UN CASO DE ESTUDIO .....</b>	<b>46</b>
5.1	Introducción.....	46
5.2	Evaluación del potencial de implementación de un sistema de compostaje.....	47
5.3	Operación y mantenimiento del sistema de compostaje regular .....	49
5.3.1	Selección de materiales y ubicación .....	49
5.3.2	Costos de fabricación y operación.....	51
5.4	Conclusión.....	51
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>55</b>
<b>9</b>	<b>Dedicatoria .....</b>	<b>57</b>

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Comparación tipos de compostaje [10] .....	21
Tabla 2. Rangos de parámetros para sistemas de compostaje [2].....	24
Tabla 3. Checklist para sistema de compostaje. ....	44
Tabla 4. Costos de materiales sistemas de compostaje. ....	44
Tabla 5. Producción promedio de desechos Costa Jama.....	47
Tabla A 1. Relación C:N .....	55
Tabla A 2. Condiciones climáticas de Jama.....	56
Tabla A 3. Cotización de materiales para zona de empaque de compost .....	57

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de toma de decisiones para sistemas de compostaje .....	32
Figura 2. Compostera giratoria casera .....	37
Figura 3. Dimensionamiento de pila de compost .....	39
Figura 4 Recipiente cerrado de compostaje continuo [14].....	40
Figura 5. Rangos para relación C:N.....	41
Figura 6. Compost maduro [15].....	43
Figura 7. Dimensionamiento pila de compostaje.....	49
Figura 8. Plano del proyecto Costa Jama para la implementación del sistema de compostaje	50
Figura B 1. Cotización de materiales para sistema de compostaje regular .....	57

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Antecedentes

La incorporación de métodos para tratamiento de desechos ha ido creciendo con el paso de los años, esto, debido a que las personas actualmente tienen claro que la contaminación ambiental no es algo que se pueda ignorar por más tiempo. El compostaje, siendo un sistema sustentable de tratamiento de desechos, ha ido popularizándose en varias regiones. Por ejemplo, en Estados Unidos se ha visto un crecimiento de sistemas de compostaje para tratamiento de material orgánico de un 65% desde el año 2014 al 2017 [1], con un plan de expansión para el año 2020. En el caso de Nueva York, debido a la pandemia, se paralizaron las jornadas de recolección de desechos orgánicos generando campañas de disminución de desperdicios de comida, al igual, que el impulso en el uso de sistemas de compostaje tanto fuera y dentro del hogar [2]. Además, se ha entregado de forma gratuita compost a cada habitante, gracias a la recolección realizada el año pasado [3]. Es evidente, que el manejo de desechos orgánicos por medio de compostaje ha ido creciendo conforme la población lo hace, causando así, que los sistemas de compostaje se vuelvan cada vez más populares entre las personas.

El planeta ha ido evolucionando y las personas buscan tener mayor crecimiento económico; por lo tanto, los asentamientos poblaciones se centran en zonas urbanas y las zonas rurales han quedado únicamente pobladas por la producción agrícola, ganadera e industrias de alto impacto. Según la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura) el 70% del desperdicio mundial proviene de los sectores más poblados y casi el 80% de consumo de energía mundial se genera en estos [1]. Es por eso, que la organización promueve la agricultura urbana en conjunto con la creación de sistemas de compostaje para evitar que los desechos terminen en vertederos generando más contaminación por CO<sub>2</sub>.

A pesar del apoyo de varias organizaciones que se preocupan por el cuidado del medio ambiente y promueven campañas de concientización a nivel mundial en temas de compostaje;

siguen siendo muy pocos los organismos que dan a conocer los detalles que involucran todo el proceso de transformación de la materia orgánica. La falta de guías y de regulaciones dan como resultado que grandes industrias no incluyan dentro de sus reglamentos, procesos y requerimientos internos un sistema propio de compostaje. Además, las normativas para la elaboración de estos sistemas no están presentes de forma regular en muchos países, haciendo que la construcción de estos no sea sencilla al momento de considerar este aspecto.

Cuando se desea realizar un sistema de compostaje se pueden utilizar guías para su elaboración y funcionamiento, pero, actualmente no hay una guía donde se pueda evaluar su aplicabilidad en distintas zonas o considerando los parámetros que influyen en su construcción. También se debe considerar que los lineamientos presentados no consideran los distintos cambios que se pueden presentar de acuerdo con el sector donde se encuentre el sistema por lo que durante el proceso se pueden presentar fallas si no se maneja de forma adecuada los cambios para cada parámetro.

## **1.2 Justificación**

La necesidad de una guía para la selección de métodos de compostaje se hace mas notoria en la actualidad debido a la popularidad que el manejo de desechos ha ido ganando. Es por esto que, presentando una metodología para la evaluación de estos sistemas se puede mejorar la forma en que se realizan estos proyectos y hacer que el rendimiento de estos mejore. A continuación, se presenta una guía donde se propone y se aplica una metodología para la evaluación, construcción y operación de sistemas de compostaje. Donde, se pondrá a prueba con un caso de estudio en el proyecto inmobiliario Costa Jama en la provincia de Manabí.

El 16 de abril del 2016 se produjo un terremoto de 7.8 grados de magnitud en la provincia de Manabí dejando 602 víctimas y daños en los diferentes pueblos de la zona; la

ciudad más afectada fue Pedernales donde, se presentaron daños en los sistemas de agua potable al igual que varios edificios y casas destruidos [5]. Jama al ser un pueblo vecino fue afectado de la misma manera, causando daños en viviendas, edificios y en su sistema sanitario generando pérdidas económicas para la zona. De acuerdo con el plan de gobierno para la reconstrucción de Manabí se han realizado obras en el pueblo, generando nuevamente vivienda y alcantarillado. Tomando en cuenta los cambios realizados en la zona se consideró Jama como un lugar adecuado para realizar el caso de estudio donde se implementará un sistema de compostaje regular dentro del proyecto Costa Jama de forma que el compost generado pueda ser donado a las zonas cercanas para su uso en campos de cultivos.

### **1.3 Planteamiento del proyecto**

En base a los antecedentes previamente, se ha realizado esta propuesta utilizando como objetivo general, proponer una metodología integral de fácil uso para la evaluación del potencial de implementación, construcción, y operación de sistemas de compostaje. Con el fin de cumplir este objetivo se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Establecer una metodología para la evaluación del potencial de implementación de sistemas de compostaje en base a parámetros clave.
2. Establecer una metodología para el diseño, construcción y operación de sistemas de compostaje regular.
3. Comprobar metodología propuesta por medio de un caso de estudio en un proyecto de construcción en Costa Jama, Ecuador.

#### **1.4 Resultados esperados**

Considerando un buen manejo de la guía generada se espera que la disponibilidad para su uso sea de fácil acceso de manera que se pueda realizar en cualquier zona donde se requiera. De igual manera, que la implementación de un sistema de compostaje pueda ser fácilmente diseñado y construido logrando así que cualquier persona pueda hacerlo tanto en una zona urbana como en el campo. Finalmente, lograr popularizar los distintos métodos de compostaje como una forma más adecuada para el manejo de desechos orgánicos y utilizar el compost producido como un abono natural y económico.

Con el fin de implementar el sistema de compostaje en un caso de estudio, se espera que la implementación de la metodología en el proyecto Costa Jama sea fácilmente diseñado y construido para mejorar el tratamiento de desechos dentro de la zona y que el compost generado se pueda utilizar dentro del mismo al igual que donado a los pueblos vecinos con el fin de brindar ayuda a las personas que fueron afectadas durante el terremoto y que cuenten con un aporte adicional para mejorar la calidad de sus cultivos. Finalmente, se espera generar un impacto en la imagen del proyecto al presentarse como un sitio autosustentable donde los desechos producidos durante la construcción y por los residentes son reutilizados como un medio de producción de abono orgánico, den paso a un precedente para que otras empresas y obras puedan considerar la implementación de sistemas iguales o similares dentro de los mismos.

## 2. BASES DEL DISEÑO

### 2.1 Descripción de producto

El compost es el resultado de un proceso de humidificación de la materia orgánica bajo condiciones controladas, y se utiliza para mejorar la estructura del suelo y reducir la erosión, así como mejorar la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas [1]. El compost presenta una menor cantidad de C y N que las materias primas a partir de las cuales se obtiene, pero en una forma más estable [2]. La composición del compost puede variar dependiendo de la cantidad y composición de la materia prima utilizada; en un caso específico que demuestra valores típicos, se midió que la materia orgánica del 65-70% en relación a su concentración total en agua se obtuvo la siguiente composición química: humedad 40-45%, nitrógeno ( $N_2$ ) 1.5-2%, fósforo ( $P_2O_5$ ) 2-2.5%, potasio ( $K_2O$ ) 1-1.5%, relación C:N 10-11, ácidos húmicos 2.5-3%, pH 6.8-7.2, carbono orgánico 14-30%, calcio 2-8%, magnesio 1-2.5%, sodio 0.02%, cobre 0.05%, hierro 0.02% y manganeso 0.06%. El compost puede mejorar la estructura del suelo, dando soltura a suelos compactos y ligando suelos arenosos, aumenta la porosidad y reduce la erosión del suelo, e incrementa la capacidad de retención de humedad del mismo [3]. Es utilizado principalmente como abono para plantas en zonas urbanas y cultivos dado su funcionamiento en cualquier tipo de ambiente. Dado que procede de desechos orgánicos, no posee químicos adicionados.

Cuando es producido en zonas rurales, actualmente el compost se suele empacar en costales para su manejo y distribución. En la comercialización urbana, se lo puede encontrar empacado al vacío o en fundas plásticas según el peso en locales de venta de fertilizantes. La empresa ecuatoriana Pronaca posee su propia marca de abono natural llamada India la cual se comercializa en costales de 23 kg, donde presenta el logotipo de la marca y la materia prima que se utilizó en su elaboración.

Localmente, no existe una oferta amplia de compost orgánico, por lo que se pueden encontrar distintos y variados precios de venta al público; en el caso de Pronaca, tiene un precio de \$6.50 en su presentación de 23 kg [4]. De igual manera, productores independientes presentan un costo de \$7.00 en una presentación de 30 kg. Para este último, no se ve ninguna especificación de los materiales utilizados para su fabricación, por lo cual no se puede especificar el tipo de terreno sobre el cual va a actuar de mejor manera [5].

## **2.2 Descripción de materias primas**

En general, las materias primas para cualquier tipo de sistema de compostaje son los desechos vegetales; sin embargo, para los distintos tipos de compostaje se recomiendan desechos diferentes. En el caso de compost casero se recomienda desechos que presenten una descomposición rápida como maleza, estiércol, hojas verdes y restos de poda, y además, desechos de descomposición lenta como flores secas, restos de poda de setos, plantas secas, paja, pieles y restos de frutas o verduras. Esto se debe a que el tiempo de residencia para dichos desechos puede ser menor debido a la velocidad de descomposición que presentan, haciendo así más rápida la obtención de compost [6].

### **2.2.1 Relación C:N de distintos desechos**

La relación C:N del compost es un indicador útil para evaluar el desarrollo y la calidad de este. Esta relación varía según distintos autores y se encuentra estimada entre 25:1 y 40:1, lo que implica que existen de 25 a 40 partes de carbono por cada parte de nitrógeno. En el caso donde la cantidad de carbono sea excesiva, el compostaje producirá una evacuación en forma de dióxido de carbono a la atmósfera; además, la fermentación será lenta, de temperatura baja, y el tiempo de residencia para la producción de compost será mayor. Adicionalmente, si se presenta un exceso de nitrógeno, se producirá una evacuación de amoníaco a la atmósfera,

emisión de malos olores y altas temperaturas, produciendo que el compost se dañe. Esta relación se puede identificar de manera sencilla en el caso de que no se tenga el equipo necesario para una evaluación cuantitativa; si la temperatura del compost es muy alta, la relación C:N es baja (existe un alto contenido de nitrógeno); si la pila de compost desprende un olor desagradable a amoníaco, la relación C:N es baja; si hay una alta presencia de fauna (gusanos o moscas), la relación C:N es baja; si el proceso de compostaje es lento o casi detenido, la relación C:N es alta (contenido alto de carbono) [7].

### **2.2.2 Contenido de humedad en materias primas**

Al ser un proceso biológico de descomposición de materia orgánica, es imprescindible la presencia de agua en el compostaje. Dado que los microorganismos necesitan fisiológicamente de agua como medio de transporte de sustancias solubles que sirve como alimento para las células. Los niveles óptimos de humedad de las materias primas (desechos orgánicos) se encuentran entre un 40 a 60%; en caso de que sea menor al 40% se recomienda agregar agua al compostaje para aumentar su humedad; en el caso de que sobrepase el 60% se recomienda agregar desechos secos tales como viruta o poda seca para regular la humedad [8].

### **2.2.3 Materias primas no deseables**

Las materias primas que se deben evitar generalmente son materiales inertes, tóxicos o nocivos, tales como: residuos químicos sintéticos (pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceites de vehículos, pinturas, etc.), materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos), aglomerados o contrachapados de madera, tabaco, detergentes (productos clorados), y residuos de medicamentos. Los materiales no degradables y tóxicos deben ser evitados completamente ser adicionados al compostaje dado que pueden contaminar el compost o causar un efecto adverso al momento de ser utilizado como abono.

Animales muertos (pueden ser incinerados o pueden compostarse en pilas especiales) y restos de alimentos cocinados (carne) deben ser evitados de igual manera. Al ser adicionados, se puede ver afectado el proceso de compostaje al causar un tiempo de residencia mayor en la descomposición de dichos desechos y en caso de que presenten cierto tipo de virus o bacteria no deseado, puede contaminar el compost [1].

#### **2.2.4 Plásticos biodegradables**

Un plástico biodegradable es aquel que se degrada por efecto de la acción de microorganismos de origen natural tales como bacterias, hongos y algas. En el caso de un plástico compostable, se deben cubrir los parámetros previos y además el cuidar que durante su degradación produzca dióxido de carbono, agua, compuestos inorgánicos y biomasa a una velocidad consistente con los otros materiales compostables conocidos y que no deje residuos visibles, distinguibles o tóxicos [9]. Para este caso especial, más adelante se presentan las normativas dentro y fuera del país para el manejo de este tipo de desechos en el contexto del compostaje.

### **2.3 Limitaciones y normas**

Dado que no existe una normativa específica para materiales compostables ni sistemas de compostaje, se puede utilizar como única referencia la normativa UNE-EN 14582:2016 “Caracterización de residuos. Contenido en halógenos y azufre. Combustión con oxígeno en sistemas cerrados y métodos de determinación”, donde se establecen parámetros para el contenido de halógenos y azufre en los fertilizantes orgánicos. En el caso de Ecuador, se pueden encontrar de igual manera parámetros para la composición de compost orgánico, pero no existe ninguna normativa INEN para el control de estos sistemas. Como se señala más adelante, se ha

impuesto una normativa para plásticos biodegradables que también se deben tomar en cuenta en el proceso de compostaje.

### **2.3.1 Normativa para plásticos biodegradables**

La normativa INEN para plásticos biodegradables y compostables establecen ciertos requisitos para que dicho material pueda ser utilizado como materia prima para obtener compost. Los requisitos específicos establecen:

1. *Desintegración durante el compostaje*: un producto o material plástico se debe desintegrar durante el compostaje de modo que cualquier resto plástico no sea distinguible de los otros materiales orgánicos en el producto terminado. Además, el material o el producto no debe encontrarse en cantidades significativas durante el tamizado previo a la distribución final del compost.
2. *Biodegradación inherente*: un nivel de biodegradación inherente se determina mediante ensayos en condiciones controladas, que son comparables a aquellos materiales compostables conocidos.
3. *No hay impactos adversos sobre la capacidad del compost para mantener el crecimiento vegetal*: los materiales ensayados no deben repercutir negativamente en la capacidad del compost para mantener el crecimiento de las plantas, en comparación con el compost utilizando celulosa como un control, una vez que el compost terminado se coloca en el suelo. Además, los productos o materiales poliméricos no deben introducir niveles inaceptables de metales pesados u otras sustancias tóxicas en el ambiente, sobre la descomposición de la muestra. [9]

Se deben considerar estos requisitos dado que no se espera que todas las personas que generan desechos utilicen un método adecuado de clasificación, puesto que pueden utilizar

materiales plásticos para deshacerse del material orgánico producido. Esta norma en específico da un parámetro adecuado del manejo de desechos en el caso de presentarse un caso de materiales plásticos biodegradables para la evaluación en la construcción y operación del sistema de compostaje.

## **2.4 Tipos de sistemas de compostaje**

### **2.4.1 Compostaje regular**

El compostaje regular es el sistema más sencillo para la fabricación de abono orgánico en forma de compost. Las materias primas involucradas pueden ser tanto desechos de animales como de plantas, haciendo de este sistema el más sencillo de alimentar. Para este sistema, se pueden encontrar distintos diseños de equipos de compostaje haciendo que el tiempo de elaboración sea menor y una operación más sencilla. En el caso del compostaje de pila, se ha demostrado una mejor calidad del abono producido, además de que posee un costo de inversión inicial bajo y su operación es de fácil aprendizaje [10]. Para este tipo de sistema se pueden encontrar variaciones de contenedores como: pilas descubiertas, cajones de madera, cajones metálicos, composteras plásticas de cilindro fijas y composteras giratorias. Este último es el contenedor más recomendado puesto que la operación es más sencilla y el producto final se consigue a una velocidad superior en comparación a los otros equipos.

### **2.4.2 Vermicompost**

Las actuatoras en este caso son las lombrices, quienes se alimentan exclusivamente de desechos vegetales y producen humus de lombriz. Dado que es un sistema con organismos vivos no requiere voltear la mezcla para controlar la temperatura. El proceso es el más lento en comparación a otros sistemas, esto se debe a la dependencia que se tiene respecto a las lombrices y su consumo de materia orgánica. De igual manera, debido a su tiempo de

producción el humus de lombriz es un abono de alta calidad tanto en su estado líquido como sólido y no genera malos olores [10]. En este caso, se presentan recipientes únicamente de madera dado que el ambiente para la crianza de lombrices debe mantenerse a un nivel de humedad constante para que se alimenten de manera óptima y puedan producir humus de buena calidad.

### 2.4.3 Bokashi compost

Este tipo de sistema puede ser realizado en distintos recipientes cerrados dado que es una fermentación anaeróbica; es decir, que ocurre en un ambiente con escaso oxígeno. Se puede elaborar en un balde con tapa rosca o con un sello de hule para garantizar un cierre hermético. Además, se recomienda que el recipiente cuente con un agujero al fondo para poder drenar el exceso de líquido. El tiempo de residencia en este sistema de compostaje es mínimo en comparación a otros, pero el producto final se puede considerar como un pre-compost ya que tiene una acidez alta y debe ser mezclado con compost regular durante 14 días adicionales para que pueda ser utilizado en plantas [10]. Este sistema de compostaje de igual manera presenta una variación llamada Takakura; similar al Bokashi, esta se da por fermentación, pero en este caso aerobia. Para esto se necesita realizar el proceso en un recipiente poroso donde se produzca intercambio de gases.

Tabla 1. Comparación tipos de compostaje [10]

	PROCESO	PRODUCTO FINAL	VELOCIDAD	FACILIDAD DE APRENDIZAJE	GENERACIÓN DE MALOS OLORES	RESTRICCIONES DE RESIDUOS	INVERSIÓN	CALIDAD
<b>COMPOST REGULAR</b>	Aeróbico	Compost	Lento	Fácil	Moderada	Pocas restricciones	De nula a alta	Muy buena
<b>VERMICOMPOST</b>	Aeróbico	Humus de lombriz	Muy lento	Difícil	Baja	Muchas restricciones	De media a alta	Excelente
<b>BOKASHI COMPOST</b>	Anaeróbico	Pre-compost	Rápido	Intermedio	Olores contenidos	Algunas restricciones	De baja a media	Pre-compost

Tras comparar los tres métodos, generales que hay, se nota que el más adecuado para elaborar una metodología de diseño y operación es el de compost regular; considerando su bajo costo, su facilidad de operación y las bajas restricciones sobre su materia prima, el compost regular es el mejor candidato para una implementación dentro y fuera de zonas urbanas al igual que en industrias y urbanizaciones.

### **3. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE POTENCIAL DE IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE COMPOSTAJE**

#### **3.1 Introducción**

La elaboración de sistemas de compostaje ha ido cambiando con el paso del tiempo por lo que una persona que esté interesada en este tipo de manejo de desechos busca nuevas formas de aventurarse en maneras más sencillas y prácticas para lograr obtener algún tipo de beneficio. La falta de guías o lineamientos básicos para poder determinar el mejor sistema de compostaje para cada sector o zona fue el precursor para la elaboración de la siguiente metodología, donde se definen los parámetros generales que intervienen en la construcción y operación para los distintos sistemas de compostaje, así facilitando la selección del método que mejor se aplique a las necesidades de cada conjunto de condiciones.

#### **3.2 Parámetros involucrados durante el proceso de compostaje**

Los parámetros que se tienen que considerar en un sistema de compostaje regular son: el oxígeno, el dióxido de carbono, la humedad, la temperatura, el pH, la relación C:N y el tamaño de las partículas. Todos estos parámetros pueden ser medidos en un laboratorio con materiales básicos a excepción del dióxido de carbono y de la relación C:N. Para los otros

parámetros mencionados, como el caso de la temperatura y humedad, se puede recurrir a métodos de análisis o métodos sensitivos donde se puede realizar una medición estimada por medio del tacto si no se cuenta con el equipo necesario [1].

- Oxígeno: siendo el compostaje un proceso aerobio, se debe mantener una entrada de aire controlada y constante para evitar que el material se encharque o se compacte. Para este proceso, se debe tomar en cuenta este parámetro principalmente en su fase termoflica donde se debe llegar a temperaturas de hasta 65°C.
- Dióxido de carbono: durante el proceso de compostaje se produce CO<sub>2</sub> por acción de los microorganismos; por lo tanto, la concentración varía dependiendo de la actividad microbiana y la cantidad de materia prima que se utilice.
- Humedad: al vincularse directamente con la actividad microbiana, este parámetro es uno de los más importantes puesto que, en el caso de que exista un cambio significativo de la humedad fuera de los rangos establecidos, los microorganismos dejarían de trabajar y el sistema de compostaje de funcionar.
- Temperatura: puesto que el proceso de descomposición genera un aumento de temperatura debido a la actividad microbiana se debe controlar únicamente dentro del sistema puesto que ningún cambio externo influye en la variación de este. El control de temperatura del sistema de compostaje se realiza variando otros parámetros como la alimentación, humedad, relación C:N y aireación.
- pH: el control de pH se ve determinado por la alimentación dado que los compuestos añadidos en la alimentación varían este en las distintas etapas del proceso.
- Relación C:N: siendo uno de los parámetros más importantes, esta relación va variando, dependiendo del producto final que se desea obtener al igual que la generación de olores y pH que se puede dar al momento de considerar este parámetro.

- **Tamaño de partícula:** la actividad microbiana depende mucho de este factor ya que determina la facilidad con la que los microorganismos pueden acceder al sustrato; mientras más pequeñas sean las partículas, se tendrá un mejor acceso.

### 3.2.1 Rangos recomendados y variaciones permitidas de cada parámetro

Los rangos de cada parámetro pueden variar dependiendo de la etapa en la que se encuentre el sistema de compostaje. A continuación, se presentarán los parámetros para la parte inicial:

Tabla 2. Rangos de parámetros para sistemas de compostaje [2]

<b>Parámetro</b>	<b>Rango ideal</b>	<b>Variaciones</b>
<b>Oxígeno</b>	5-15% de aireación	<5% generación de humedad por insuficiencia de evaporación de agua. >15% se detiene el proceso de descomposición por falta de agua.
<b>Humedad</b>	45-60% de humedad	<45% se detiene el proceso por falta de humedad para los microorganismos. >60% el oxígeno queda desplazado por exceso de agua.
<b>Temperatura</b>	35-70°C en todo el proceso	<35°C falta de humedad. Insuficiencia de materia prima o forma de pila inadecuada. Hay una alta relación C:N, no hay N suficiente para generar enzimas y proteínas. >70°C se inhibe el proceso de descomposición; se mantiene la actividad microbiana pero no lo suficiente para llegar a la etapa mesofílica.
<b>pH</b>	4.5-8.5 pH	<4.5 los vegetales liberan muchos ácidos orgánicos y acidifican el medio. >8.5 hay exceso de N, incrementa la temperatura y la humedad y amonio alcalinizando el medio.
<b>Relación C:N</b>	15:1-35:1	<15:1 el proceso se calienta en exceso y se generan malos olores por el exceso de N. >35:1 la cantidad excesiva de C hace que el proceso de enfríe y ralentice.
<b>Tamaño de partícula</b>	5-30 cm	<5 cm se crean poros pequeños que se llenan de agua y restringen el flujo de aire. <30 cm se crean canales de aireación, bajan la temperatura y desaceleran el proceso.

### **3.3 Parámetros principales de estudio**

#### **3.3.1 Comparación entre parámetros**

Para la elaboración de los distintos sistemas de compostaje se deben tomar en cuenta principalmente los siguientes parámetros: relación C:N, humedad, densidad, tamaño de partícula y control del proceso; estos parámetros intervienen directamente para cualquier tipo de sistema dado que si se encuentran por encima o debajo de los rangos permitidos puede generar problemas en el producto final. Estos parámetros se ven relacionados principalmente con la materia prima, dado que según su composición se verán afectados todos sin excepción [1].

Para la relación C:N, se considera la cantidad de carbono y nitrógeno que aportan los distintos desechos, por lo que se recomienda revisar la composición de los desechos que se vayan a utilizar en el sistema. Para la humedad se debe tomar en cuenta la cantidad de líquido que puede generar un desecho al igual que tener a disposición materia prima seca como aserrín o restos de hojas secas. En el caso de la densidad, se debe mantener en un nivel bajo para que exista aireación constante en cada etapa; se recomienda que la densidad de la alimentación sea de 250-400 kg/m<sup>3</sup>. El tamaño de partícula se debe mantener en el rango presentado anteriormente para que la densidad de la alimentación no cambie. Finalmente, para el control del proceso se determinará posteriormente un mecanismo para las labores de volteo y alimentación que se debe tener para que el sistema de compostaje tenga un mejor rendimiento [1].

### 3.3.2 Definición de la relación C:N en la alimentación

La relación C:N es el factor más importante en un sistema de compostaje y este se define al momento de la alimentación. Este factor puede alterar el sistema completamente si no se mantiene dentro del rango determinado puesto que causa muchos cambios en las distintas fases del proceso. Como se mencionó anteriormente, esto puede causar desde falta de aire al sistema hasta malos olores que serán desprendidos a lo largo del proceso.

La determinación de carbono y de nitrógeno se pueden llevar a cabo dentro de un laboratorio con ayuda de los métodos de pérdida por ignición para el carbono, y con ayuda de un biodigestor para el nitrógeno. Considerando que en muchas zonas no se cuenta con el equipo necesario para este tipo de análisis, se pueden utilizar valores previamente calculados para poder estimar la formulación necesaria para la alimentación del sistema cumpliendo el rango recomendado de C:N para la elaboración del compost.

Para poder realizar este procedimiento se toman los valores de la tabla A1 en el anexo A con los componentes que se desean agregar y se calcula un promedio con las proporciones C:N de cada compuesto; si se encuentra dentro del rango recomendable, se recomienda apilar la materia orgánica en capas intercaladas para una mejor homogeneización. De igual manera, se puede utilizar una calculadora en línea para determinar la cantidad y materiales que se deben mezclar para obtener una relación de nutrientes tal que se encuentre dentro del rango. En el siguiente enlace se encuentra un ejemplo de calculadora en línea: <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html> [1].

Una forma práctica y sencilla con la que se puede obtener un valor aproximado de C:N es calculando un promedio ponderado para la materia orgánica que se desee añadir, tomando en cuenta que la mayoría de los desechos tienen un nivel alto de nitrógeno; esto se puede controlar con la adición de desechos secos como aserrín u hojas secas. Una vez obtenido este

promedio, se puede realizar un apilamiento por capas donde las ramas y hojas secas van en la base para controlar el nivel de humedad y la materia orgánica en la parte superior de la pila.

### **3.3.3 Humedad del sistema de compostaje**

Principalmente, la humedad en la alimentación es el factor más importante para el control de la humedad dentro de un sistema de compostaje; esto se debe a que varios de los desechos que se van a agregar en la fase inicial presentan distintos niveles de humedad por lo que es recomendable tratar de mantener la humedad en el rango establecido en la sección 3.2.1. De igual manera, a lo largo del proceso se debe controlar este parámetro dado que factores externos como la lluvia o el calor pueden humedecer o secar el sistema más de lo que debería en cada etapa.

Para determinar la humedad en cualquier tipo de material hay procesos de análisis de laboratorio más precisas para calcular la cantidad exacta de humedad para cualquier tipo de compuesto. Adicionalmente a estos métodos, existe una manera sencilla que se puede aplicar directamente por cualquier persona sin los instrumentos necesarios para este tipo de análisis. El método que se recomienda utilizar para cualquier sistema de compostaje es la “técnica del puño cerrado” el cual indica que se debe tomar un puñado de compost con la mano y abrirla; el compost debe quedar apelmazado en la mano sin escurrir agua, si escurre agua hay un exceso de humedad por lo que se debe voltear la mezcla o añadir material seco como aserrín u hojas secas, si el material queda suelto en la mano se debe añadir agua [1]. Cuando se realiza la prueba del puño se puede definir el número de gotas como una medida de humedad, dependiendo del cuántas gotas caigan se puede asumir que es una medida porcentual del 10% por lo que si se realiza la prueba y caen 7 gotas de agua se puede suponer que la humedad el compost se encuentra aproximadamente en un 70% [11].

### **3.3.4 Relación de espacio disponible y requerido**

De acuerdo con los parámetros de densidad mostrados anteriormente, se puede calcular el espacio promedio que se necesita para la elaboración de una compostera. Se debe considerar que ciertos sistemas de compostaje no son recomendables para lugares con ambientes cerrados y que no cuentan con espacio suficiente para la implementación si se tiene una alta producción de desechos. Como se describió anteriormente, se recomienda tener una densidad inicial de 250-400 kg/m<sup>3</sup>, tomando en cuenta que la cantidad promedio de desechos generados por un habitante en el distrito metropolitano de Quito es de 0.47 kg/hab/día [11]. Estos valores pueden ser implementados para cualquier sistema de compostaje dado que, para todos los sistemas se necesita una cantidad similar de materia orgánica en la producción de compost. De igual manera, hay sistemas de compostaje continuo como recipientes giratorios donde el tiempo de producción es menor y el espacio que se necesita para su operación no supera los 3 m<sup>2</sup> estos contenedores pueden ser fabricados de forma casera o se los puede adquirir en lugares especializados en sistemas de compost donde no llegan a medir más de 1 m<sup>2</sup> de altura, el cual puede ser utilizado para aproximadamente 20 personas dado que es de flujo continuo.

### **3.3.5 Tamaño de partícula de la alimentación a un proceso de compostaje regular**

Como se mencionó en la sección 3.2.1., el rango recomendable para el tamaño de partícula es de 5-30 cm. Tomando esto en cuenta podemos ver que es un parámetro sencillo de manejar considerando que la gran mayoría de desechos orgánicos no tiene un tamaño que supere ese rango con excepción de ciertos vegetales o frutas los cuales antes de ser desechados pueden cortarse en trozos más pequeños que entren en el rango dispuesto. Igualmente, el uso

de una trituradora para estos desechos puede recomendarse, pero no se lo considera indispensable ya que el tamaño de partícula no debe ser inferior a los 5 cm para evitar que el sistema se llene de agua y genere problemas. Finalmente, se puede relacionar directamente el parámetro de tamaño de partícula con la densidad del sistema puesto que, si el tamaño de la materia prima en flujo de entrada es muy pequeño el sustrato se compacta haciendo que la densidad del compost aumente y pueda causar fallas en el sistema; se recomienda mantener el rango de tamaño de partícula presentado en la tabla 2 ya que es el ideal para que el proceso se lleve a cabo de manera eficiente.

### **3.3.6 Personal necesario para la operación de un sistema de compostaje regular**

Este parámetro se considera específicamente para un sistema de compost regular dado que para que el proceso se lleve a cabo de forma adecuada se necesita de un operador para voltear la mezcla de compost por lo menos una vez por semana a lo largo del proceso. De igual manera, para equipos que cuentan con un sistema de volteo se facilita el trabajo, pero se debe tener un monitoreo constante en el caso de que el sistema se encuentre con un exceso de humedad. Para los otros tipos de sistemas no es necesario voltear el compost ya que los actuadores son externos y el medio en el que se encuentran no se debe alterar de ninguna manera; para el vermicompost las lombrices y para el Bokashi el inóculo añadido.

Para poder determinar el tiempo de volteo del compost se debe conocer el tipo de sistema que se va a realizar dado que se pueden elaborar sistemas que no necesitan ser volteados pero que ocupan un espacio mayor al habitual o de igual manera, para sistemas que, si es necesario voltear, calcular un tiempo de volteo adecuado según la carga de materia orgánica que está presente y la necesidad de oxígeno para que el proceso se lleve a cabo de manera óptima. En este caso se recomienda tener pilas de aproximadamente 1 metro de alto y 2 metros

de largo con un tiempo de volteo de 1 o 2 veces por semana lo cual implica que un solo operador puede realizar este trabajo en un tiempo máximo de 1 hora según la densidad de la pila de compostaje [12].

### **3.4 Influencias externas y otros parámetros**

El cambio climático es un factor que afecta a cualquier tipo de sistema donde intervengan microorganismos; tanto el calor, el frío o la humedad pueden alterar la forma en que trabajan distintas bacterias o seres vivos. Para el caso del compost regular, este se ve afectado por las lluvias dado que si se incrementa la cantidad de agua los microorganismos no tienen un ingreso adecuado de oxígeno y no pueden producir calor para sobrevivir; de igual manera, calores extremos causan que el medio se seque y no tenga agua suficiente para seguir actuando en la materia orgánica. Para el vermicompost se presenta un escenario similar, puesto que las lombrices, al ser organismos que respiran por la piel, pueden morir si existe una falta de oxígeno por un incremento en la humedad del medio o por deshidratación si se presentan calores extremos. Siendo el Bokashi compost un sistema cerrado no se ve afectado por cambios repentinos del medio ambiente por lo que lo vuelve el más fácil de manejar considerando estos parámetros [1].

Para sistemas de compostaje amplios se recomienda tener un acceso para vehículos de carga puesto que para el volteo de las pilas puede ser necesario por el volumen del sistema, considerando que la frecuencia con la que se voltea el compost no es muy seguida, entonces no representa un gasto muy elevado para zonas con un alto flujo de desechos. En zonas urbanas donde se recomienda un sistema de compostaje distinto o de compost regular con un recipiente de volteo solo se considera un espacio promedio de 2 m<sup>2</sup> para poder trabajar con el equipo de una manera más cómoda y adecuada.

### **3.5 Utilizar las mediciones para concluir sobre la recomendación del sistema de compostaje**

Para la elaboración de cualquiera de los métodos de compostaje se presenta seguir estos lineamientos para un proceso adecuado:

1. Calcular el flujo de materia prima que se va a disponer para el proceso.
2. Dimensionar el contenedor o pila donde se llevará a cabo el proceso.
3. Determinar el área disponible para la construcción e implementación del sistema de compostaje.
4. Calcular el costo de los materiales necesarios para la construcción, mezcla y operación del sistema de compostaje adecuado para el área previamente determinada.

A partir de los resultados obtenidos se puede interpretar los resultados de la siguiente manera:

1. El flujo obtenido permitirá calcular el tiempo de residencia para el sistema de compostaje que se desee realizar.
2. Con el dimensionamiento del recipiente se podrá determinar el área necesaria para la construcción y operación del sistema.
3. El área necesaria determinará si la zona que se dispone es la apropiada para el sistema de compostaje de preferencia.
4. El costo de los materiales dará a conocer si el sistema seleccionado es el adecuado para el presupuesto que se maneja.

De forma que el proceso de selección del método más adecuado para un sistema de compostaje, se presenta el siguiente árbol de toma de decisiones donde de acuerdo con los parámetros que se dispone, se elegirá el sistema más conveniente para realizar en dicho sector.

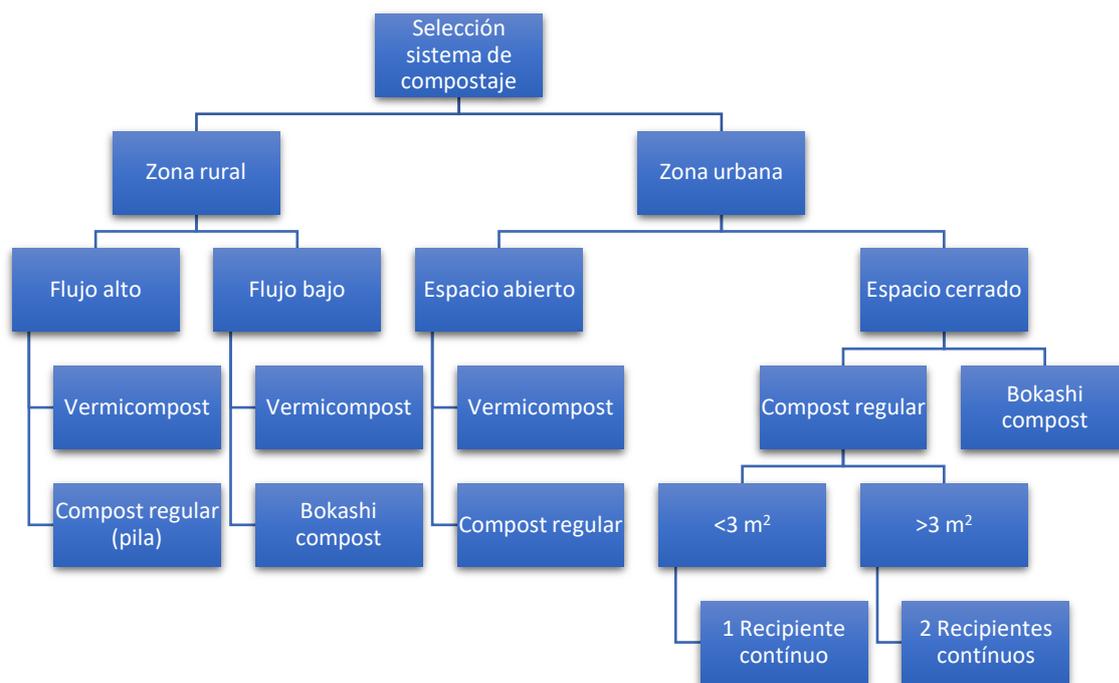


Figura 1. Árbol de toma de decisiones para sistemas de compostaje

### 3.6 Conclusión

La falta de lineamientos para la elaboración de sistemas de compostaje, así como el desconocimiento de sus factores más relevantes puede llevar a una mala implementación de este tipo de métodos de manejo de desechos que no sea adecuada y cause contaminación innecesaria tanto como fertilizante, así como desechos comunes en el caso que no se encuentre tratado apropiadamente. La metodología desarrollada y presentada en este capítulo es una manera útil para seleccionar un sistema de compostaje adecuado con parámetros fácilmente medibles, donde cada persona puede relacionarlos con el entorno donde se desee probar los sistemas propuestos. Los parámetros presentados pueden ser medidos de forma cualitativa dado que existen varios factores externos que afectan el cálculo que se pueda realizar; sin embargo, esta metodología brinda una perspectiva de los principales factores que intervienen en dichos sistemas y ofrece una idea más clara para la construcción de estos sistemas, como se presenta

a continuación con un mejor detalle donde se dará un mejor enfoque para el sistema de compost regular.

## **4. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y OPERACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE REGULAR**

### **4.1 Introducción**

El compostaje regular es el método más sencillo para la elaboración de abono orgánico a partir de desechos sólidos; este tipo de sistema de compostaje es recomendable si se tiene un espacio amplio y presupuesto bajo ya que puede presentar un costo mínimo tanto de materiales como de operación. A continuación, se presenta una metodología para el diseño, construcción y operación de un sistema de compostaje regular, donde se tomarán en cuenta los factores que afectan directamente a este sistema y se definirán cada uno de los costos que se pueden generar en su elaboración y funcionamiento.

#### **4.1.1 Definición de sectores**

Generalmente, los efectos ambientales en un sistema de compostaje regular no se ven netamente involucrados siempre y cuando se tenga un sistema cubierto en caso de que exista precipitación o calores extremos. Para el caso de Ecuador, siendo este un país con cambios de temperatura leves a lo largo del año, estos no tendrían un impacto directo en un sistema para la elaboración de compostaje regular tomando las medidas necesarias para su construcción. Tomando en cuenta que las lluvias pueden humedecer el sistema, se recomienda tener cubiertas las pilas o los sistemas continuos al igual que en casos de sequedad de este, tener un control de riego de agua para mantener la humedad necesaria dentro del compostaje.

#### 4.1.2 Funcionamiento de una compostera

Como se describe en la sección 3.2.1. durante la alimentación se deben mantener los parámetros descritos para la materia prima por lo que antes de añadir los desechos se debe tener en claro cómo van a ser distribuidos por su nivel de C:N, su humedad, y su tamaño. Para esto, se recomienda distribuir de una manera uniforme e intercalada cada desecho según su tamaño y concentración de carbono y nitrógeno siguiendo la tabla A1 en el anexo A. Un sistema de compostaje regular se divide en 4 fases principalmente:

1. Fase mesofílica: la fase inicial del sistema, donde la materia prima en cuestión de días, o en algunos casos horas, pasa de temperatura ambiente a una temperatura de hasta 45°C. Este cambio de temperatura se debe a la actividad microbiana donde los microorganismos generan calor a partir del consumo de carbono y nitrógeno. Durante el consumo de azúcares en esta fase, se producen ácidos orgánicos por lo que el pH desciende hasta aproximadamente 4.0. Esta fase tiende a durar de 2 a 8 días.
2. Fase termofílica o de higienización: una vez que la materia orgánica alcanza una temperatura de 45°C los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias son reemplazados por aquellos que crecen a temperaturas mayores comúnmente bacterias que facilitan la degradación de fuentes más ricas en carbono. Durante esta fase se da principalmente un consumo de nitrógeno generando amoníaco haciendo que el pH del medio aumente. Esta fase se la conoce como de higienización ya que el calor generado elimina bacterias y contaminantes fecales como *Escherichia Coli* y *Solmonella spp.*
3. Fase de enfriamiento: una vez que se agotan las fuentes de carbono y de nitrógeno principalmente, la temperatura del medio desciende hasta los 40-45°C. Durante esta fase continua la degradación de polímeros como celulosa y aparecen hongos visibles.

Esta fase requiere de varias semanas por lo que suele confundirse con la fase de maduración.

4. Fase de maduración: esta es la fase más larga de todo el proceso ya que puede darse en un periodo de meses. Durante esta fase se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales se presentan como los actuadores principales del abono orgánico creado.

Como se mencionó anteriormente, los actuadores principales en el compost son los ácidos húmicos y fúlvicos, los cuales son los que mejoran la actividad microbiana de la tierra haciéndola más fértil y mejorando su estructura para que la flora del lugar se dé con mayor velocidad y con características superiores. Dado que este tipo de abono es completamente natural, no tendrá un efecto adverso en la zona donde se aplique, si el método para su producción fuera el adecuado.

## **4.2 Metodología para el diseño de un sistema de compostaje regular**

### **4.2.1 Definición de caudales**

Para poder medir el caudal de entrada para un sistema de compostaje se debe calcular el flujo de desechos producidos dentro de la zona donde se desee implementar. Se recomienda comenzar con un flujo básico de desechos diarios; por ejemplo, después de cada comida separar los desechos que irían a la pila o al recipiente de compost tomando en cuenta los desechos apropiados para el sistema. De ser posible separar los desechos de acuerdo con la tabla A1 del anexo A según la relación C:N que presentan. Además, si se tiene un fácil acceso a la calculadora señalada en la sección 3.3.2. utilizarla para que la relación de los desechos este dentro del rango permitido. Posterior a la selección y clasificación de desechos, pesar la

cantidad producida durante el día obteniendo un flujo regular para cada día de la semana. Suponiendo que una persona promedio genera desechos en el hogar únicamente de lunes a viernes, calcular un promedio semanal de la cantidad generada para poder determinar el tiempo de residencia que se va a necesitar para el proceso.

#### **4.2.2 Tiempo de residencia en cada etapa del proceso de compostaje**

Dado que es un proceso biológico que consta de etapas donde actúan microorganismos, hay tiempos de residencia definidos para cada fase según lo siguiente: fase mesofílica, de 2 a 8 días; fase termofílica, dos semanas hasta un mes dependiendo de la composición de la materia prima; fase de enfriamiento, 2 a 3 semanas; y fase de maduración, de 1 a 2 meses. Estos tiempos señalados son exclusivamente para un sistema de compostaje en pila, dado que su tamaño varía de entre 3 a 5 m<sup>3</sup> de materia orgánica por lo que se desarrolla de forma extensa. En caso de recipientes de compostaje continuos se puede realizar todo el proceso en un lapso de 1 mes, tomando en cuenta que el volumen máximo que se puede generar es de 1 m<sup>3</sup>.

#### **4.2.3 Capacidad de los equipos**

En mercados internacionales como Argentina, se pueden encontrar sistemas de compostaje continuos que cuentan con una manivela para poder voltear el compost en los lapsos indicados previamente. Sin embargo, en el mercado nacional no se cuenta aún con ese tipo de equipos por lo que se pueden adaptar distintos recipientes para cumplir la misma función. Por ejemplo, se puede utilizar un tanque metálico o plástico donde se almacena pintura o aceite que se encuentre libre de estos compuestos como se muestra en la imagen 1. Estos recipientes pueden almacenar hasta 55 galones, permitiendo así un flujo alto de desechos orgánicos para la elaboración del compost.



Figura 2. Compostera giratoria casera

Igualmente, para sectores rurales donde se puede realizar sistemas de compostaje por pilas se puede calcular el tamaño necesario para cierto flujo de desechos de la siguiente manera:

Asumiendo que se va a trabajar con la densidad mínima para un sistema de compostaje con una densidad de  $250 \text{ kg/m}^3$  y con una masa de entrada de  $150 \text{ kg}$  se tiene que:

$$V = \frac{150 \text{ kg}}{250 \text{ kg/m}^3} = 0.6 \text{ m}^3$$

En este caso el volumen mínimo necesario para tratar  $150 \text{ kg}$  de materia prima es de  $0.6 \text{ m}^3$ .

#### 4.2.4 Materiales para sistemas abiertos y cerrados

Un sistema abierto de pila se caracteriza por ser ubicado al nivel del suelo donde se forma una pila con el desecho orgánico haciéndolo el sistema más sencillo y barato de compostaje, para esto se necesitará:

1. Pala
2. Tijeras de podar o podadora

3. Regadera o manguera
4. Termómetro
5. Tamiz
6. Papel de pH

Los sistemas de compostaje cerrado se pueden encontrar en el mercado en distintos diseños o se pueden elaborar de forma manual con materiales de fácil acceso donde el mecanismo para el volteo de compost puede ser realizado con ayuda de una manivela. Para la elaboración de una compostera giratoria se necesitar:

1. Tanque metálico o de plástico
2. Taladro y brocas
3. Varilla metálica (en caso de disponer de un soporte para el recipiente)

Para este sistema se puede realizar el volteo de forma manual solamente haciendo rodar el recipiente para que la materia orgánica sea volteada en caso de no poseer un soporte adecuado para utilizar la varilla como manivela.

### **4.3 Metodología para la construcción e implementación para un sistema de compostaje regular**

#### **4.3.1 Sistemas abiertos**

Tomando el ejemplo anterior de la sección 4.2.3. donde el volumen necesario para la pila o el contenedor que se va a usar es de  $0.6 \text{ m}^3$ . Para hacer una demostración más sencilla se asumirá un volumen de  $2 \text{ m}^3$ , considerando que el sistema que se va a realizar será en una pila.

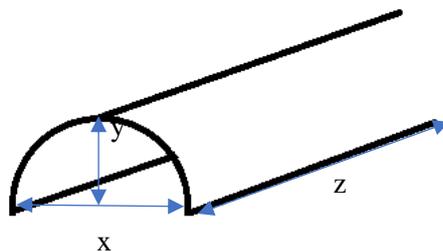


Figura 3. Dimensionamiento de pila de compost

Se puede dar un valor inicial para  $x=1$  m,  $y=1$  m obteniendo así que la longitud  $z=2$  m. Conociendo que para calcular el volumen se multiplican los valores de  $x$ ,  $y$ ,  $z$ .

Los valores calculados anteriormente se basan en el cálculo de volumen para un rectángulo por facilidad para el diseño de la pila de compostaje. De igual manera, existen varios métodos de construcción para una pila de compostaje, por ejemplo, pilas inclinadas para una mejor depuración de lixiviados y reducción de humedad, pilas con colchón de aire donde se realiza una base de ramas y hojas para que se mejore la circulación de aire dentro de la pila; finalmente, pilas con chimenea, donde se realiza la acumulación de la materia orgánica alrededor de un tronco el cual posterior a que se encuentre la pila formada se retira el tronco para que haya una circulación continua de aire dentro.

#### 4.3.2 Sistemas cerrados

Para la elaboración de un sistema de compostaje continuo se puede realizar de una manera muy sencilla si se dispone de los materiales descritos en la 4.2.4. Para esto, se recomienda utilizar un contenedor plástico dado que este material no se corroe ni reacciona con los desechos orgánicos que actúan en su interior. De igual manera, se recomienda que sea de un volumen aproximado de 50 litros para que el proceso pueda realizarse mensualmente. Para la perforación del tanque se utiliza un taladro con una broca de  $\frac{1}{2}$  pulgada de preferencia

para que el flujo de aire tenga un mejor acceso y al momento de girar el recipiente la materia orgánica no salga por los orificios. La cantidad de agujeros alrededor del tanque no tienen límite mientras tengan un espacio de 4-5 cm entre ellos. Además, realizar un corte cuadrado con una sierra o cuchilla de aproximadamente 20 cm de alto y 20 cm de ancho, al trozo cortado agregar una bisagra y un seguro para poder cerrar el tanque después de haber agregado la materia orgánica. En la imagen 3 se muestra un ejemplo de cómo se verá el recipiente una vez terminado este procedimiento.



Figura 4 Recipiente cerrado de compostaje continuo [14]

Al igual que este sistema, existen distintos tipos de recipientes cerrados que no tienen forma cilíndrica pero pueden ser girados para que se cumpla la misma función. Actualmente, en el país no existe una empresa que importe o fabrique este tipo de recipientes, posiblemente dada la falta de interés o conocimiento de las personas por realizar tratamiento de desechos por esta vía. Una manera sencilla de conseguir recipientes de este tipo es por medio de una empresa de importación pero su costo es elevado debido al tamaño de este equipo.

## 4.4 Metodología para la operación de sistema de compostaje regular

### 4.4.1 Etapa de preparación de alimentación

Para la selección de materia orgánica que se puede utilizar en el sistema de compostaje se recomienda utilizar la calculadora para la relación C:N como referencia de una buena mezcla de desechos. De igual manera, obteniendo un promedio ponderado de los desechos que se dispongan con ayuda de la tabla A1 en el anexo A se puede calcular un valor aproximado para el tipo de materiales que se deben añadir al sistema de compostaje.



Figura 5. Rangos para relación C:N

Como se puede observar en el gráfico 1 los rangos para la alimentación de materia orgánica se deben encontrar dentro de la zona verde donde, en caso de que se desee agregar desechos con un bajo nivel de carbono (verduras o frutas), se deben mezclar con desechos con que posean un alto nivel de carbono (poda de césped u hojas secas) para que la alimentación se encuentre dentro del rango al comenzar el proceso. Finalmente, considerando que es un sistema que necesita ser volteado para tu funcionamiento, la mezcla y homogeneización de los distintos desechos se lleva a cabo a lo largo del proceso. El tamaño de las partículas no afectaría este proceso siempre y cuando se encuentren dentro del rango dispuesto en la sección 3.2.1. para evitar exceso de humedad en el sistema.

### 4.4.2 Etapa de descomposición de la mezcla

Como se determinó en la sección 3.2.1. existen rangos donde el oxígeno se ve involucrado; este parámetro es el más importante durante todo el proceso dado que la descomposición de la materia orgánica se produce de manera aeróbica. Los microorganismos,

al consumir la materia orgánica, necesitan de oxígeno para poder degradarla y producir dióxido de carbono, agua y calor. Como se ha ido viendo en muchas de las secciones, la aireación es indispensable para cada etapa del compostaje por lo que el volteo del compost se debe realizar a lo largo del tiempo descrito anteriormente, o de igual manera, que durante el armado del sistema de compostaje se realicen modificaciones como el colchón o la chimenea explicados en la sección 4.3.1.

Un factor que se debe tomar en cuenta en cuanto a la aireación es el clima; durante todo el proceso es posible que existan precipitaciones y puedan causar un aumento en la humedad del compostaje por lo que el sistema va a dejar de recibir el oxígeno necesario para que el proceso se lleve a cabo de manera adecuada. Para ambos casos, sea un sistema abierto o cerrado, se recomienda tener una cubierta para los dos sistemas.

#### **4.4.3 Etapa de maduración del compost obtenido**

La etapa de maduración del compost, como se describió anteriormente, es la más larga de todo el proceso dado que el sustrato debe disminuir su temperatura hasta llegar a la del ambiente. En esta etapa del compostaje los microorganismos dejan de trabajar por lo que la temperatura y el pH se estabilizan, de manera que este último se aproxima a la neutralidad. Al ser la fase más extensa, puede llegar a durar meses en algunos casos, por lo que se puede comprobar que se encuentra listo para su uso por el color que presenta: mientras más oscuro es el compostaje tendrá una mejor eficiencia como abono natural. Además, este se puede distinguir por su textura granulada y por el olor que desprende similar a tierra de bosque.



Figura 6. Compost maduro [15].

#### **4.4.4 Material de apoyo para operadores**

Para poder controlar de mejor manera el proceso los operadores deben seguir una serie de pasos para realizar una evaluación apropiada del sistema de compostaje al igual que el producto a lo largo del proceso, es por esto que se ha preparado un checklist con el fin de que de acuerdo a las descripciones se tome una decisión en caso de que se necesite voltear o humedecer el compost. En la sección de la prueba del puño se puede anotar el número de gotas en caso de que el producto este con humedad normal o excesiva, para el olor se puede describir que tan fuerte se percibe, en el caso de la temperatura se requerirá únicamente el valor obtenido con ayuda del termómetro y la cubierta plástica se puede describir si se encuentra en un buen estado o deteriorada para su posterior cambio.

Tabla 3. Checklist para sistema de compostaje.

	Valor o descripción
Prueba del puño	
Olor	
Temperatura	
Cubierta plástica	

#### 4.4.5 Costos de elaboración y operación

Para los costos de materiales y elaboración se tomaron los siguientes materiales en consideración:

Tabla 4. Costos de materiales sistemas de compostaje.

Sistema Cerrado		Sistema Abierto	
Artículo	Costo	Artículo	Costo
Tanque	\$ 60.00	Pala	\$ 8.00
Taladro	\$ 30.00	Rastrillo	\$ 6.00
Bisagra puerta	\$ 3.00	Plástico	\$ 57.00
Seguro puerta	\$ 3.00		
<b>Total</b>	<b>\$ 96.00</b>	<b>Total</b>	<b>\$ 71.00</b>

Los valores presentados constituyen solo costos de materiales calculados para una única inversión a excepción del plástico el cual se estima que tendrá un tiempo de durabilidad de un año aproximadamente según el tamaño de la pila de compostaje. Determinando los costos para un caso general se comienza con el cálculo del volumen del sistema donde, de acuerdo con el valor obtenido se puede construir un sistema más pequeño en caso de que se desee implementar

en un domicilio. Si el volumen necesario supera los 2 m<sup>3</sup> se recomienda realizar un sistema de pila ya que no hay a disposición recipientes con un volumen tan elevado para el trabajo de volteo.

#### **4.4.6 Costos variables de operación**

Los costos variables para la fabricación de compost constituyen un menor gasto en abonos químicos; en este caso, un ahorro mensual de un promedio de \$10.00 para el uso de fertilizantes en huertos o plantas de jardín. Estos valores se pueden estimar fácilmente ya que el tiempo estimado de fertilización de una planta o plantación es cada semana, por lo que un saco de fertilizante de 30 kg puede tener un tiempo de durabilidad de máximo 4 meses considerando que el consumo necesario es de 1 a 2 kg/m<sup>2</sup> [16].

#### **4.4.7 Costos fijos de operación**

El único costo fijo para un sistema de compostaje es el consumo de agua en caso de que la humedad del sustrato disminuya; esto puede darse si las condiciones climáticas en las que se va a realizar el sistema son muy calientes o secas entonces se va a necesitar un flujo estimado de agua semanal para poder estabilizar al sistema y llegar al rango determinado anteriormente. Este costo fijo se puede determinar utilizando un tanque que ya se conozca el volumen y llenar la cantidad que se añade de agua en una corrida para que el sistema este nuevamente húmedo.

### **4.5 Conclusión**

La metodología propuesta se puede llevar a cabo de manera sencilla siguiendo los lineamientos para el diseño, construcción y operación del sistema de compostaje regular ya sea abierto o cerrado. Además, se describieron claramente los factores que pueden afectar el

proceso, así como los costos para la elaboración de un sistema sencillo casero y durante el proceso. Finalmente, se pondrá a prueba esta metodología con un caso de estudio y se presentará de forma práctica la manera más rápida y sencilla de construcción y operación de un sistema de compostaje regular.

## **5. APLICACIÓN DE LAS METODOLOGÍAS PROPUESTAS EN UN CASO DE ESTUDIO**

### **5.1 Introducción**

El proyecto Costa Jama Beach & Golf Resort se está desarrollando en la costa de Jama en la provincia de Manabí. Como parte de este proyecto se encuentran en construcción nuevos edificios y casas donde actualmente trabajan más de 100 obreros para su elaboración, además de 30 personas trabajando a tiempo completo en guardianía y en mantenimiento del lugar. Adicionalmente, residen 3 familias con un promedio de 9 personas, dando un total de 139 personas que se encuentran dentro del lugar. Este proyecto ha presentado un aumento en los ingresos de las personas en las zonas aledañas de Pedernales y Jama, lo cual ha mejorado su estándar de vida posterior al terremoto de 2016.

En este caso de estudio para la prueba de la metodología presentada en el capítulo anterior se busca mejorar el manejo de desechos orgánicos dentro del proyecto por lo que se espera que con ayuda de la implementación del sistema de compostaje se puedan disminuir costos de compra de abonos para las zonas con vegetación, al igual que concientizar tanto a los trabajadores como a las familias que residen en el lugar en el manejo apropiado de desechos y su potencial en la elaboración de abono orgánico. Además, se busca ayudar también a los productores aledaños ya que no todo el compost obtenido será utilizado en el proyecto por lo que se donará una gran parte a las personas del pueblo de Jama para su uso particular.

## 5.2 Evaluación del potencial de implementación de un sistema de compostaje

Al encontrarse en la costa ecuatoriana, Jama cuenta con un clima tropical, donde hace calor todos los meses tanto en la estación seca como la húmeda. El promedio de temperatura es de 16°C, la precipitación media anual es 1,626 mm (milímetros de agua=1 litro de agua/m<sup>2</sup>) y la humedad media del ambiente es del 86%. En la tabla A2 del anexo A se presenta la variación de lluvia, temperatura, horas de sol, fuerza del viento e índice UV para Jama [16].

Para determinar la producción de desechos orgánicos por una persona, se tomaron los promedios mencionados en la sección 3.3.4. y se los calculó para la cantidad actual de personas dentro del proyecto al igual que la producción diaria y mensual para la población, estos valores se encuentran presentados en la tabla (3).

Tabla 5. Producción promedio de desechos Costa Jama

Residentes	Desechos orgánicos promedio (kg/hab/día)	Total desechos diarios (kg/día)	Total desechos mensual (kg/mes)
139	0.47	65.33	1959.9

Con los valores obtenidos para el flujo de desechos generados, se realiza el diseño para el sistema de compostaje abierto de pila considerando que la producción se seguirá manteniendo en un periodo de 5-6 meses mientras continúe la construcción de los nuevos edificios.

Para el diseño del sistema de compostaje regular, se realizará un sistema abierto de pila tomando en cuenta que se dispone del espacio suficiente para realizar el diseño y, además, se cuenta con el equipo y personal necesario para el transporte y manejo de la materia prima. Una vez calculado el flujo de materia prima se determina el volumen del sistema de compostaje considerando que la densidad de esta es el promedio del rango recomendado, es decir, de 325 kg/m<sup>3</sup>.

$$V = \frac{1959.9kg}{325kg/m^3} = 6.03m^3 \sim 6.50m^3$$

En este caso, se aproxima el valor para tener un espacio extra en caso de que exista una variación en el flujo de residentes dentro del proyecto, ya que durante temporadas de alto flujo turístico puede aumentar la cantidad de personas que hacen uso de sus departamentos o casa lo cual incrementa la cantidad de desechos que se producen.

Al momento de determinar las dimensiones de la pila se debe considerar que la altura de esta disminuye a lo largo del proceso aproximadamente en un 50%, esto es debido a que la materia orgánica se compacta al igual que pierde carbono que es liberado durante el proceso como CO<sub>2</sub>. Tomando esto en consideración, se puede dar un valor de 1.5 metros de altura y 2 metros de ancho obteniendo así:

$$V = l * a * h$$

$$6.5m^3 = l * 2m * 1.5m$$

$$l = \frac{6.5}{3}$$

$$l = 2.17m \sim 2.20m$$

De igual manera, el valor se aproxima en un rango menor por si hay algún incremento o cambio en la actividad dentro del proyecto. En la imagen 4 se muestra el modelo dimensionado de la pila de compost.

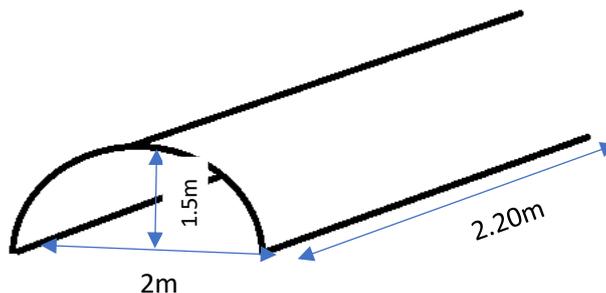


Figura 7. Dimensionamiento pila de compostaje

Para la construcción se utilizará el diseño de “colchón” ya que siendo en una zona con alta vegetación se cuenta con los materiales necesarios para su armado (ramas y hojas secas); esto se lo realizará a la altura del suelo para que la aireación del sistema sea constante con ayuda de la altura de las ramas y hojas añadidas.

### 5.3 Operación y mantenimiento del sistema de compostaje regular

Para la parte de operación se utilizará la metodología propuesta en la sección 4.4. donde se cuenta con lineamientos para el manejo adecuado del sistema de compostaje al igual que un checklist con el que los operadores pueden guiarse al momento de tomar las decisiones de alimentación, de volteo y de análisis de humedad del compost.

#### 5.3.1 Selección de materiales y ubicación

Para la selección de materiales se considera la normativa de plásticos biodegradables la cual indica qué tipo de plásticos son los recomendables para un proceso de compostaje. Dichos materiales pueden ser tanto fundas como utensilios para alimentos (cubiertos, platos, vasos, etc.). Estos materiales pueden distinguirse por el color o por las marcas que agregan las empresas productoras de estos implementos lo cual hace más sencilla su clasificación. En el caso de materiales sintéticos, se recomienda evitar su uso para el sistema de compostaje dado

que al no ser degradables en el tiempo requerido causarían estancamiento; además, en caso de segregarse algún químico usado como aditivo en los desechos plásticos pueden afectar el proceso y contaminar el compost.

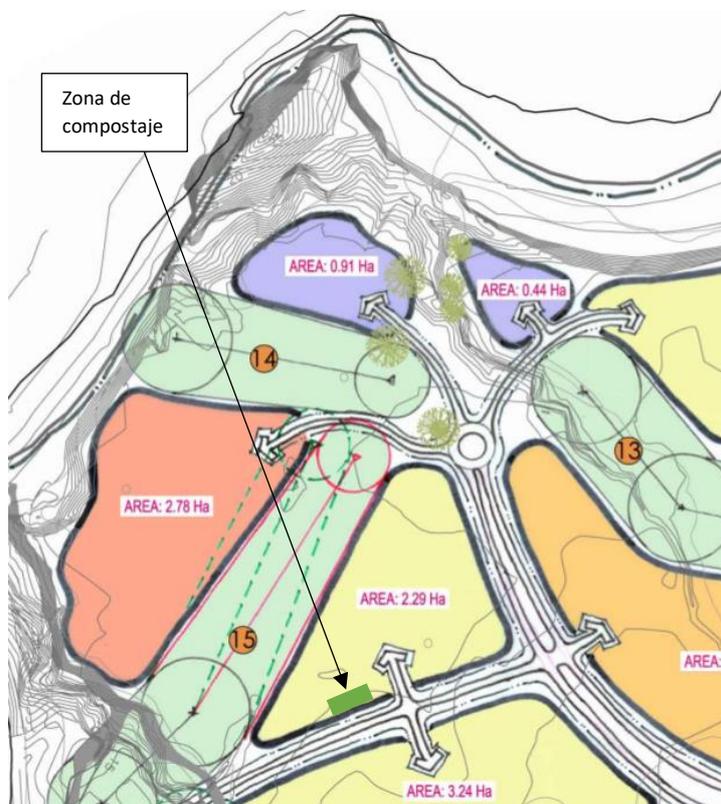


Figura 8. Plano del proyecto Costa Jama para la implementación del sistema de compostaje

Se planea realizar la construcción de la pila en una zona alejada del proyecto de vivienda para que el olor emitido en la fase inicial del proceso no sea percibido en la zona residencial. Como se muestra en la imagen 5, la zona de compostaje que se encuentra en la zona amarilla del proyecto está alejada de la zona residencial (zona morada) la cual tiene un acceso directo desde la ruta principal.

### **5.3.2 Costos de fabricación y operación**

Por conveniencia para facilitar la selección de los tipos de desechos, se puede utilizar tachos de basura distintos para la distribución de materia orgánica y sintética pero dado que se va a realizar una clasificación en la parte de operación no se ve como algo indispensable. Además, al ser una zona con abundante vegetación, el personal de mantenimiento cuenta con las herramientas necesarias para el volteo y la remoción de hojas del suelo teniendo así, como costo de materiales, plástico para evitar que el sistema de compostaje sea afectado por la lluvia; el costo de 50 metros de plástico negro es de \$57.00 el cual se estima que dure aproximadamente un año en caso de que se lo cambie al final de cada proceso de compostaje. De igual manera el costo de operación se puede incluir dentro del pago previamente realizado mensualmente a los operadores del proyecto, para esto se requerirá de 2 operadores que volteen el material lo cual les tomará aproximadamente 2 horas incluyendo el llenado del checklist para evaluar el estado en el que se encuentra el sistema. Para la zona de empaque se construirá un pequeño cuarto de 4 m<sup>2</sup> que tendrá un costo aproximado de \$500.00 como se presenta en la tabla A3 del anexo A. Además, se estima un costo de empaque en costales de lona que tienen un costo de \$0.25 cada saco.

### **5.4 Conclusión**

Se pudo diseñar un sistema de compostaje adecuado para el proyecto Costa Jama considerando todos los factores involucrados para su implementación dentro del mismo. Se determinaron los costos que tendrá la construcción y operación de este haciéndolo un sistema adecuado y práctico para el manejo de desechos dentro del resort. La elaboración de este sistema tendrá un impacto en el aspecto de la obra ya que parte del producto final será donado a zonas aledañas para su utilización en plantaciones donde se vea la necesidad de un abono orgánico.

## 6. CONCLUSIONES

El crecimiento poblacional ha generado un aumento en la cantidad de desechos orgánicos producidos alrededor del mundo, haciendo que las personas recurran a nuevos métodos de tratamiento de estos. Debido a esto, los sistemas de compostaje urbano han crecido en distintas partes del mundo por lo que la falta de guías y lineamientos se han visto presentes al momento de escoger este método como el más adecuado para el manejo de desechos. Actualmente no se encuentra información de cómo evaluar estos sistemas para su selección o su implementación en sectores urbanos causando complicaciones en la construcción y operación de estos. Tanto la necesidad de un método para su selección, así como para su elaboración se ha hecho presente últimamente por lo que se generó una guía de fácil implementación esperando que sirva como base para futuros proyectos o normativas donde se consideren los parámetros explicados, de manera que la construcción de estos sistemas se lleve de mejor manera.

Considerando el terremoto de Manabí en 2016 y los esfuerzos realizados para su reconstrucción, se espera generar conciencia en base a la ayuda social que se puede brindar en caso de proyectos grandes u obras independientes utilizando estos sistemas para controlar de mejor manera los desechos producidos en los mismos y colaborar a las zonas aledañas en caso de que se requiera. Con el fin de lograr mejorar los antecedentes propuestos, este proyecto tiene como objetivo general proponer una metodología integral de fácil uso para la evaluación del potencial de implementación, construcción, y operación de sistemas de compostaje.

Utilizando dos de los tres objetivos específicos se logró establecer una metodología para la evaluación del potencial de implementación de sistemas de compostaje en base a parámetros clave al igual que, para el diseño, construcción y operación de sistemas de

compostaje regular. Dichos objetivos se cumplieron en su totalidad dado que se realizó una guía completa para la evaluación de los distintos sistemas de compostaje y cómo seleccionarlos de acuerdo con la zona donde se vaya a realizar considerando distintos parámetros. Además, se generó una guía para la evaluación, diseño, construcción y operación para un sistema de compostaje regular tomando en cuenta los modelos existentes para su elaboración y los pasos a seguir en caso de que se requiera el armado de uno.

A razón de comprobar la metodología propuesta en el segundo objetivo se llevó a cabo un caso de estudio donde se realiza un sistema de compostaje regular en el proyecto inmobiliario Costa Jama en la provincia de Manabí. Se demostró la factibilidad de esta implementación utilizando el espacio necesario para que se lleve a cabo su elaboración, de igual manera se tomaron en cuenta los distintos parámetros presentados con el fin de generar un espacio apropiado para que el sistema de compostaje no presente ninguna variación a lo largo de todo el proceso. Además, se elaboró un checklist para que la revisión del sistema se lleve a cabo de manera organizada por parte de los operadores.

Una vez que se cumplieron los objetivos previamente mencionados se pudo ver que el objetivo principal del proyecto fue exitoso en su totalidad gracias a que se pudo elaborar ambas metodologías tanto para la selección de sistemas de compostaje como para la construcción y operación de uno de compost regular. Además, con ayuda del caso de estudio se pudo demostrar la factibilidad de ambas metodologías volviendo a este proyecto uno de fácil implementación para distintas zonas. Considerando que actualmente no hay lineamientos o normativas para su construcción se recomienda que, para un próximo proyecto con un mismo enfoque, se generen más propuestas como base para la creación y mejoras de estas normas.

Una vez cumplidos estos objetivos se espera que como resultado las personas dispuestas a realizar un manejo adecuado de desechos consideren esta metodología como algo práctico y

fácil de usar. También, que se puedan utilizar como base para futuras propuestas y normativas con el fin de mejorar la implementación de estos sistemas y que se popularicen más entre las personas que residen tanto en lugares rurales como urbanos para reducir el impacto ambiental que se tiene al no tratar los desechos de una manera adecuada.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] B. P. Virginia Streeter, "Residential Food Collection," Biocycle, Austin, 2017.
- [2] G. NYC, "Keeping Up Composting During COVID-19," GROW NYC, Nueva York, 2020.
- [3] G. NYC, "June Compost Giveback," GROW NYC, Nueva York, 2021.
- [4] O. d. l. N. U. p. l. A. y. Agricultura, "Cinco formas de lograr que las ciudades sean más saludables y sostenibles," FAO, 2020.
- [5] BBC, "Terremoto de magnitud 7,8 en la zona costera de Ecuador deja más de 600 muertos," *BBC*, p. 2, 2016.
- [6] M. P. Román, "Manual de compostaje del agricultor," *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*, p. 112, 2013.
- [7] Infoagro, "Infoagro," [Online]. Available: <https://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>. [Accessed 06 Junio 2021].
- [8] Estructplan, "Estructplan," 1 Enero 2000. [Online]. Available: <https://estructplan.com.ar/propiedades-del-compost/>. [Accessed 06 Junio 2021].
- [9] Tarpui, "Tarpui," 2021. [Online]. Available: <http://www.tarpui.com/producto/biocompost-abono-organico/>. [Accessed 06 Junio 2021].
- [10] M. Libre, "Mercado Libre," [Online]. Available: [https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-431277211-compost-abono-organico-humificado-en-sangolqui-30kilos-7-\\_JM#position=2&search\\_layout=stack&type=item&tracking\\_id=a48f1abc246-403f-8eb2-9f9b91bb1616](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-431277211-compost-abono-organico-humificado-en-sangolqui-30kilos-7-_JM#position=2&search_layout=stack&type=item&tracking_id=a48f1abc246-403f-8eb2-9f9b91bb1616). [Accessed 06 Junio 2021].
- [11] M. B. Acosta, "Ecología verde," 09 Abril 2020. [Online]. Available: <https://www.ecologiaverde.com/como-hacer-compost-casero-2709.html>. [Accessed 06 Julio 2021].
- [12] J. A. Mula, "Agromática," 2012. [Online]. Available: <https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/>. [Accessed 30 Junio 2021].

- [13] D. C. Bueno, "CSIC," 2008. [Online]. Available: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>. [Accessed 30 Junio 2021].
- [14] I. Instituto Ecuatoriano de Normalizacion, "Especificación para plásticos compostables," INEN, Quito, 2012.
- [15] I. G. F. Vicente, "360 Soluciones Verdes," 03 Julio 2020. [Online]. Available: <https://www.360-sv.com/blog/tipos-de-compostaje>. [Accessed 30 Junio 2021].
- [16] L. P. Y. Salinas, "Manual de compostaje para zonas frías," Universidad de Magallanes , Punta Arenas, 2018.
- [17] EMASEO, "Plan de servicios de aseo," EMASEO, Quito, 2010.
- [18] A. C. d. S. Fronteres, "Manual de producción de compost," ASOPRECO, Puyo, 2018.
- [19] MANBEARPIG, "Double-Decker Drum Composter," TutorialTub, 2008.
- [20] C. e. red, "¿Qué es el compost?," Composta en red, 2019.
- [21] S. A. Y. G. R. D. ATACAMA, "PAUTA TECNICA PARA LA APLICACIÓN DE COMPOST," SAG, Atacama, 2017.
- [22] [cuandovisitar.com.ec](http://cuandovisitar.com.ec), "Mejor época para viajar Jama, Ecuador," [cuandovisitar.com.ec](http://cuandovisitar.com.ec), Jama.

## 8. ANEXOS

### A. Tablas

Tabla A 1. Relación C:N



Tabla A 3. Cotización de materiales para zona de empaque de compost

Cantidad	Material	Costo Unitario	Costo Total
210	Bloque	\$ 0.30	\$ 63.00
4	Cemento (Quintales)	\$ 8.00	\$ 32.00
6	Arena (Carretillas)	\$ 1.50	\$ 9.00
5	Columnas de Armex	\$ 26.00	\$ 130.00
3	Palos largos de madera	\$ 5.00	\$ 15.00
3	Hojas de zinc	\$ 23.33	\$ 70.00
2	Libras de clavos	\$ 1.50	\$ 3.00
1	Contrapiso	\$ 150.00	\$ 150.00

## B. Cotizaciones

CODIGO	DESCRIPCION	CANT.	P.UNITARIO	TOTAL
35599	PICAPORTE GALVANIZADO 5" NATIONAL	1	4,49	4,49
289876	PLASTICO POLIET NEGRO 0,6CAX2M C/M	100	1,15	115,00
521023	TALADRO EINHELL 1/2P 550W PVVR HOBBY	1	39,00	39,00
567817	PALA CUADRADA D MANIJA PLASTICA PRETUL PEQ	1	11,49	11,49
* 673528	RASTRILLO 16 DIENTES CLASICO TRUPER	1	11,75	11,75
693898	BISAGRA BRONCE SATINADO 4" FANAL 3PZ	1	5,43	5,43
850209	TANQUE INDUSTRIAL 55GL PLASTIGAMA	1	63,25	63,25

Figura B 1. Cotización de materiales para sistema de compostaje regular

## 9. Dedicatoria

Quiero agradecer únicamente a mi padre y a mi hermano por siempre creer que lo lograría y ser mi apoyo todos estos años. Muchas gracias de todo corazón.