

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA  
MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMIA**

**EXAMEN PROFESIONAL**



**“IMPLEMENTACIÓN DE MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS  
EN ÁREAS VERDES”**

**Presentado por:**

**LUIS ALBERTO VILA RODOLFO**

**Trabajo Monográfico para optar el Título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**Lima - Perú**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**TITULACIÓN  
EXAMEN PROFESIONAL 2017**

Los Miembros del Jurado, luego de someter al Bachiller LUIS ALBERTO VILA RODOLFO a los respectivos exámenes y haber cumplido con presentar el Trabajo Monográfico titulado: IMPLEMENTACIÓN DE MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN ÁREAS VERDES, lo declaramos:

**A P R O B A D O**

.....  
Ing. Saray Siura Céspedes  
**PRESIDENTE**

.....  
Ing. Mg. Sc. Ruby Vega Ravello  
**MIEMBRO**

.....  
Ing. Mg. Sc. Juan Carlos Jaulis Cancho  
**ASESOR**

LIMA - PERU

2017

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	1
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.	MATERIA ORGÁNICA .....	3
2.2.	RESIDUOS ORGÁNICOS .....	6
2.3.	ABONOS ORGÁNICOS .....	6
2.4.	COMPOSTAJE .....	7
2.5.	FASES DEL COMPOSTAJE.....	7
2.6.	FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	10
2.7.	TAMAÑO DE LA PILA O VOLUMEN EN COMPOSTAJE.....	18
2.8.	HIGIENIZACIÓN E INOCUIDAD DEL COMPOST.....	19
2.9.	MATERIAL COMPOSTABLE.....	21
2.10.	USO DEL COMPOST .....	22
2.11.	COMPOSICIÓN DEL COMPOST .....	23
2.12.	HUMUS.....	23
2.13.	VERMICOMPOST .....	23
2.14.	VERMICOMPOSTAJE .....	24
2.15.	REQUERIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE LOMBRICES.....	26
2.16.	CONDICIONES AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE LA LOMBRIZ ROJA .....	27
2.17.	PRODUCCIÓN DE VERMICOMPOST .....	28
2.18.	RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS .....	29
2.19.	DIGESTIÓN ANAERÓBICA .....	30
2.20.	BIODIGESTORES .....	31
2.21.	MICROORGANISMOS EFICIENTES .....	31
2.22.	BIOSOL .....	32
2.23.	BIOL.....	34
III.	IMPLEMENTACIÓN DE MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN ÁREAS VERDES .....	37
3.1.	DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN .....	37
3.2.	PROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS.....	39
3.2.1.	COMPOSTAJE .....	40
3.2.1.1.	Implementación.....	40
3.2.1.2.	Operación .....	42
3.2.1.3.	Problemas.....	44
3.2.1.4.	Soluciones.....	44

3.2.1.5. Resultados .....	45
<b>3.2.2. LOMBRICULTURA .....</b>	<b>49</b>
3.2.2.1. Implementación.....	49
3.2.2.2. Operación .....	51
3.2.2.3. Problemas.....	53
3.2.2.4. Soluciones.....	53
3.2.2.5. Resultados .....	54
<b>3.2.3. DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE RESIDUOS ORGÁNICOS ALIMENTICIOS .....</b>	<b>55</b>
3.2.3.1. Implementación.....	55
3.2.3.2. Operación .....	58
3.2.3.3. Problemas.....	59
3.2.3.4. Soluciones.....	60
3.2.3.5. Resultados .....	60
<b>3.3. DISCUSIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>63</b>
<b>V. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>VI. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>65</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1: Control de aireación.....</b>	<b>11</b>
<b>Tabla 2: Parámetros de humedad óptimos.....</b>	<b>13</b>
<b>Tabla 3: Parámetros de temperatura óptimos .....</b>	<b>14</b>
<b>Tabla 4: Parámetros de pH óptimos .....</b>	<b>15</b>
<b>Tabla 5: Parámetros de la relación C:N .....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 6: C:N de algunos materiales usados en el compostaje .....</b>	<b>16</b>
<b>Tabla 7: Control del tamaño de partícula .....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 8: Parámetros del compostaje.....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 9: Cantidad de compost aplicable según el tipo de planta y su tamaño.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 10: Composición del compost .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 11: Propiedades químicas del vermicompost.....</b>	<b>24</b>
<b>Tabla 12: Dosis de empleo de Vermicompost .....</b>	<b>29</b>
<b>Tabla 13: Comparación de la composición de Nutrientes del Estiércol Vacuno y Mezclas de Biol + Biosol (% en peso de materia seca) .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabla 14: Composición bioquímica del Biol.....</b>	<b>35</b>
<b>Tabla 15: Producción anual de compostaje de la Granja Villa Sur .....</b>	<b>46</b>
<b>Tabla 16: Insumos químicos utilizados para la nutrición de las plantas.....</b>	<b>47</b>

<b>Tabla 17: Cantidad de Metano (CH<sub>4</sub>) dejado de liberar al medio ambiente con el compostaje .....</b>	<b>48</b>
<b>Tabla 18: Producción anual de vermicompost en Granja Villa Sur.....</b>	<b>54</b>
<b>Tabla 19: Producción anual de biosol en la Granja Villa Sur.....</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1: Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo .....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 2: Temperatura, oxígeno y pH en las fases del compostaje.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 3: Dimensiones de una pila de compostaje para pequeño agricultor .....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 4: Ciclo de vida de la lombriz roja californiana .....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 5: Instalaciones del club con áreas verdes .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 6: Instalaciones del club con corrales de ganado vacuno .....</b>	<b>38</b>
<b>Figura 7: Esquema de Programa de Manejo de Residuos Orgánicos .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 8: Acopio de guano vacuno de los corrales.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 9: Descarga de guano a pila de compostaje.....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 10: Formación de pila de compostaje .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 11: Volteo de pila de compostaje.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 12: Obtención de compost con cernido.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 13: Aplicación de compost al suelo del parque .....</b>	<b>44</b>
<b>Figura 14: Producción anual de compost en la Granja Villa Sur .....</b>	<b>46</b>
<b>Figura 15: Cantidades de insumos químicos utilizados en la nutrición de las plantas y producción de compost .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 16: Cantidad de Metano (CH<sub>4</sub>) dejado de liberar al medio ambiente con la Implementación del Compostaje.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 17: Núcleo de lombrices rojas en desarrollo .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 18: Cama de crianza de lombriz cubierta .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 19: Riego de cama de lombrices rojas .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 20: Obtención de vermicompost .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 21: Producción anual de vermicompost en Granja Villa Sur .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 22: Interior de biodigestor con coladera interior.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 23: Batería de biodigestores .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 24: Llenado de biodigestor con residuos frescos de papa.....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 25: Obtención de biol.....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 26: Producción anual de biosol en la Granja Villa Sur .....</b>	<b>61</b>

## RESUMEN

El presente trabajo de Implementación de Manejo de Residuos Orgánicos en Áreas Verdes, consta en la puesta en práctica de los procesos de tratamiento de la materia orgánica mediante las técnicas de Compostaje, Vermicompostaje y la Digestión Anaeróbica; esto en el marco de un Programa de Manejo de Residuos Orgánicos implementado en el club recreativo La Granja Villa y su Mundo Mágico. Como fuente de materia orgánica en el Compostaje, se tiene principalmente el guano vacuno procedente de los corrales de crianza intensiva y restos vegetales secos (pajas, heno de alfalfa, podas de césped, entre otros). Todos estos insumos son compostados mediante el sistema de pilas, cuyo producto (compost) sirve para abastecer de alimento al siguiente proceso de Lombricultura. Como producto de este último proceso, se obtiene el vermicompost que viene a ser el compost digerido por la lombriz roja californiana *Eisenia foetida*. Esta lombriz es criada en una cama o contenedor en condiciones adecuadas de humedad, luz y temperatura. Adicionalmente se implementó el proceso de Digestión Anaeróbica en donde se utiliza residuos sólidos orgánicos procedentes de los restos de alimentos para la producción de abonos Biosol y Biol. Los productos obtenidos en estos diferentes procesos son variables en sus propiedades físicas, químicas y biológicas, debido a la heterogeneidad de la materia prima utilizada en las diferentes estaciones del año. La Granja Villa en el año 2011 producía 40 TM de residuos orgánicos, los cuales se disponían a un relleno sanitario lo que suponía un costo para la empresa. En la actualidad, con la Implementación del Manejo de Residuos Orgánicos se ha logrado obtener una producción de 20 TM de compost, 110 Kg. de vermicompost y 1000 Kg. de biosol por año. Así mismo se ha reducido en un 86 por ciento la compra de fertilizantes químicos y se ha dejado de liberar al medio ambiente 1500 m<sup>3</sup> de gas metano. De esta manera, la implementación del manejo de residuos orgánicos, juega un rol muy importante en el funcionamiento de la empresa, desde el punto de vista económico, social y ambiental.

**PALABRAS CLAVE:** Materia orgánica; Compost; Lombricultura; Digestión anaeróbica; Áreas verdes.

## **I. INTRODUCCIÓN**

En la actividad agrícola, el suelo es uno de los recursos más importantes; sin embargo, el manejo y cuidado que se le brinda, no es suficiente. Para mejorar el potencial nutricional del suelo, es necesario mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas; para ello, se recomienda la incorporación de materia orgánica, que puede proceder de diferentes actividades y fuentes.

En el manejo y conservación de suelos se tiene como medida la incorporación de materia orgánica, que puede proceder del aprovechamiento de los residuos orgánicos producidos en la actividad agropecuaria y urbana.

El compostaje es la descomposición de los residuos orgánicos aprovechables, el cual consiste en la conversión de la materia orgánica disponible en abonos orgánicos para incorporar al suelo y nutrir a las plantas.

El compost y el vermicompost, se obtienen de los procesos de compostaje y de vermicompostaje, respectivamente.

Según Informe Anual de Residuos Sólidos del Ministerio del Ambiente el 45 por ciento del total de los desechos son de procedencia orgánica. Por lo tanto, la producción de abonos orgánicos, es una de las actividades que contribuye al manejo sostenible de estos residuos, que se generan en las actividades antrópicas. Esta práctica contribuye a mitigar la contaminación ambiental y a la obtención de materia orgánica estabilizada.

Así mismo, se viene implementando otras tecnologías como la digestión anaeróbica, para la conversión de estos residuos orgánicos a través del uso de reactores denominados biodigestores. Los residuos orgánicos domiciliarios son una fuente importante para abastecer a un biodigestor, donde se produce la digestión anaeróbica y se generan los abonos orgánicos biosol y biol.

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los abonos orgánicos producidos en la digestión anaerobia, dependen de la composición de los residuos orgánicos domiciliarios procesados.

El uso de microorganismos eficientes (EM) permite mejorar la eficiencia de la digestión anaerobia de los residuos orgánicos domiciliarios, así como mejorar las propiedades de calidad de los abonos orgánicos obtenidos. También permite mejorar el tiempo de obtención de compost en sistemas abiertos.

En el presente trabajo se desarrolla la implementación de los procesos abiertos de compostaje y vermicompostaje; utilizando como materia prima los residuos generados en la crianza de animales de corral y los restos de poda del mantenimiento de las áreas verdes. Estos procesos se complementan con la biodigestión de residuos orgánicos domiciliarios, los cuales son incorporados en el compostaje (biosol).

Todos estos procesos contribuyen al manejo sostenible de los residuos orgánicos; así mismo, reduce el consumo de insumos químicos externos (fertilizantes edáficos y abonos foliares) por lo tanto, el costo del mantenimiento de las áreas verdes.

## **II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. MATERIA ORGÁNICA**

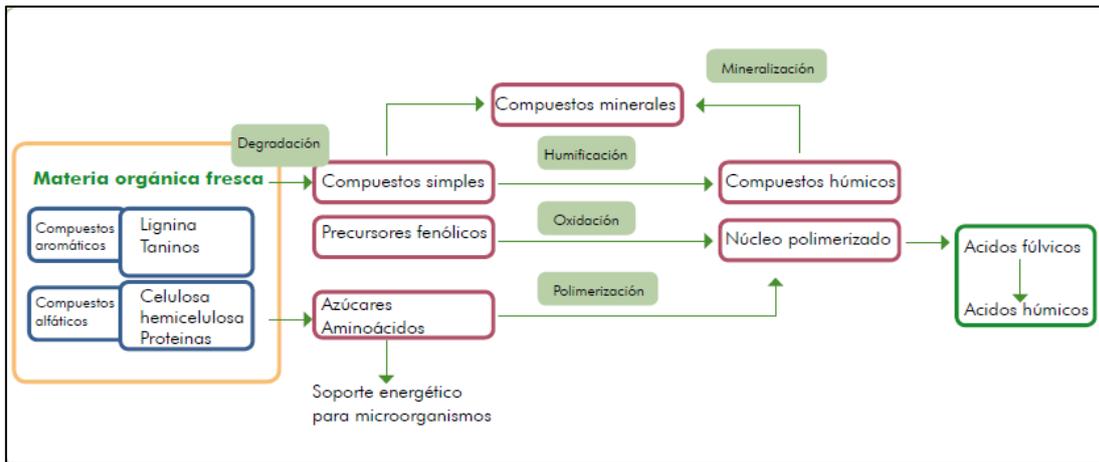
La materia orgánica es uno de los más importantes componentes del suelo. Si bien nos imaginamos que es un solo compuesto, su composición es muy variada, pues proviene de la descomposición de animales, plantas y microorganismos presentes en el suelo o en materiales fuera del predio. Es justamente en esa diversa composición donde radica su importancia, pues en el proceso de descomposición, muy diversos productos se obtienen, que actúan como ladrillos del suelo para construir materia orgánica. (FAO, 2013).

Aunque no existe un concepto único sobre la materia orgánica del suelo, se considera que la materia orgánica es cualquier tipo de material de origen animal o vegetal que regresa al suelo después de un proceso de descomposición en el que participan microorganismos.

Puede ser hojas, raíces muertas, exudados, estiércoles, orín, plumas, pelo, huesos, animales muertos, productos de microorganismos, como bacterias, hongos, nematodos que aportan al suelo sustancias orgánicas o sus propias células al morir.

Estos materiales inician un proceso de descomposición o de mineralización, y cambian de su forma orgánica (seres vivos) a su forma inorgánica (mineral, soluble o insoluble).

Estos minerales fluyen por la solución de suelo y finalmente son aprovechados por las plantas y organismos, o estabilizados hasta convertirse en humus, mediante el proceso de humificación (Figura 1).



**Figura 1: Esquema de la evolución de la materia orgánica que llega al suelo**

FUENTE: Adaptado de Ribó 2004

Este mismo proceso ocurre en una pila de compostaje y en el suelo, la materia orgánica compuesta por azúcares complejos (lignina, celulosa, hemicelulosa, almidón, presentes en los residuos vegetales especialmente) y proteínas (presentes en los residuos animales especialmente), es atacada por microorganismos, quienes la descomponen para formar más microorganismos. En esta transformación, se genera también biomasa, calor, agua, y materia orgánica más descompuesta. Sin embargo, en el suelo, no se habla de compostaje pues el proceso puede darse en condiciones aeróbicas o anaeróbicas (como los cultivos de arroz bajo inundación), y no se presentan las fases características de calentamiento (o termófila o de higienización). Esto quiere decir que los microorganismos que estén presentes, por ejemplo en el estiércol vacuno (al ser aplicado fresco a campo o al dejar el mojón sin remover) quedan los huevos y quistes de parásitos.

La materia orgánica puede ser aplicada al suelo en las siguientes formas (FAO, 2013):

- Fresca, como el caso de los estiércoles en el mismo potrero,
- Seca, como en el caso del mulch o de las coberturas muertas producto de los residuos de cosecha (paja o barbecho),
- Procesada, bien sea en forma de compost, vermicompost, purines o estabilizados (por ejemplo de estiércol o guano de aves- gallinaza, pavo).

Una vez alcanza el máximo grado de descomposición, todas estas sustancias que quedan en el suelo, inician la formación de complejos de carbono, altamente estables y de lenta degradación.

Este nuevo material es el humus. Es entonces el material más estabilizado, como ácidos húmicos y fúlvicos que ha sufrido un proceso de mineralización, con participación de microorganismos y luego un proceso de humificación.

Las sustancias húmicas que hacen parte de la materia orgánica se forman por degradación química y biológica de los residuos vegetales y animales, y por actividades de síntesis llevadas a cabo por microorganismos del suelo.

El contenido de la materia orgánica en suelos varía entre 2 y 8 g. de materia orgánica por kg. de suelo, el primer número corresponde a los desiertos, el segundo a las turberas, siendo usual que los suelos minerales contengan entre 10 y 40 g. de materia orgánica por kg. de suelo en el horizonte más superficial (Magdoff y Weil, 2004).

La cantidad de materia orgánica, sin embargo, no solo depende de los microorganismos del suelo, sino que también del tipo de suelo, la vegetación, las condiciones ambientales como humedad y temperatura. El incremento de lluvias o riego, y en condiciones de temperatura media, los microorganismos se multiplican, consumen más materia orgánica y la descomposición es continua. Por ello, la aplicación de materia orgánica en suelos debe ser una práctica permanente, pensando no solamente en incrementar el porcentaje de materia orgánica o en alimentar a los microorganismos del suelo, sino también en los diversos beneficios que aporta al suelo (FAO, 2013):

Mejora las propiedades físicas:

- Facilitando el manejo del suelo para las labores de arado o siembra.
- Aumentando la capacidad de retención de la humedad del suelo.
- Reduciendo el riesgo de erosión.
- Ayudando a regular la temperatura del suelo (temperatura edáfica).
- Reduciendo la evaporación del agua y regulando la humedad.

Mejora las propiedades químicas:

- Aportando macronutrientes, como N, P, K y micronutrientes.
- Mejorando la capacidad de intercambio de cationes.
- Mejora la actividad biológica:

- Aportando organismos (como bacterias y hongos) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en nutrientes para las plantas y degradar sustancias nocivas.
- Mejorando las condiciones del suelo y aportando carbono para mantener la biodiversidad de la micro y macrofauna (lombrices).

Otros beneficios complementarios del proceso de compostaje están en la reducción de malos olores producto de la pudrición y en la eliminación de vectores como insectos y ratas. También tiene una función muy importante en la eliminación de patógenos humanos, bacterias contaminantes de alimentos, de las semillas de malezas y otras plantas no deseadas.

## **2.2. RESIDUOS ORGÁNICOS**

Se refiere a todos aquellos que tienen su origen en los seres vivos, animales o vegetales. Incluye una gran diversidad de residuos que se originan naturalmente durante el “ciclo vital”, como consecuencia de las funciones fisiológicas de mantenimiento y perpetuación o son producto de la explotación por el hombre de los recursos bióticos.

## **2.3. ABONOS ORGÁNICOS**

Son aquellas sustancias o compuestos de origen biógeno vegetal o animal que pertenecen al campo de la química orgánica, y que son en general incorporados directamente al suelo sin tratamientos previos.

Para aprovechar el potencial que los desechos orgánicos tienen como abonos, estos deben pasar por un proceso previo antes de su integración al suelo, de forma tal que, el material que definitivamente se aporte, haya transcurrido por los procesos más enérgicos de la mineralización, se presente desde el punto de vista de la biodegradación de la forma más estable posible, y con los macro y micro nutrientes en las formas más asimilables posibles para los productores primarios. Una de las técnicas que permite esta biodegradación controlada de la materia orgánica previa a su integración al suelo es el Compostaje y el producto final es conocido como Compost.

## **2.4. COMPOSTAJE**

Uno de los problemas ambientales de las explotaciones agrícolas son los residuos orgánicos que se generan (restos de poda, de cosecha, de post-cosecha, estiércol, pasto, fruta caída, entre otros). Normalmente, debido al desconocimiento, a la falta de un espacio adecuado, o de tiempo, las prácticas habituales con estos residuos son la quema, el enterramiento o el abandono del material a la intemperie hasta su pudrición.

El compostaje proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes.

El Compostaje es un proceso controlado de transformación biológica aeróbica y termófila de los residuos orgánicos biodegradables que da lugar al compost. El Compostaje se puede definir como una biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica.

### **OBJETIVOS DEL COMPOSTAJE**

Transformación de un residuo biodegradable en un material estable (UAM, 2013):

- Reducción del potencial de los residuos para producir daños a la salud y al medioambiente (patógenos, contaminación de atmósfera, suelo y agua)
- Reducción de volumen (> 80 %); peso (> 60 %).
- Valorización de la materia orgánica mediante su transformación en compuestos húmicos estables: acondicionamiento y regeneración de suelos (sustitución 10% fertilizantes minerales).

Este tratamiento contribuye a generar una reserva de carbono, solamente si se consigue un compost estable: 57 kg. de CO<sub>2</sub> equivalente por t de compost aplicada al suelo.

### **2.5. FASES DEL COMPOSTAJE**

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas.

Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost.

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable (Figura 2). Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en (FAO, 2013):

- **Fase Mesófila**

El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

- **Fase Termófila o de Higienización**

Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores.

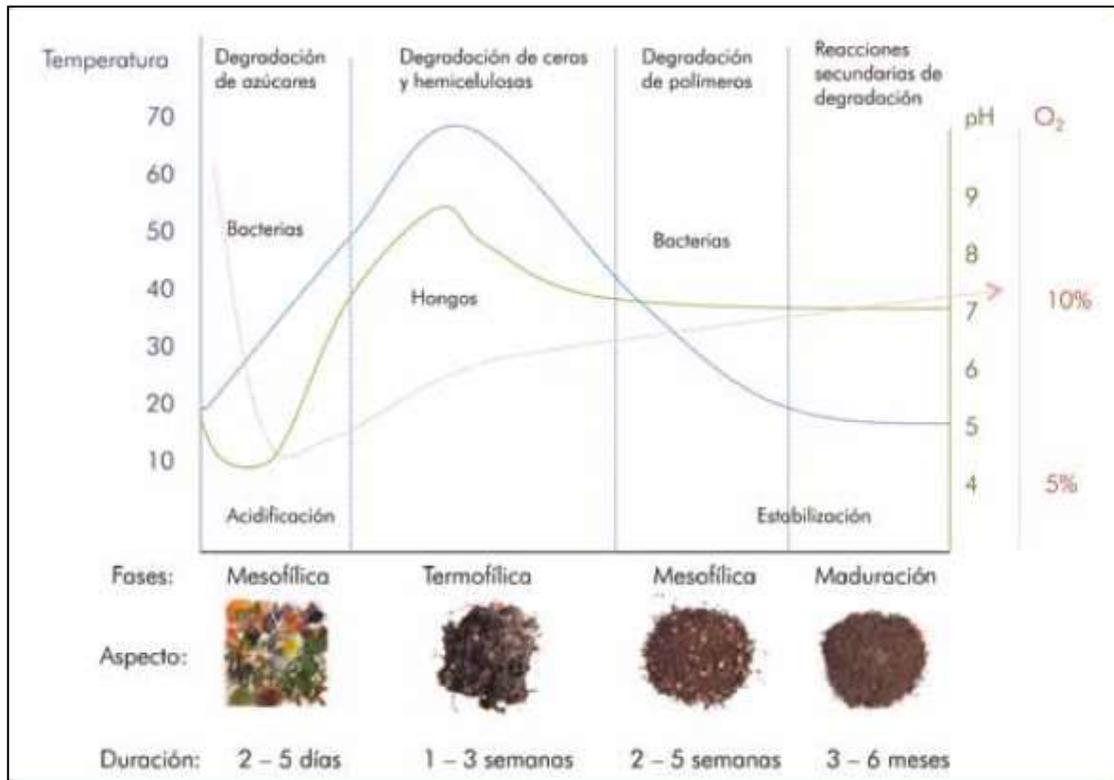
Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

#### - **Fase de Enfriamiento o Mesófila II**

Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

#### - **Fase de Maduración**

Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.



**Figura 2: Temperatura, oxígeno y pH en las fases del compostaje**

FUENTE: P. Roman, FAO

## 2.6. FACTORES QUE CONDICIONAN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Ya que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad de sustrato, temperatura, pH y la relación C:N.

Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén siempre dentro de un rango óptimo. A continuación se señalan los parámetros y sus rangos óptimos (FAO, 2013):

### Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica.

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) o metano (CH<sub>4</sub>) en exceso. En la Tabla 1 se presenta el control de aireación en el proceso de compostaje.

**Tabla 1: Control de aireación**

Porcentaje de aireación	Problema		Soluciones
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita aireación.
5% - 15% Rango ideal			
>15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado de material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines y otros).

FUENTE: FAO, 2013

### **Dióxido De Carbono (CO<sub>2</sub>)**

Como en todo proceso aerobio o aeróbico, ya sea en el compostaje o aun en la respiración humana, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el C presente en las materias primas

(substrato o alimentos) en combustible. A través del proceso de oxidación, el C se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis. Sin embargo, el CO<sub>2</sub> también es un gas de efecto invernadero, es decir, contribuye al cambio climático.

Durante el compostaje, el CO<sub>2</sub> se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kg. de CO<sub>2</sub> por cada tonelada, diariamente. El CO<sub>2</sub> producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis.

## **Humedad**

La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos, ya que, como todos los seres vivos, usan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular.

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.

En procesos en que los principales componentes sean sustratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas, la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped.

El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base (Tabla 2).

**Tabla 2: Parámetros de humedad óptimos**

Porcentaje de humedad	Problema		Soluciones
<45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines y otros).
45% - 60% Rango ideal			
>60%	Oxígeno insuficiente	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

FUENTE: FAO, 2013

## Temperatura

La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso.

El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente.

Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización. En la Tabla 3 se presentan los parámetros de temperatura óptimos a seguir en el proceso de compostaje.

**Tabla 3: Parámetros de temperatura óptimos**

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros).
	Material insuficiente	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura más de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T° ambiente >70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

FUENTE: FAO, 2013

## pH

El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (desde 4.5 a 8.5). En los primeros estadios del proceso, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro.

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0-7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 4,5 a 8,5 (Tabla 4).

**Tabla 4: Parámetros de pH óptimos**

pH	Causas asociadas		Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
4,5 - 8,5 Rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoniaco alcalinizando el medio.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín).

FUENTE: FAO, 2013

### **Relación Carbono-Nitrógeno (C:N)**

La relación C:N varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales a compostar.

Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1. En la Tabla 5 se presentan los parámetros de la relación C:N en el proceso de compostaje, y en la Tabla 6 la relación de C:N de diferentes materiales compostables.

**Tabla 5: Parámetros de la relación C:N**

C:N	Causas asociadas		Soluciones
>35:1	Exceso de carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
15:1 - 35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de nitrógeno	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín).

FUENTE: FAO, 2013

**Tabla 6: C:N de algunos materiales usados en el compostaje**

Nivel alto de nitrógeno 1:1 - 24:1		C:N equilibrado 25:1 - 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 - 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5:1	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

FUENTE: FAO, 2013

## Tamaño de Partícula

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 30 cm. (Tabla 7).

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 -250 kg/m<sup>3</sup>, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m<sup>3</sup>.

**Tabla 7: Control del tamaño de partícula**

<b>Tamaño de las partículas (cm)</b>	<b>Problema</b>		<b>Soluciones</b>
>30 cm	Exceso de aireación	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso.	Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10-20 cm.
5 - 30 cm. Rango ideal			
<5 cm	Compactación	Las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire, produciéndose anaerobiosis	Volear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar

FUENTE: FAO, 2013

En la Tabla 8 se presenta un resumen de los parámetros descritos durante las fases del compostaje.

**Tabla 8: Parámetros del compostaje**

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2-5 días)	Rango ideal en fase de enfriamiento (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C:N	25:1 – 35:1	15/20	10:1 – 15:1
Humedad	50-60%	45-55%	30-40%
Concentración de oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	< 25 cm.	~15 cm.	< 1.6 cm.
pH	6.5 – 8.0	6.0 - 8.5	6.5 – 8.5
Temperatura	45 – 60 °C	45 °C – Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 Kg./m <sup>3</sup>	< 700 Kg./m <sup>3</sup>	< 700 Kg./m <sup>3</sup>
Materia orgánica (base seca)	50-70%	>20%	>20%
Nitrógeno (base seca)	2.5 – 3%	1-2%	~1%

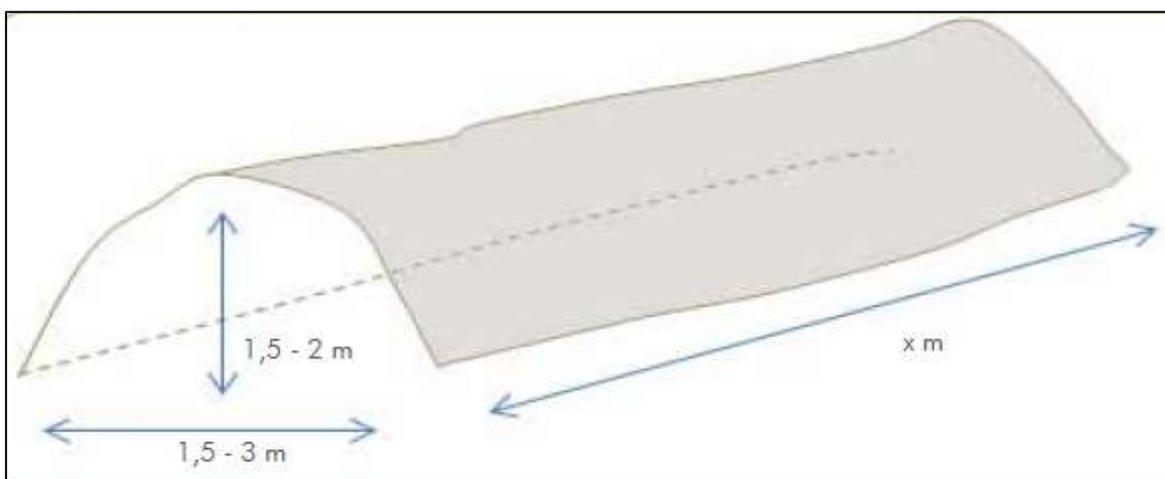
FUENTE: FAO, 2013

## 2.7. TAMAÑO DE LA PILA O VOLUMEN EN COMPOSTAJE

Existen diversos sistemas de compostaje: en pilas, en cajas o composteras, abiertas o cerradas (FAO, 2013):

En el caso del compostaje en pilas, el tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Normalmente, se hacen pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las

tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros (Figura 3). La longitud de la pila dependerá del área y del manejo.



**Figura 3: Dimensiones de una pila de compostaje para pequeño agricultor**

FUENTE: FAO, 2013

En el momento de estimar las dimensiones de la pila de compostaje, se debe tener en cuenta que durante el proceso de compostaje, la pila disminuye de tamaño (hasta un 50% en volumen) debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de  $\text{CO}_2$ .

## **2.8. HIGIENIZACIÓN E INOCUIDAD DEL COMPOST**

Como consecuencia de las elevadas temperaturas alcanzadas durante la fase termofílica, se destruyen las bacterias patógenas y parásitos presentes en los residuos de partida. En esta fase se da la higienización del material. En las fases siguientes podría ocurrir una recontaminación del material debido a varios factores, como por ejemplo, la utilización de utensilios contaminados con material fresco, como una pala para el volteo, o añadiendo material fresco después de la fase termófila.

Un compost maduro no debe contener compuestos tóxicos para las plantas o el ambiente. Así por ejemplo, la presencia de amoníaco y sulfatos ( $\text{NH}_3$  y  $\text{SO}_4$ ) en lixiviados generados por procesos de compostaje con exceso de humedad, favorecen la producción de ácido sulfhídrico y dióxido de nitrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$  y  $\text{NO}_2$ ) que junto con el metano, ( $\text{CH}_4$ ), son considerados gases efecto invernadero (GEI) con importantes impactos negativos en el medio ambiente, y en especial en el cambio climático.

En diferentes países latinoamericanos basados tanto en estándares de Estados Unidos (EPA) como de la Unión Europea (EU), han desarrollado normativas para definir la calidad del compost y su uso. Chile, Colombia, México, además de definir la calidad del compost, diferencian en dos clases, A y B, con o sin restricciones de uso, basados en la presencia de patógenos y metales pesados. Uno de los problemas del uso del compost está relacionado con la posibilidad de contener bacterias patógenas como *Salmonella spp.* y *Escherichia coli* (Islam, 2005) así como *Listeria monocytogenes* (Oliveira, 2011), y huevos de parásitos que pueden llegar a los consumidores a través del consumo de frutas y vegetales contaminados. Por eso es importante asegurar que un compost que se utilice, en especial para el cultivo de hortalizas de tallo corto o de hoja, así como para la producción de frutas, no contenga estos patógenos e indicadores de contaminación fecal. Otro aspecto fundamental es la presencia de metales pesados en compost, pues son compuestos que no se destruyen ni se descomponen, y pueden ser asimilados por las plantas, y luego por los animales y el hombre, a lo largo de la cadena trófica. La garantía de que el compost no contenga estos patógenos o metales pesados, además de tóxicos, hidrocarburos etc., es lo que se denomina inocuidad y ofrece la certificación al usuario del compost de que no va a contaminar los alimentos que abona.

La presencia de los patógenos en el compost viene en gran medida por el uso de estiércoles, seguido del uso de aguas contaminadas y de las personas que manipulan el compost (Bernal, 2009). Uno de los métodos para el control de estos es el empleo de temperaturas elevadas, de ahí la importancia en el control del tiempo y temperatura de la fase termofílica.

La inocuidad biológica del compost, depende de la temperatura que alcance el material, pero también de la humedad, la aireación y el tamaño de partícula. En una pila con adecuada humedad, la actividad microbiana hace que la temperatura se incremente, siendo mayor en el interior que en el exterior (Gong, 2007). De esta forma, al airear la pila o al realizar el volteo, se homogeniza la temperatura y la humedad y se pueden eliminar patógenos. Del mismo modo, el tamaño de partícula a compostar, la forma y tamaño de la pila también afectan la velocidad de aireación y la tendencia del material a retener o liberar calor. También debe considerarse la temperatura del lugar y las prácticas de gestión aplicadas en cada caso. Otro aspecto importante es la cantidad de microorganismos patógenos presentes en el compost pues si esta cantidad es alta se requerirá mayor tiempo para la eliminación de éstos.

## 2.9. MATERIAL COMPOSTABLE

La gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables. En la siguiente lista se hace una extensa relación de materiales que se pueden compostar (FAO, 2013):

- Restos de cosecha, plantas del huerto o jardín. Ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas caídas de árboles y arbustos. Heno y hierba segada. Césped o pasto (preferiblemente en capa fina y previamente desecada).
- Estiércol de porcino, vacuno, caprino y ovino, y sus camas de corral.
- Restos orgánicos de cocina en general (frutas y hortalizas). Alimentos estropeados o caducados. Cáscaras de huevo (preferible trituradas). Restos de café. Restos de té e infusiones. Cáscaras de frutos secos. Cáscaras de naranja, cítricos o piña (pocos y troceadas). Papas estropeadas, podridas o germinadas.
- Aceites y grasas comestibles (muy esparcidas y en pequeña cantidad).
- Virutas de serrín (en capas finas).
- Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (no impresos ni coloreados, ni mezclados con plástico).
- Cortes de pelo (no teñido), residuos de esquilado de animales.

No se deben incluir materiales inertes, tóxicos o nocivos tales como:

- Residuos químicos-sintéticos, pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículos, pinturas.
- Materiales no degradables (vidrio, metales, plásticos).
- Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o serrín).
- Tabaco, ya que contiene un biocida potente como la nicotina y diversos tóxicos.
- Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos.
- Animales muertos (estos deben ser incinerados en condiciones especiales, o pueden ser compostados en pilas especiales).
- Restos de alimentos cocinados, carne.

## 2.10. USO DEL COMPOST

El compost se puede aplicar semimaduro (en fase Mesófila II) o ya maduro (FAO, 2013).

El compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro.

Por otro lado, al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas.

La aplicación en horticultura del compost semimaduro es normalmente una aplicación de Primavera de 4 – 5 kg/m<sup>2</sup> en el terreno previamente labrado (coliflor, apio, papa, entre otros).

En cultivos extensivos, la aplicación es de 7 – 10 T/ha. de compost.

El compost maduro se usa en gran medida para plántulas, jardineras y macetas. Se suele mezclar (20%-50%) con tierra y otros materiales como turba y cascarilla de arroz como preparación de sustrato.

En la Tabla 9 se presentan cantidades recomendadas de compost a aplicar en diferentes cultivos.

**Tabla 9: Cantidad de compost aplicable según el tipo de planta y su tamaño**

Cultivo	Inicio	Mantenimiento
Semilleros	20 al 100%	
Floricultura	800 gr./m <sup>2</sup>	500 gr/m <sup>2</sup>
Frutales	6 Kg./ árbol	3 Kg./ árbol
Árboles forestales	3 - 6 Kg./ planta	2 -3 Kg./ planta
Rosales y leñosas	2 Kg./ m <sup>2</sup>	1 Kg./ m <sup>2</sup>
Césped	5 Kg./ m <sup>2</sup>	2 Kg./ m <sup>2</sup>
Hortalizas	250 gr./planta	

FUENTE: Emison, 2008

## 2.11. COMPOSICIÓN DEL COMPOST

Estos valores son típicos, y pueden variar mucho en función del material empleado para hacer el compost (Tabla 10).

**Tabla 10: Composición del compost**

Materia orgánica	65-70%	Relación C/N	10-11
Humedad	40-45%	Ácidos húmicos	2.5-3 %
Nitrógeno como N <sub>2</sub>	1.5 -2 %	pH	6.8 – 7.2
Fósforo como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	2 -2.5 %	Carbono orgánico	14 -30%
Potasio como K <sub>2</sub> O	1 -1.5 %	Calcio	2 – 8 %

FUENTE: Infoagro El compostaje, 2017.

## 2.12. HUMUS

Se puede definir como sustancia de orgánica de composición compleja, muy estable, resultante de la acción final de los microorganismos sobre los restos orgánicos. Su estabilidad no es absoluta, en climas templados, un 2% del mismo se mineraliza anualmente. Puede formar complejos con los minerales de arcilla “complejos arcillo - húmicos”, de gran estabilidad y que forman la base de la fertilidad duradera del suelo.

La humificación, se define como el conjunto de procesos de síntesis que terminan en la formación de compuestos húmicos coloidales de neoformación, a expensas de los productos más o menos solubles resultantes de la descomposición de la materia orgánica fresca. Los factores biológicos formadores de humus son: la actividad microbiológica y la actividad animal (lombrices y artrópodos), que condicionan la división mecánica de los restos orgánicos, su incorporación a la materia mineral y la formación de complejos órganos minerales.

## 2.13. VERMICOMPOST

Un abono de alta calidad y rico en nutrientes es el vermicompost (del latín: vermis = gusano). Este sustrato negro es el producto de la descomposición de la materia orgánica por microorganismos y, en particular por las lombrices. El vermicompost es un fertilizante de primer orden, protege al suelo de la erosión, siendo un mejorador de las

características físico-químicas del suelo, de su estructura (haciéndolo más permeable al agua y al aire), aumentando la retención hídrica, regulando el incremento y la actividad de los nitratos del suelo, y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas de forma equilibrada (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre y boro). En la Tabla 11 se presentan las propiedades químicas que tiene el vermicompost en su composición.

**Tabla 11: Propiedades químicas del vermicompost**

Ácidos fúlvicos	14 - 30%
Ácidos húmicos	2.8 – 5.8%
Sodio	0.02%
Cobre	0.05%
Hierro	0.02%
Manganeso	0.006%
Relación C/N	10 - 11

FUENTE: FAO, 2013

#### **2.14. VERMICOMPOSTAJE**

El vermicompostaje es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos. Es un proceso ecológico que termina en la estabilización de la materia orgánica. Al igual que el compost maduro, el producto final es materia orgánica, pero son las lombrices quienes realizan el proceso con ayuda de los microorganismos (Lazcano, 2008).

Durante este proceso, minerales insolubles son solubilizados, quedando disponibles para las plantas cuando el vermicompost es aplicado al suelo.

Igualmente, otros compuestos orgánicos complejos, como la celulosa, son parcialmente degradados a compuestos más simples por las bacterias presentes en el tracto digestivo de la lombriz, aumentando la disponibilidad de N.

Para la obtención de vermicompost, la especie de lombriz que comercialmente más se emplea es *Eisenia foetida* conocida comúnmente como la lombriz roja californiana, a pesar de ser originaria de Europa. Esta especie de lombriz, es muy hábil en su alimentación, de forma que cada 24 horas consume alimento correspondiente a su propio

peso al día. La lombriz obtiene su alimento a partir de materiales orgánicos vegetales, animales o mixtos, frescos o en diferente estado de descomposición, para producir más biomasa de lombriz (crecimiento y nuevas lombrices) y estiércol.

Esta especie requiere de altas concentraciones de materia orgánica para su alimentación, y de igual forma requiere de ciertas condiciones ambientales como una temperatura óptima de 19-25°C, con humedad del 80%, pH de 6,5-7,5 y baja luminosidad. La supervivencia de la lombriz depende de la cantidad de materia orgánica en el medio, disminuyendo la supervivencia según baja el porcentaje de materia orgánica.

El cuerpo de la lombriz parece una cadena formada de anillos, destacándose un anillo más grande, que contiene los órganos reproductivos, denominada clitelo. La lombriz es hermafrodita, es decir que en un mismo individuo tiene los dos sexos, pero para la reproducción se requiere de dos individuos. La fertilización cruzada, se realiza por la unión de los clitelos de dos individuos, donde se realiza la cópula, cada 7-10 días. Los dos individuos producen huevos, llamados cocoons, cocun o capullos. Los huevos tienen forma de limón y apariencia amarilla transparente al inicio, siendo más café a medida que progresa el desarrollo de la lombriz.

Los capullos son visibles a simple vista. Cada capullo contiene de 2 a 12 lombrices que emergen a los 21 días de ser depositadas. La lombriz recién eclosionada mide 1mm de longitud.

Los individuos juveniles inician el periodo reproductivo a los 3-4 meses, cuando pasan a ser adultos y están sexualmente maduros. Para este momento alcanzan más o menos 3 cm. Finalmente a los 7 meses, alcanzan su peso y tamaño final de 1 g y 7-8 cm. de largo. Viven en promedio 10 años. Para obtener el vermicompost es necesario contar con un contenedor o cama, el alimento, el pie de lombriz y condiciones ambientales adecuadas. En la Figura 4 se presenta el ciclo de vida de la lombriz roja californiana.



**Figura 4: Ciclo de vida de la lombriz roja californiana**

FUENTE: M. M. Martínez. CATA-USM, Chile

## 2.15. REQUERIMIENTOS PARA EL CULTIVO DE LOMBRICES

**Contenedor o cama:** existen diferentes opciones, tamaños y calidad de contenedores para cultivar lombrices, lo importante es que sean recipientes abiertos para que se facilite la alimentación y la visualización, normalmente estos contenedores son de madera. Las lombrices normalmente profundizan en el sustrato buscando alimento, pero no lo hacen más allá de 40 cm. (Schuldt et al., 2007), por lo que la cama debe tener una profundidad de 50-60 cm. y 1 m. de ancho, siendo el largo en función del área disponible en la finca. La cama debe estar protegida de la lluvia, la luz del sol y temperaturas extremas en tiempos de heladas o invierno.

**Sustrato:** normalmente se emplea una mezcla de suelo con material orgánico fresco (restos de vegetales, estiércol, etc.) en una proporción de 3:1, o material orgánico compostado con material fresco en proporción 2:1 respectivamente.

Se tienen los siguientes estiércoles para la alimentación de las lombrices:

- Estiércol de vacuno: Es de muy buena calidad tanto para formar sustrato inicial como para utilizarlo de alimento en la fase de producción. Necesita un periodo de maduración de 6 a 7 meses.
- Estiércol de ovino: Es de buena calidad, por lo general, este estiércol procede de los alojamientos de los borregos adultos que se van acumulando deyecciones y la paja. Una vez llevado este estiércol a la explotación de lombrices, es aconsejable regarlo por varios días, el tiempo de maduración es de 4 meses.

**Pie de cría-lombriz:** El pie de cría se obtiene comercialmente. La recomendación más común es un kg. de lombriz comercial por m<sup>2</sup> de lecho. También se puede obtener el pie de cría a partir de las camas.

## **2.16. CONDICIONES AMBIENTALES PARA EL DESARROLLO DE LA LOMBRIZ ROJA**

Las condiciones ambientales para el desarrollo de la Lombricultura son las siguientes (Tenecela, 2012):

- Humedad: La humedad debe ser del 70% para facilitar la digestión de alimento y deslizamiento a través del material. Se determina que la humedad del medio es óptima cuando, al apretar un puñado de material totalmente húmedo, no caen gotas. Una humedad superior al 85% es perjudicial ya que compactan las camas o lechos, disminuyendo la aireación y el alimento pierde parte de su valor nutricional. La lombriz puede vivir con mucha humedad, pero disminuye su actividad. En cambio, si falta humedad, puede dar lugar a su muerte porque la lombriz ingiere el alimento succionándolo.
- Temperatura: El rango óptimo de temperaturas para el crecimiento de las lombrices oscila entre los 12 y 25 °C; para la formación de cocones entre los 10 y 15 °C. Si la temperatura es muy elevada durante el verano, debe recurrirse a riesgos más frecuentes, mantener las camas libres de malas hierbas y tratar de evitar que las lombrices no emigren buscando ambientes más frescos.
- Luz: La lombriz es fotosensible, por lo que siempre preferirá ambientes oscuros.
- pH del sustrato: El pH mide la propiedad alcalina o ácida del sustrato. La lombriz acepta un pH de 5 (pH ácido) a 8,4 (pH alcalino). El pH óptimo es de 7. Fuera de esta

escala, la lombriz entra en una etapa de latencia. Si el pH es menor al valor óptimo (pH ácido), puede llegar a desarrollar una plaga llamada 'planaria'.

- Riego: Conviene regar en forma natural con un aspersor en forma de ducha. La lluvia no afecta a las lombrices, salvo que se produzcan inundaciones. El sistema manual de riego consta de una manguera de goma, de características variables según la función de los lechos. Por su sencillez es muy difundido, pero requiere un trabajador dedicado exclusivamente a esta labor. Si el contenido de sales y de sodio en el agua de riego es muy elevado dará lugar a una disminución en el valor nutritivo del humus de lombriz. Los encharcamientos deben evitarse ya que un exceso de agua desplaza el aire del material y provoca fermentación anaeróbica.
- Aireación: La aireación es fundamental para la correcta respiración y el desarrollo de las lombrices. Si no es la adecuada, el consumo de alimentos se reduce, además de disminuir el apareamiento y la reproducción debido a la compactación.

Los siguientes materiales se pueden añadir al vermicompost:

Estiércol, papel, cartón sin pintura, frutas, vegetales, cáscara de huevo, poda o corte de pasto, paja, residuo de cosecha, pulpa de café, granos de cereales.

## **2.17. PRODUCCIÓN DE VERMICOMPOST**

De la alimentación que reciben las lombrices, el 60% emplean en su mantenimiento y reproducción y el 40% restante transforman en humus. Es decir que con 500 kg. de alimento al año las lombrices sometidas a este proceso intensivo de cultivo producen 200 kg. de humus, con una población de 40.000 lombrices por m<sup>2</sup>. Una persona puede manejar un criadero de 2.000 m<sup>2</sup> en forma manual.

Las lombrices adultas consumen el alimento en lechos desde abajo hacia arriba. Mediante un proceso de digestión transforman ese material en humus, que queda en el fondo del lecho, la lombriz pequeña cuando recién nace mide unos 5 mm. y es algo más gruesa que un cabello. Como no puede digerir el alimento tosco y de grandes partículas, se transforma al fondo del lecho y comienza a absorber y reciclar todo aquello que la adulta ha digerido con anterioridad, a medida que crece para unirse a los adultos pasan de 30-40 días.

El vermicompost final, se cosecha dependiendo el sistema de producción y el tamaño.

A pequeña escala, se utiliza el sistema de trampeo de lombrices que consiste en dejar de alimentar a las lombrices por 8-10 días. Posteriormente se coloca “alimento fresco” en un extremo de la cama o sobre el material en el mismo contenedor para atraer las lombrices. De esta forma la lombriz se mueve al material fresco en busca de alimento y pueden ser colectadas de allí.

En esta labor, las lombrices recién nacidas y los nuevos coccon quedan en el vermicompost cosechado; o sea que no son recuperados. El vermicompost es un material más estable que el compost y contiene más proporción de ácidos húmicos y fúlvicos.

El material obtenido puede ser tamizado para homogenizar el tamaño, o secado para ser almacenado y posteriormente aplicado a suelo. En la Tabla 12 se presenta dosis recomendadas de uso del vermicompost para diferentes cultivos.

**Tabla 12: Dosis de empleo de Vermicompost**

Praderas	800 gr./m <sup>2</sup>
Frutales	2 Kg./árbol
Hortalizas	1 Kg./m <sup>2</sup>
Césped	0.5 – 1 Kg./m <sup>2</sup>
Ornamentales	150 gr./planta
Semilleros	20%
Abonado de fondo	160-200 l/m <sup>2</sup>
Transplante	0.5-2 Kg./árbol
Recuperación de terrenos	2500 – 3000 l/ha.
Setos	100-200 gr./planta
Rosales y leñosas	0.5 – 1 Kg./m <sup>2</sup>

FUENTE: Barbado, J. 2004.

## 2.18. RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS

Se denominan residuos sólidos domiciliarios a las sustancias u objetos procedentes de las distintas actividades del ser humano, asociados con la idea generalizada de basura.

En la composición de los residuos sólidos domiciliarios puede diferenciarse tres grandes grupos:

- Inertes.- Metales, vidrios, residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE), etc.
- Fermentables.- Productos orgánicos putrescibles (pan, restos vegetales de alimentos, carnes).
- Combustibles.- Papeles, cartones, plásticos, maderas, gomas, textiles, cueros.

## **2.19. DIGESTIÓN ANAERÓBICA**

Es un proceso microbiológico donde la materia orgánica puede descomponerse o digerirse, sin la presencia de oxígeno, mediante la producción de metano ( $\text{CH}_4$ ) y de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) como elementos principales.

Este proceso se realiza artificialmente en depósitos cerrados herméticamente, denominados bioreactores o biodigestores.

### **2.19.1. ETAPAS DEL PROCESO DE DIGESTIÓN ANAERÓBICA**

La digestión anaeróbica es un proceso bioquímico muy complejo, donde se diferencian tres etapas, interviniendo en cada una un grupo específico de organismos.

La primera etapa es de solubilización, donde la materia orgánica cruda formada por polímeros (proteínas complejas, grasas y carbohidratos principalmente) es hidrolizada por la acción de enzimas extracelulares de bacterias anaeróbicas facultativas, en compuestos simples y solubles.

La segunda etapa es de acidogénesis, donde los compuestos simples solubles de la primera etapa son sometidos a un proceso de fermentación que los convierte por óxido-reducción, en ácidos simples de cadena corta, mediante la acción de enzimas intracelulares de bacterias formadoras de ácidos que son anaeróbicas facultativas (viven con o sin presencia de oxígeno).

La tercera etapa es de metanogénesis, donde los ácidos orgánicos simples producidos en la segunda etapa, se convierten en substratos para la descomposición, estabilización de la materia orgánica y la producción de metano, mediante la acción de bacterias

metanogénicas estrictamente anaeróbicas, las cuales producen metano por dos vías: fermentación de ácido acético y reducción de CO<sub>2</sub>, expresados en las siguientes reacciones químicas:



## 2.20. BIODIGESTORES

Los biodigestores utilizan un proceso microbial-bacteriano natural de descomposición que ocurre en ambientes libre de oxígeno. Los microbios o bacterias viven dentro del biodigestor y son alimentados por el material orgánico, como estiércol, que es convertido en biogás. Es fácil construir y operar un biodigestor y no necesita mucho más que una fuente de agua y material orgánico. (Brown, 2004).

Entre la diversidad de biodigestores según la forma de operación se tiene el de tipo Batch o de una sola carga, los semi-continuos (tipo chino, tipo hindú, tipo borda) y los continuos.

El biodigestor tipo Batch se carga una vez y se descarga cuando concluye el proceso de descomposición de la materia orgánica. La duración de la carga oscila entre 3 a 4 meses (según el clima). Su uso es recomendable cuando se tiene material celulósico de difícil degradación como por ejemplo las basuras orgánicas, tallos de cereales, residuos agrícolas, bagazo de caña, pulpa de café, entre otros.

Son muy efectivos produciendo lodos completamente estabilizados para un mejor uso como fertilizante, así mismo son muy utilizados para fines de investigación. Estos biodigestores son de carga seca con un 30% a 60% de sólidos totales, se pueden construir sobre y/o bajo el suelo, usándose para su construcción desde materiales como recipientes plásticos, de vidrio, ladrillos, cementos, etc.

## 2.21. MICROORGANISMOS EFICIENTES

Los microorganismos eficientes contienen especies seleccionadas de microorganismos incluyendo poblaciones predominantes de bacterias fotosintéticas, bacterias ácido

lácticas, levaduras, actinomicetes y hongos fermentadores, todos ellos mutuamente compatibles unos con otros coexistiendo en un medio líquido. (Higa y Parr, 1994).

La tecnología de los microorganismos eficientes (EM) fue desarrollada en los 70's por el Dr. Teruo Higa, profesor de agricultura de la Universidad de Ryukyus en Japón con el fin de lograr una mejor agricultura, sobrellevar los problemas de contaminación y ayudar a los agricultores orgánicos.

Actualmente estos microorganismos son aplicados para cambiar los residuos orgánicos, como restos de comidas e incluso efluentes, en un abono rico en nutrientes y en microorganismos benéficos que tienen la capacidad de asegurar un efecto regenerativo poderoso en el suelo, ayudando a restablecer el balance ecológico del suelo e incrementando las cosechas en la agricultura orgánica. Así, los EM son aplicados directamente a la materia orgánica, reduciendo el tiempo de preparación de abonos agrícolas e incrementando su eficiencia. Son agregados también al bokashi (materia orgánica fermentada) donde promueven la transformación anaeróbica de los compuestos orgánicos, evitando la descomposición de la materia orgánica, la emisión de malos olores y la proliferación de vectores. (Shintani et al., 2000).

## **2.22. BIOSOL**

Es el abono orgánico sólido, constituye el lodo extraído del biodigestor, que luego al ser compostado, se emplea como abono orgánico enriquecido y estimulante de crecimiento radicular y parte aérea de las plantas.

El Biosol es el resultado de separar la parte sólida del “fango” resultante de la fermentación anaeróbica dentro del digestor. Dependiendo de la tecnología a emplear, este Biosol tratado puede alcanzar entre 25% a solo 10% de humedad (de hecho esa humedad es principalmente Biol residual) Su composición depende mucho de los residuos que se emplearon para su fabricación en el digestor (Tabla 13). Se puede emplear solo o en conjunto con compost o con fertilizantes químicos. (Aparcana et Jansen, 2008).

**Tabla 13: Comparación de la composición de Nutrientes del Estiércol Vacuno y Mezclas de Biol + Biosol (% en peso de materia seca)**

<b>Sustrato</b>	<b>Materia Seca</b>	<b>Materia Seca Orgánica</b>	<b>N</b>	<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>MgO</b>
Guano de vaca (input)	6.6	80	6.2	2.7	4.3	0.9
Biol + Biosol a partir de guano de vaca	4.0	65	8.6	4.1	7.3	0.4
Biol + Biosol a partir de Residuos vegetales (frutas, verduras, etc.)	2.9	60	11.1	22.0	5.2	1.6

FUENTE: Manual de Biogás (2003)

### **Ventajas en el Uso del Biosol**

Entre las ventajas por el uso del Biosol como fertilizante pueden mencionarse

(Aparcana et Jansen, 2008):

- El uso de este abono hace posible regular la alimentación de la planta. Los cultivos son fortalecidos y ocurre una mejora del rendimiento. El uso del Biosol permite el uso intensivo del suelo mejorando a la vez la calidad del mismo.
- El Biosol confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión mejorando con ello la retención de los nutrientes en el suelo.
- El Biosol mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de la humedad del mismo, esto favorece la actividad biológica en el suelo. Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación.
- También el Biosol puede ser combinado con la materia que va a ser compostada, con el fin de acelerar el proceso de compostaje.
- Una de las ventajas de usar el Biosol como fertilizante es que se reduce la necesidad del abono, es decir solo se necesita de 2 - 4 Ton/Ha. Si se empleara solo estiércol se necesitaría 15 - 30 Ton/Ha. y si se empleara compost se necesitaría 10 - 20 Ton /Ha. No se debe olvidar que estas cantidades son relativas y dependen mucho del tipo de suelo y del cultivo.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.
- Reduce la erosión del suelo.

- El Biosol cuenta con una mayor disponibilidad de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre) a comparación con el estiércol, entonces esto mejora la disponibilidad del nutriente para la planta.

### **2.23. BIOL**

Es el efluente líquido que se descarga del biodigestor, obtenido de forma frecuente o intermitente. Se obtiene mediante filtración y/o floculación de la parte sólida. Se utiliza para promover el crecimiento de las plantas tanto en aspersiones foliares como en sumersiones de semillas.

El biol es la fracción líquida resultante del fango proveniente del fermentador o biodigestor. Este “fango” es decantado o sedimentado obteniéndose una parte líquida a la cual se le llama “Biol”. Aproximadamente el 90% del material que ingresa al biodigestor se transforma a Biol. Esto depende naturalmente del tipo de material a fermentar y de las condiciones de fermentación. (Aparcana et Jansen, 2008).

El uso del Biol es principalmente como promotor y fortalecedor del crecimiento de la planta, raíces y frutos, gracias a la producción de hormonas vegetales, las cuales son desechos del metabolismo de las bacterias típicas de este tipo de fermentación anaeróbico (que no se presentan en el compost). Estos beneficios hacen que se requiera menor cantidad de fertilizante mineral u otro empleado. En la Tabla 14 se presenta la composición bioquímica del biol.

**Tabla 14: Composición bioquímica del Biol**

<b>Componentes</b>	<b>Cantidad</b>
Ácido indol acético (ng/g)	9.0
Giberelina (ng/g)	8.4
Purinas (ng/g)	9.3
Citoquininas	No detectado
Tiamina (Vit B1) (ng/g)	259.0
Riboflavina (Vit B2) (ng/g)	56.4
Adenina	No detectado
Ácido fólico (ng/g)	6.7
Ácido pantoténico (ng/g)	142.0
Triptofano (ng/g)	26.0
Inositol (ng/g)	No detectado
Biotina (ng/g)	No detectado
Niacin (ng/g)	No detectado
Cianocobalamina (Vit B12) (ng/g)	4.4
Piridoxina (Vit B6) (ng/g)	8.6

FUENTE: Aparcana, S. (2005)

### **Ventajas del Uso del Biol como Fertilizante**

Entre las ventajas por el uso del Biol como fertilizante pueden mencionarse (Aparcana et Jansen, 2008):

- El uso del Biol permite un mejor intercambio catiónico en el suelo. Con ello se amplía la disponibilidad de nutrientes del suelo. También ayuda a mantener la humedad del suelo y a la creación de un microclima adecuado para las plantas.
- El Biol se puede emplear como fertilizante líquido, es decir para aplicación por rociado.
- También se puede aplicar junto con el agua de riego en sistemas automáticos de irrigación.
- Siendo el biol una fuente orgánica de fitoreguladores en pequeñas cantidades es capaz de promover actividades fisiológicas y estimular el desarrollo de las plantas, sirviendo para: enraizamiento (aumenta y fortalece la base radicular), acción sobre el

follaje (amplía la base foliar), mejora la floración y activa el vigor y poder germinativo de las semillas, traducándose todo esto en un aumento significativo de las cosechas.

- Pruebas realizadas con diferentes cultivos muestran que usar Biol sólo sería suficiente para lograr la misma o mayor productividad del cultivo que empleando fertilizantes químicos.

### **III. IMPLEMENTACIÓN DE MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN ÁREAS VERDES**

#### **3.1. DESCRIPCIÓN DEL LUGAR DE IMPLEMENTACIÓN**

Los procesos de compostaje fueron llevados a cabo en el Club recreativo La Granja Villa y su Mundo Mágico S.A. ubicado en el distrito de Chorrillos formando parte del ecosistema de los Pantanos de Villa. Se tienen áreas verdes implementadas en montículos de tierra de chacra sobre suelo salino propio de la zona (Figura 5). Las plantas ornamentales presentes son mayormente resistentes a sales como son los mioporos, cucardas, lantanas, laureles, árboles de molle, eucaliptos, mimosas, entre otros y grass. Así mismo se tienen corrales de crianza intensiva de ganado vacuno (Figura 6), ovino, caprino, animales menores y de equinos. También se realiza la crianza de animales silvestres. El club además cuenta con áreas de restaurant, cocina, personal y administrativas que generan residuos sólidos orgánicos. El parque ocupa un área de 4 has. aproximadamente.

Para la implementación del compostaje se tuvo como fuente principal de materia orgánica a tratar, los guanos de los corrales de la crianza principalmente del ganado vacuno, ovino y caprino, en mezcla con los residuos secos de su alimentación tales como heno de alfalfa, cascarilla de arroz, pajas secas de camas, chalas y corontas de maíz, entre otros. Estos materiales fueron retirados diariamente de los corrales.

Se asignó una zona de compostaje para la implementación de un programa de procesamiento de residuos orgánicos generados a partir de la crianza de animales de corral, restos de jardinería y residuos frescos de cocina. Esto de manera progresiva, de acuerdo a la disponibilidad de materiales y operación de los procesos a describir. Luego de implementar los procesos de compostaje en el club se procedió a replicarlos progresivamente en su sede de Comas.



**Figura 5: Instalaciones del club con áreas verdes**

FUENTE: Elaboración propia



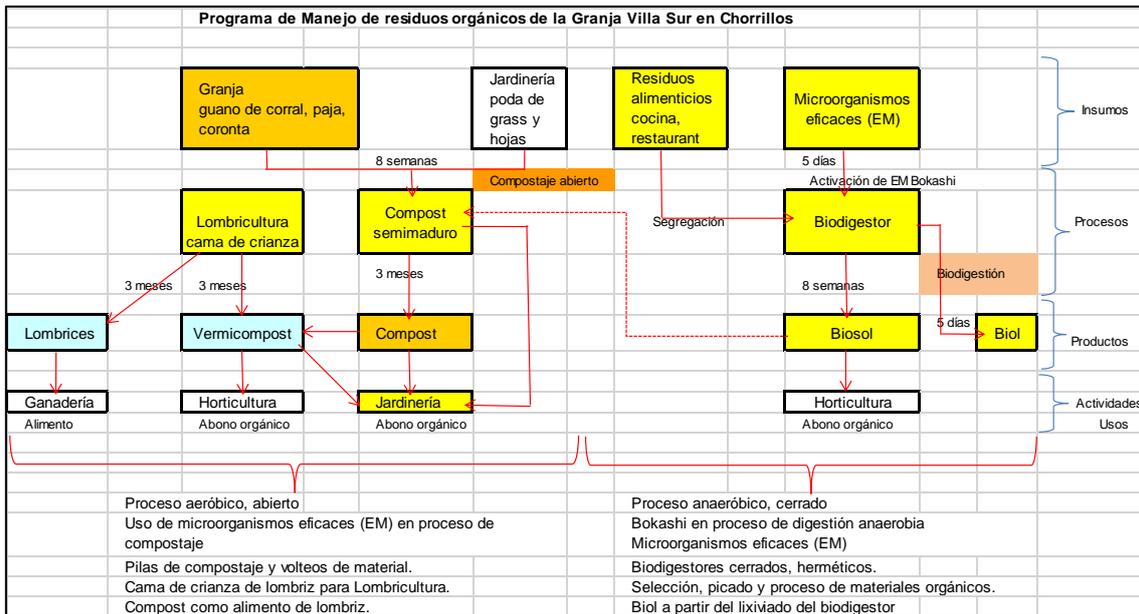
**Figura 6: Instalaciones del club con corrales de ganado vacuno**

FUENTE: Elaboración propia

### **3.2. PROGRAMA DE MANEJO DE RESIDUOS ORGÁNICOS**

A partir de la zona de compostaje se implementó primero la producción de compost mediante sistema en pilas (3) para su obtención y empleo al suelo del parque. Una parte del compost se destinó como alimento para la producción de vermicompost mediante Lombricultura sobre una cama de crianza.

Así mismo se implementó en la zona de compostaje, una batería de biodigestores para la producción de los abonos orgánicos biosol y biol. El biosol se incorporó en mezcla en el proceso de compostaje y el biol se empleó como bioestimulante en aplicación foliar sobre las áreas verdes del parque. Para la biodigestión de los residuos sólidos orgánicos se empleó microorganismos eficientes inoculados en un sustrato, formándose bokashi, fermento empleado para la degradación de la materia orgánica dentro de los biodigestores. En la Figura 7 se presenta el Esquema del Programa de Manejo de Residuos Orgánicos producidos en el club, el que contempla los procesos de Compostaje, Vermicompostaje y Biodigestión de la materia orgánica, para obtener los abonos orgánicos compost, vermicompost, biosol y biol respectivamente. Así mismo los tiempos de los procesos y el uso de los biofertilizantes.



**Figura 7: Esquema de Programa de Manejo de Residuos Orgánicos**

FUENTE: Elaboración propia

### 3.2.1. COMPOSTAJE

Mediante el sistema de pilas de compostaje o montones dinámicos se inició el Programa de Manejo de Residuos Orgánicos planteado en el esquema, ya que se contó con la materia orgánica de los corrales de crianza para su aprovechamiento, así como restos vegetales secos de los mismos.

#### 3.2.1.1. Implementación

Se inició en la zona de compostaje con el acopio de la materia orgánica a procesar, constituido principalmente por los guanos de la crianza de ganado vacuno, los cuales fueron recogidos diariamente junto con los residuos secos vegetales (Figuras 8 y 9). También se incorporó el guano de ovinos y caprinos. La población de ganado fue de 5 vacunos de raza Holstein, 8 ovinos y 10 caprinos.

Las pilas de compostaje se armaron sobre el suelo, de dimensiones 2 x 5 x 1.5 mts. en forma piramidal, acumulándose al cabo de un mes aproximadamente 2 TM. de guano y residuos de corral por cada pila de compostaje.



**Figura 8: Acopio de guano vacuno de los corrales**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 9: Descarga de guano a pila de compostaje**

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.1.2. Operación

- Se formaron pilas de compostaje de dimensiones 2 x 5 x 1.5 mts. (Figura 10).
- Se inició el procesamiento de la materia orgánica mediante volteos manuales con pala (Figura 11), seguido de riego con manguera cada 15 días programados.
- Se realizó el procesamiento de los residuos orgánicos, repitiendo el proceso de volteo y de riego hasta 3 veces en total por pila de compostaje.
- Se obtuvo compost, luego de cumplir la fase de enfriamiento, mediante el cernido del material sobre un marco de rejilla metálica de 1 x 1 cm. (Figura 12), donde los materiales gruesos que no pasan se incorporaron a una pila libre en conformación.
- Se incorporó compost al suelo del parque (Figura 13), seguido de riego por gravedad.



**Figura 10: Formación de pila de compostaje**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 11: Volteo de pila de compostaje**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 12: Obtención de compost con cernido**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 13: Aplicación de compost al suelo del parque**

Fuente: Elaboración propia

#### **3.2.1.3. Problemas**

En el acopio de los guanos y residuos de corral a compostar, se tuvo en mezcla arenas producto de la limpieza de los corrales, lo cual dificultó la labor de volteo y oxigenación del proceso de compostaje.

En operación, se tuvo a falta de riegos adecuados, el mantenimiento de la humedad se afectó alargando el enfriamiento del proceso, obteniéndose un compost inmaduro y por enfriar. Así mismo por condiciones de espacio se tenían que liberar las pilas de compostaje de la zona, llegándose a programar solo hasta 2 a 3 volteos en total, obteniéndose compost de manera similar.

Entonces a menor oxigenación y humedad del proceso de compostaje se obtuvo compost inmaduro por condiciones de operación en gran medida.

#### **3.2.1.4. Soluciones**

Teniéndose las condiciones de operación y espaciamiento señalados, se incorporó el uso de la tecnología de microorganismos eficaces (EM) para mejorar el proceso en el tiempo de obtención del compost, al enriquecer la población de microorganismos. Al usar los

microorganismos eficaces se logró reducir un volteo del proceso bajo las mismas condiciones de manejo anteriores.

El uso de microorganismos eficaces (EM) para la aceleración del proceso de compostaje fue el siguiente:

- Se activó los microorganismos a la dosis recomendada por el producto comercial BIOEM (Anexo 1), como sigue 1:1:18 de EM, melaza y agua en solución respectivamente.
- Luego de su activación en un envase cerrado en oscuridad por 4 días, se aplicó sobre los materiales a compostar a dosis de 1 Lt. de EM activado por 20 Lt. de agua, lo cual cubrió para humedecer una TM de materia orgánica.

### **3.2.1.5. Resultados**

Se obtuvo compost semimaduro como abono orgánico disponible para la nutrición del suelo y de las plantas del parque, a partir del aprovechamiento de los guanos de corral y sus residuos vegetales secos.

Se logró acortar el tiempo de obtención del compost de tres volteos a dos volteos, mediante el uso de microorganismos eficaces incorporados en el proceso de compostaje.

El compost obtenido se incorporó al suelo del parque continuamente, formando parte de las actividades del mantenimiento de las áreas verdes. El compost se usó mayormente en abonamiento de suelo para la nutrición de las plantas arbustivas del parque, así como nutrición del grass aplicado en cobertura.

Los beneficios logrados fueron que se obtuvo compost como una fuente de autoabastecimiento de abono orgánico para la nutrición de las plantas del parque y mejoramiento del suelo, que no se tenía antes, y a su vez se ahorró el costo por el recojo de los guanos frescos por una cantidad producida de 40 TM anuales con una empresa prestadora de servicios ambientales.

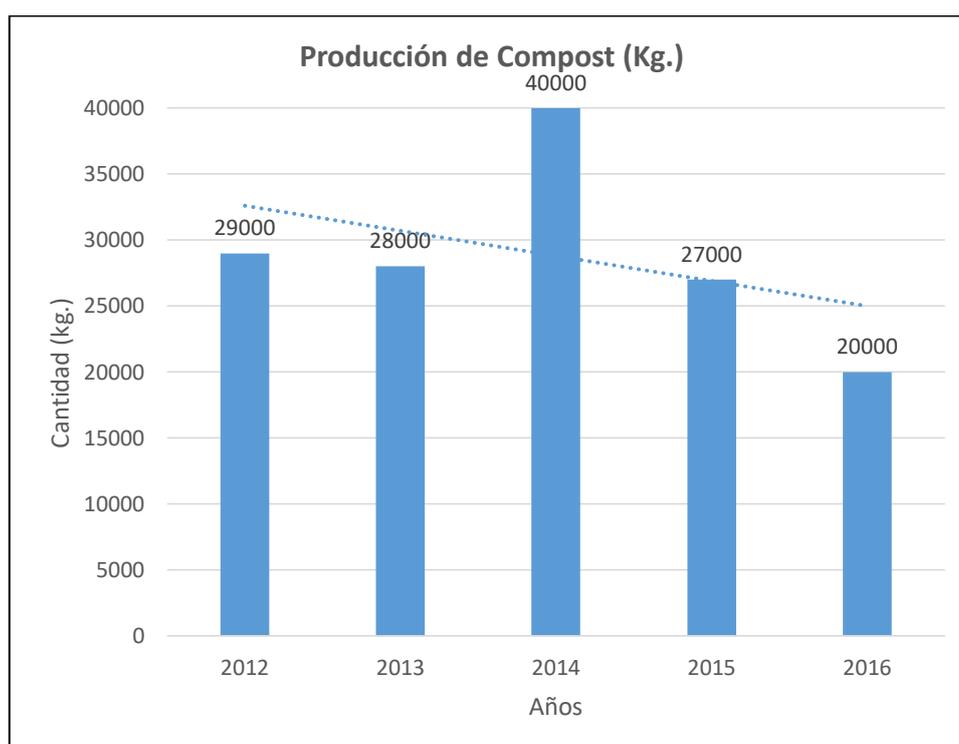
En las Tabla 15 y Figura 14 se presentan las producciones anuales de compost en el club. Se observó diferencias por operatividad luego de la implementación del Programa de Manejo de residuos orgánicos.

**Tabla 15: Producción anual de compostaje de la Granja Villa Sur**

Año	Cantidad (Kg.)	%	Cantidad sacos x 25 Kg.	Valor x 25 Kg. (S/.)	Subtotal (S/.)
2012	29000	73%	1160	5.00	5800.00
2013	28000	70%	1120	5.00	5600.00
2014	40000	100%	1600	5.00	8000.00
2015	27000	68%	1080	5.00	5400.00
2016	20000	50%	800	5.00	4000.00
Promedio	28800			Total	17400.00

100% proyectado: 40000 kg.

Fuente: Elaboración propia (2017)



**Figura 14: Producción anual de compost en la Granja Villa Sur**

Fuente: Elaboración propia (2017)

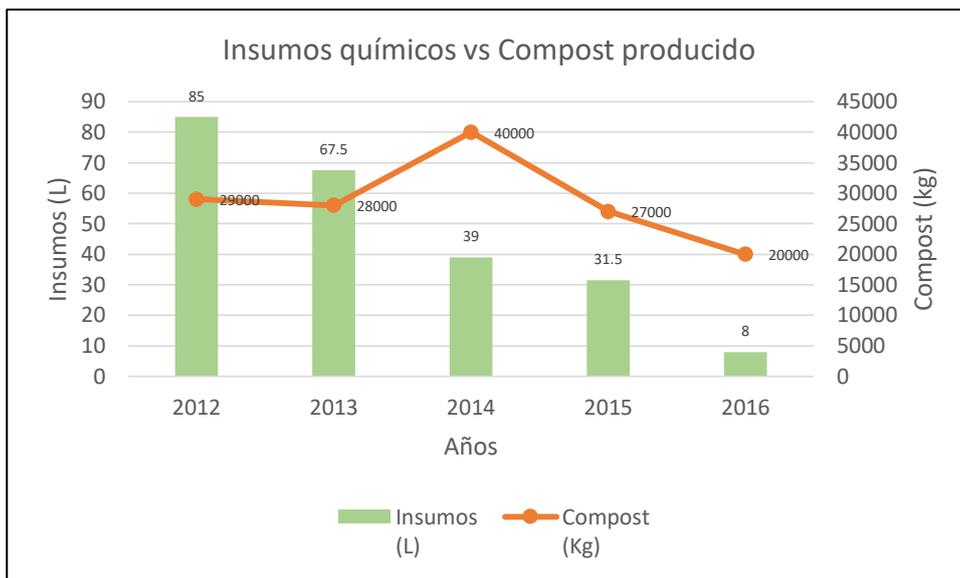
En la Tabla 16 se presentan los insumos químicos utilizados para la nutrición de las plantas y del suelo del parque, los cuales disminuyeron en cantidad y costos con la Implementación de Manejo de Residuos Orgánicos, que al producir compost reemplazó la nutrición de las plantas con los insumos químicos. Se observó que al año 2012 se tuvo un costo de insumos químicos total de S/.1681.25 hasta disminuir al año 2016 a S/. 250.00, lo que representó un 14 por ciento del costo.

**Tabla 16: Insumos químicos utilizados para la nutrición de las plantas**

<b>Año</b>	<b>Producto</b>	<b>Cantidad (L)</b>	<b>Cx unitario (S/.)</b>	<b>Cx total (S/.)</b>
2012	Abono foliar CaBZn	8	31.25	250.00
	Abono foliar PK	8	31.25	250.00
	Enraizador	4	31.25	125.00
	Enmienda líquida	65	16.25	1056.25
	Subtotales	85		1681.25
2013	Abono foliar CaBZn	8	31.25	250.00
	Abono foliar PK	8	31.25	250.00
	Enraizador	4	31.25	125.00
	Enmienda líquida	47.5	16.25	771.88
	Subtotales	67.5		1396.88
2014	Abono foliar CaBZn	4	31.25	125.00
	Abono foliar PK	4	31.25	125.00
	Enraizador	4	31.25	125.00
	Enmienda líquida	27	16.25	438.75
	Subtotales	39		813.75
2015	Abono foliar CaBZn	4	31.25	125.00
	Abono foliar PK	4	31.25	125.00
	Enraizador	4	31.25	125.00
	Enmienda líquida	19.5	16.25	316.88
	Subtotales	31.5		691.88
2016	Abono foliar CaBZn	4	31.25	125.00
	Abono foliar PK	4	31.25	125.00
	Enraizador	0	31.25	0.00
	Enmienda líquida	0	16.25	0.00
	Subtotales	8		250.00

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 15 se puede observar el reemplazo de los insumos químicos para la nutrición de las plantas, comparando la cantidad empleada con la producción de compost.



**Figura 15: Cantidades de insumos químicos utilizados en la nutrición de las plantas y producción de compost**

Fuente: Elaboración propia (2017)

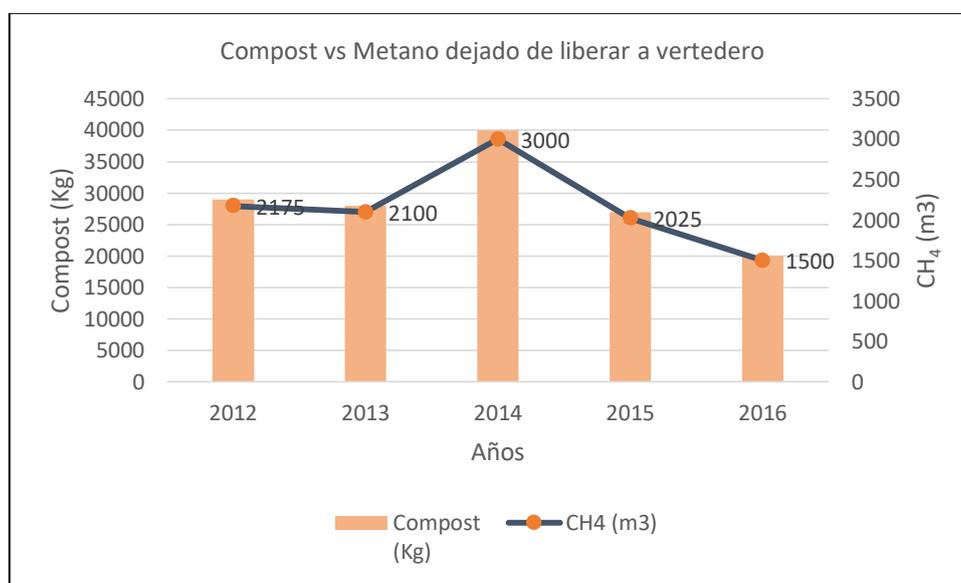
Según la Iniciativa Global de Metano (GMI), el gas de vertedero o biogás se genera a partir de la descomposición de la materia orgánica en los vertederos de desechos municipales. Este gas contiene una concentración media de 50 por ciento de metano ( $\text{CH}_4$ ). En condiciones de laboratorio una tonelada de residuos puede producir  $150 \text{ m}^3$  de biogás. En la Tabla 17 se presenta la cantidad de metano ( $\text{CH}_4$ ) que se deja de liberar al ambiente mediante la Implementación del manejo de residuos orgánicos.

**Tabla 17: Cantidad de Metano ( $\text{CH}_4$ ) dejado de liberar al medio ambiente con el compostaje**

Año	Compost (Kg)	$\text{CH}_4$ ( $\text{m}^3$ )
2012	29000	2175
2013	28000	2100
2014	40000	3000
2015	27000	2025
2016	20000	1500
Totales	144000	10800

Se observó que al compostar un total de 144000 Kg. de materia orgánica se dejó de liberar al medio ambiente  $10800 \text{ m}^3$  de gas metano que se produciría en un vertedero.

En la Figura 16 se presenta la cantidad de metano que se evitó liberar al medio ambiente, a partir de la materia orgánica que se dejó de enviar a un vertedero o relleno sanitario, mediante la Implementación del Manejo de Residuos Orgánicos.



**Figura 16: Cantidad de Metano (CH<sub>4</sub>) dejado de liberar al medio ambiente con la Implementación del Compostaje**

### 3.2.2. LOMBRICULTURA

Luego del compostaje mediante sistema de pilas, se continuó el Programa de Implementación del Manejo de residuos orgánicos con la Lombricultura, que consiste en la crianza de la lombriz roja californiana, teniéndose como alimento el compost obtenido. El objetivo fue contar con vermicompost para una nutrición rápida de las especies herbáceas de plantas ornamentales cultivadas en macetas y jardineras, los cuales tienen una asimilación más rápida por su ciclo vegetativo menor en comparación de las especies arbustivas y arbóreas.

#### 3.2.2.1. Implementación

Se construyó una cama o lecho de crianza de lombriz sobre una superficie de tierra plana como sigue:

- Dimensiones: 1 m. de ancho x 8 m. de largo x 0.3 m. de altura. Se tuvo entonces una cama o lecho alto con una capacidad de 2.4 m<sup>3</sup>.

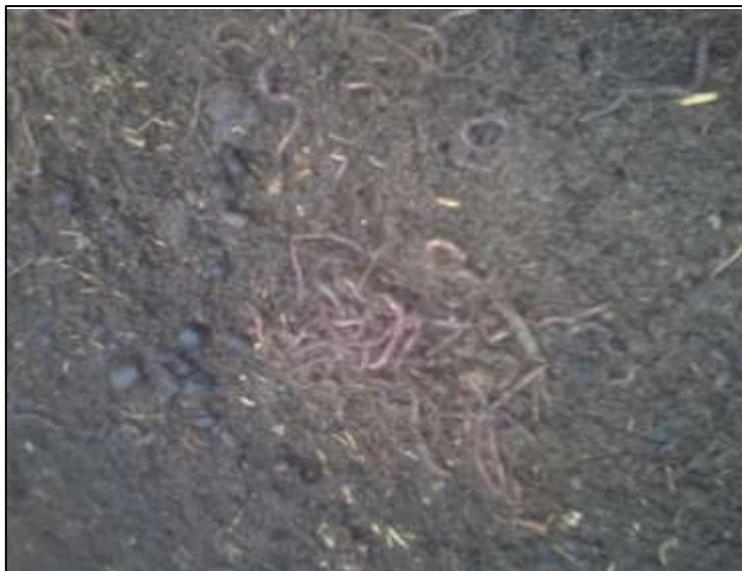
- Materiales: Tablas gruesas de madera con las dimensiones indicadas, unidas para formar un marco mediante estacas enterradas 30 – 40 cm. de profundidad en el suelo.

Insumos requeridos para el inicio de la crianza de lombriz roja:

- Alimento permanente para los lombrices, que consistió en la materia orgánica procesada, compost, el cual se fue abasteciendo progresivamente formando una capa de 10 – 15 cm. a lo largo del lecho cada 10 días. Una alternativa de alimento fue el guano seco en polvo de los corrales de caballos.
- Población inicial de lombrices (Figura 16), la cual se colocó sobre la primera capa de alimento. La cantidad de lombrices requerida es de 10 kg. de lombrices x 1 m<sup>3</sup>. Entonces para la capacidad del lecho de de 2.4 m<sup>3</sup> se requirió un total de 24 kg. de lombrices pero se inició con un núcleo de lombrices rojas de 15 kg. en peso.

Sobre una primera capa de alimento (compost) humedecida al 80 % de 10 - 15 cm. de espesor a lo largo de la cama, se sembró en la parte central la población inicial de lombrices (Figura 17), las cuales se fueron introduciendo en el sustrato.

Luego se cubrió el área sobre la cama de crianza con malla rashell a unos 3 mts. de altura, y así mismo la cama con una malla oscura gruesa y tablonces para evitar la exposición directa a la luz y los enemigo (Figura 18).



**Figura 17: Núcleo de lombrices rojas en desarrollo**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 18: Cama de crianza de lombriz cubierta**

Fuente: Elaboración propia

### **3.2.2.2. Operación**

Cada 10 días se observaron grumos en la superficie de la cama como indicador del consumo del alimento. Entonces se procedió a aplicar una nueva capa de alimento de 5 – 10 cm. de espesor que representó un consumo de 20 kg. de compost aproximadamente. El objetivo de la crianza fue que el alimento de las lombrices se encuentre con una humedad adecuada del 80 % para que puedan consumirla, procesarla y convertirla en vermicompost mediante su mecanismo de excreta. Para ello se regó en forma de lluvia semanalmente la cama de crianza con una manguera a humedad de campo (Figura 18) y se cubrió la cama cada vez.

En cuanto a la aireación, cada vez que se estuvo compactando la superficie de la cama se desmenuzó con trinche de puntas redondas el material con las lombrices, esto cada 3 meses aproximadamente.

La cosecha empezó al tercer mes, luego de formada una primera generación de lombrices. Se retrasó la alimentación y riegos normales de las lombrices por una semana.

Luego de ese retraso se abasteció de alimento fresco a un lado de la cama, entonces la población de lombrices en su mayoría se dirigieron a ese alimento, dejando espacio para la cosecha del vermicompost formado (Figura 19).

Se obtuvo una población de lombrices en la superficie que sirvió como núcleo para implementar una nueva cama o lecho en la sede de la Granja Villa Norte , así como alimento para los animales de corral, aves en gran medida.

El vermicompost obtenido se secó al 40 % de humedad, el cual se almacenó en sacos y se utilizó sobre las plantas herbáceas, que tienen una mayor rapidez de asimilación de nutrientes.



**Figura 19: Riego de cama de lombrices rojas**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 20: Obtención de vermicompost**

Fuente: Elaboración propia

### **3.2.2.3. Problemas**

Se observó alimentación de las lombrices con compost inmaduro resultante de un proceso incompleto de compostaje con arenas. En este caso la población de lombrices disminuyó, al no degradar un alimento adecuado, produciéndose mortandad.

Se observó compactación del sustrato de cama de crianza, al formarse capas de alimento de mayor cantidad y espesor. Esta compactación se produjo luego de varios riegos realizados.

### **3.2.2.4. Soluciones**

Al no tener disponibilidad de alimento adecuado de compost se procedió a reemplazarlo con guano seco en polvo de los corrales de caballo, el cual fue degradado por las lombrices a las mismas condiciones de humedad, incorporándose solo una capa de 2 a 5 cm. de espesor, ya que a mayor cantidad se tendió a compactar.

Para la compactación del sustrato de la cama de crianza, se procedió a realizar un trinchado a los tres meses, dándole oxigenación al proceso y control de la producción del vermicompost.

### 3.2.2.5. Resultados

Se obtuvo vermicompost como producto de la degradación del compost semimaduro de las pilas de compostaje, labor realizada por la lombriz roja californiana y los microorganismos de la crianza en el contenedor.

Se obtuvo al año una alta población de lombrices, por lo que se procedió a implementar una nueva cama de crianza en la sede del club en el distrito de Comas, donde se viene desarrollando a partir de un núcleo de 10 kg. de lombrices.

El beneficio logrado fue que se obtuvo vermicompost como una nueva fuente de autoabastecimiento de abono orgánico para la nutrición de las plantas herbáceas cultivadas en macetas y jardineras, así como para la preparación del sustrato de las mismas.

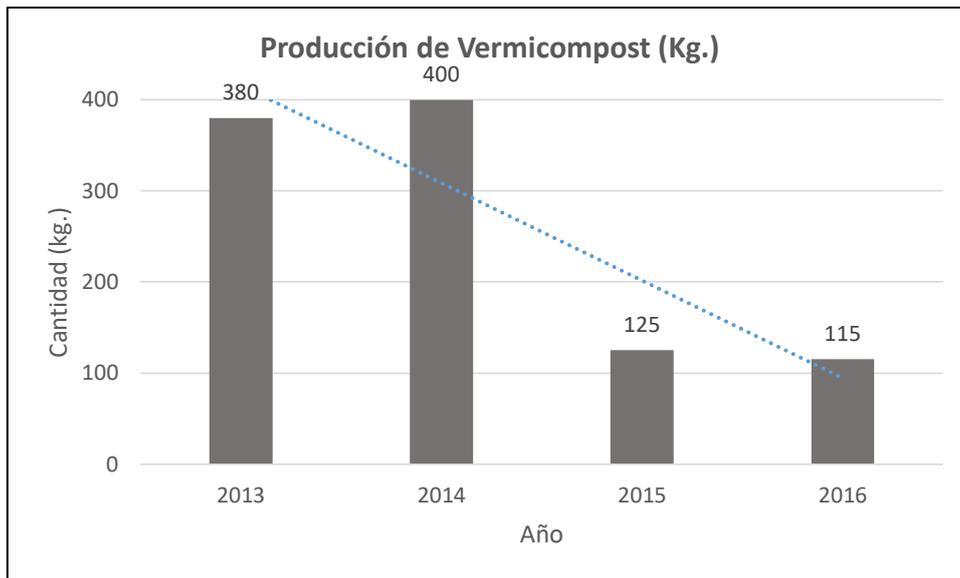
En las Tabla 17 y Figura 20 se presentan las producciones de vermicompost en el club. Se observó diferencias por la disponibilidad de compost semimaduro, más procesado, como alimento para las lombrices rojas.

**Tabla 18: Producción anual de vermicompost en Granja Villa Sur**

Año	Cantidad (Kg.)	%	Cantidad sacos x 25 Kg.	Valor x 25 Kg. (S/.)	Subtotal (S/.)
2013	380	95%	15	10.00	152.00
2014	400	100%	16	10.00	160.00
2015	125	31%	5	10.00	50.00
2016	115	29%	5	10.00	46.00
Promedio	255	Total			256.00

100% proyectado: 400 Kg.

Fuente: Elaboración propia (2017)



**Figura 21: Producción anual de vermicompost en Granja Villa Sur**

Fuente: Elaboración propia (2017)

### **3.2.3. DIGESTIÓN ANAERÓBICA DE RESIDUOS ORGÁNICOS ALIMENTICIOS**

Luego de los procesos de Compostaje y de Lombricultura incorporados como parte del Programa de procesamiento de residuos orgánicos del club, se planteó el aprovechamiento de los residuos orgánicos de cocina y restaurant generados para su tratamiento y conversión en los abonos orgánicos biosol y biol, a incorporar en el proceso de compostaje.

#### **3.2.3.1. Implementación**

- Acopio de materiales a biodigestar:

Se tuvieron fuentes de residuos orgánicos alimenticios producidos en las cocinas, como los residuos frescos vegetales de cáscaras de frutas y vegetales, almidones del pelado de las papas, entre otros constituyéndose en residuos frescos. En restaurantes se tuvieron los desechos alimenticios de pollería como huesos, grasas y papas fritas, constituyéndose en residuos procesados.

Fueron seleccionados los materiales a tratar como residuos frescos y procesados en bolsas plásticas por un tiempo máximo de 2 días antes que entraran a un proceso de putrefacción.

- Biodigestores:

Consistió en la construcción de unidades de biodigestores tipo batch de llenado semi continuo, acondicionados a partir de un cilindro de plástico de 200 Lt. de capacidad con tapa hermética y abrazadera.

En su interior se instaló a 15 – 20 cm de la base, una coladera de fierro galvanizado para el paso de los lixiviados del proceso de biodigestión o digestión anaeróbica, creándose un doble fondo en la unidad (Figura 21). Así mismo por el exterior se perforó e instaló un caño de plástico por debajo de la altura de la coladera, para la liberación del biol formado.

Se formó entonces en total una batería de 11 biodigestores para su llenado progresivo con los residuos orgánicos disponibles (Figura 22).



**Figura 22: Interior de biodigestor con coladera interior**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 23: Batería de biodigestores**

Fuente: Elaboración propia

- Bokashi:

Consistió en la formación de un fermento obtenido producto de la inoculación de microorganismos eficientes (EM, Anexo 1) en un sustrato seco, el cual sirvió como población de microorganismos para la biodigestión de los residuos a tratar en los biodigestores.

Como parte de la tecnología de EM se procedió a preparar el Bokashi como sigue:

Preparación de los microorganismos en solución recomendada a dosis de 1:1:18 de EM, melaza y agua, para formar 2 Lt. de solución en total (Anexo 2)

Sobre una manta, en el suelo se tendió el sustrato afrecho de trigo en una cantidad de 2 baldes de 20 Lt. de capacidad. Se humedeció el sustrato a capacidad de campo (Anexos 3 y 4).

Se llenó el sustrato humedecido con la solución de EM en un balde de 20 Lt. de capacidad, compactándolo para quitar el aire cada vez hasta que se completó y tapó herméticamente (Anexo 5).

Se dejó que se active el inóculo de microorganismos por espacio de 4 a 5 días en oscuridad, obteniéndose el Bokashi como insumo de microorganismos para la biodigestión en las unidades.

### **3.2.3.2. Operación**

Para el llenado de los biodigestores con los residuos orgánicos frescos, se formó primero una capa fina en la base de 200 g. (2 puñados) de Bokashi, intercalándose con una capa de residuos alimenticios de 10 a 15 cm. de espesor cada vez, terminando el llenado del biodigestor con una capa de Bokashi para luego hacer el cerrado hermético de la unidad.

Llenado un biodigestor (Figura 23), al 80 – 90 % de su capacidad se inició el control del tiempo del proceso de biodigestión. Semanalmente se liberó por el caño los lixiviados del proceso (Figura 24), consistente en biol para su aprovechamiento como bioestimulante en aspersión sobre las plantas del parque a dosis de 1 Lt. por 20 Lt. de agua en solución, así como en el riego del compostaje.

A los 2 meses del llenado del biodigestor se obtuvo el biosol, el cual se liberó y se incorporó a las pilas de compostaje, mezclándose con el material a compostar en los volteos realizados.



**Figura 24: Llenado de biodigestor con residuos frescos de papa**

Fuente: Elaboración propia



**Figura 25: Obtención de biol**

Fuente: Elaboración propia

### **3.2.3.3. Problemas**

Los residuos orgánicos alimenticios de los restaurantes empleados en la biodigestión, consistentes en residuos de pollería como fueron huesos, grasas y papas procesadas por lo general vinieron con impurezas como bolsas plásticas, sobres y papeles entre otros, los cuales faltaron segregar en la fuente. Estos materiales tardaron en digerirse y produjeron un biol de color oscuro con grasas, el cual se incorporó a las pilas de compostaje y no a las plantas del parque.

En operación, luego del llenado de los biodigestores, no se taparon herméticamente las unidades, produciendo ingreso de aire y putrefacción por lo que el proceso de biodigestión de perdió y debió liberarse el material para reanudar un nuevo ciclo.

El biol obtenido en el proceso, rápidamente se oxidó al ambiente, por lo que su empleo se realizó seguidamente de su obtención.

### 3.2.3.4. Soluciones

A falta de control de la segregación en la fuente de los residuos orgánicos y del tapado hermético en el llenado de los biodigestores, se evitaron los residuos procesados de restaurant para obtener una digestión anaeróbica adecuada.

El biol obtenido en cuanto se obtuvo se incorporó a las pilas de compostaje, cuando no fue usado en aspersión sobre las plantas.

### 3.2.3.5. Resultados

Se obtuvo biosol de los biodigestores, el cual fue incorporado a las pilas de compostaje. Los residuos frescos vegetales digeridos al tener mayor humedad produjeron más biol de color claro, el cual fue aprovechado como bioestimulante para las plantas del parque.

Los beneficios logrados fueron que se obtuvo biosol como una nueva fuente de materia orgánica estabilizada a incorporar como insumo en el Compostaje, y biol como bioestimulante para la nutrición foliar de las plantas del parque.

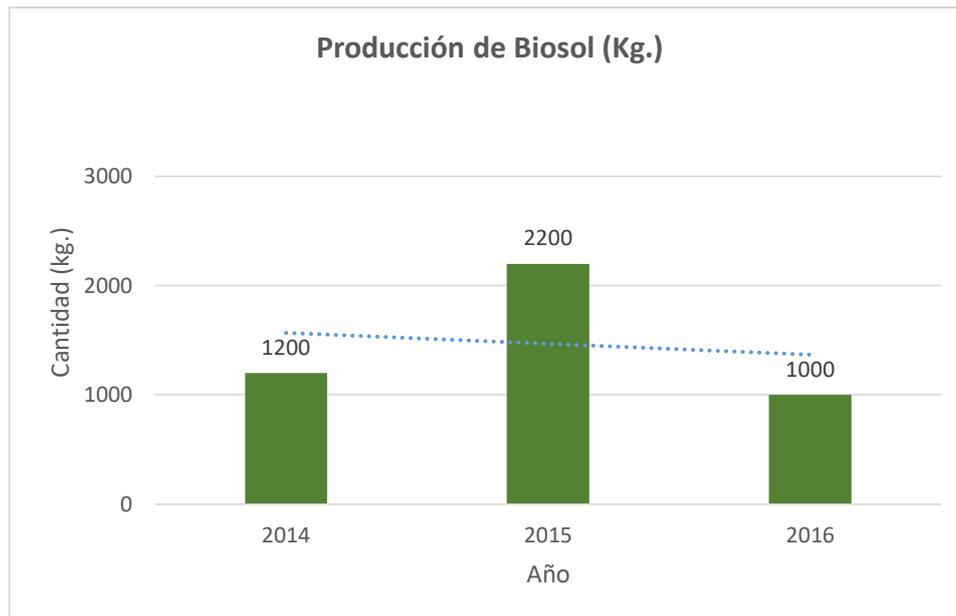
En la Tabla 18 y Figura 25 se presenta la producción de biosol incorporado al compostaje, implementado en el club. Se observó diferencias en la producción por la cantidad de residuos alimenticios ingresada en la batería de digestores.

**Tabla 19: Producción anual de biosol en la Granja Villa Sur**

Año	Cantidad (Kg.)	%	Cantidad sacos x 25 Kg.	Valor x 25 Kg. (S/.)	Subtotal (S/.)
2014	1200	32%	48	5.00	240.00
2015	2200	59%	88	5.00	440.00
2016	1000	27%	40	5.00	200.00
				Total	880.00

100% proyectado: 3700 Kg.

Fuente: Elaboración propia (2017)



**Figura 26: Producción anual de biosol en la Granja Villa Sur**

Fuente: Elaboración propia (2017)

### 3.3. DISCUSIÓN

En el Compostaje, la obtención de compost mediante el sistema de pilas depende en gran medida a los factores de aireación y de humedad adecuados, los cuales son resultado de la operación y mantenimiento del proceso. Las actividades de riegos y volteos entonces son críticas para el compostaje adecuado de los residuos tratados y el control de la temperatura. En cuanto a la relación C:N se trabajó con una materia orgánica inicial 25:1 de los guanos de vacuno, el cual está dentro del rango ideal según FAO.

El tamaño de partículas y las dimensiones de las pilas de compostaje fueron acordes a las recomendaciones de FAO, por lo que en la operación y mantenimiento del proceso recaló la eficiencia del proceso.

Los microorganismos eficaces en el compostaje ayudaron en la obtención de compost en menor tiempo, en cuanto se dan las condiciones adecuadas de humedad del 50 por ciento y aireación del 10 por ciento.

En la Lombricultura, el compost semimaduro, que ha tenido un mayor tiempo de tratamiento en el compostaje, resultó en un alimento más adecuado para el mantenimiento

de la crianza de las lombrices en comparación a un compost inmaduro. Con este alimento desarrolló más la población de lombrices y se cosechó el vermicompost antes.

La digestión anaeróbica tuvo mayores problemas de operación y mantenimiento por cuanto requirió de un mayor trabajo para incorporar los residuos orgánicos al proceso, y la variabilidad de los insumos aportados produjo diferentes contenidos y características de biosol y biol. Por ejemplo producto de la biodigestión de los residuos procesados como grasas se obtuvo un biol oscuro, en cambio de la biodigestión de los residuos frescos, con mayor contenido de agua se produjo un biol claro y amarillento. Por ello se incorporó el biosol a las pilas de compostaje, y el biol se aplicó como bioestimulante cuando presentó buenas características de color.

#### IV. CONCLUSIONES

1. La Implementación del Manejo de Residuos Orgánicos mediante los procesos de Compostaje, Vermicompostaje y Digestión Anaeróbica, permitió la obtención de los abonos orgánicos compost, vermicompost, biosol y biol respectivamente, producidos uno a continuación del otro, lográndose dar un valor agregado a los residuos y obtener una fuente de nutrición para su uso en la mejora de las áreas verdes.
2. La Implementación del Manejo de Residuos Orgánicos en Áreas Verdes, permitió una producción anual de 20 TM de compost, 110 Kg. de vermicompost y 1000 Kg. de biosol que son utilizados para el abonamiento de las plantas y la mejora de las propiedades del suelo.
3. Con el Programa de Implementación del Manejo de Residuos Orgánicos se logró reducir en un 86 por ciento la compra de insumos químicos utilizados en la nutrición de las áreas verdes.
4. Con el Programa de Implementación del Manejo de Residuos Orgánicos se evitó liberar al medio ambiente 1500 m<sup>3</sup> de gas metano (CH<sub>4</sub>), contribuyendo a mitigar el impacto de este gas de efecto invernadero.

## **V. RECOMENDACIONES**

1. Implementar nuevos procesos que contribuyan a mejorar el Manejo de Residuos Orgánicos, tales como: el uso de bacterias ácido lácticas y bionutrientes.
2. Implementar el uso de maquinarias (chipeadoras), que permita reducir la granulometría de la materia orgánica a procesar.
3. Establecer la valoración económica detallada del beneficio de la Implementación del Manejo de Residuos Orgánicos en áreas verdes.
4. Desarrollar un Plan de Manejo Integral dentro del club, con fines de establecer una Unidad Productiva sostenible desde el punto de vista ambiental, social y económico.

## VI. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. APARCANA, S. (2008). Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso de “Fermentación Anaeróbica” para Producción de Biogás. Lima: German ProfEC- Perú SAC. Reporte N° BM-4-00-1108-1239.
2. BARBADO, J. (2004). Cría de lombrices. Argentina.
3. BERNAL, M. (2009). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology*. 2009 11//;100(22):5444-53.
4. BROWN, L. (2004). Manual sobre biodigestores. Madrid. 120 p.
5. EMISON, G. (2008). Abonos El Compostaje. Barcelona, España.
6. HIGA, T. y PARR, J. (1994). Beneficial and effective microorganisms for sustainable agricultura and environment. Atami, Japan: International Nature Farming Research Center.
7. INFOAGRO. El Compostaje 1ª parte y 2ª parte. <Fecha de consulta: 11/07/2017. (Sitio en Internet) disponible en: <http://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm>
8. INSTITUT FÜR AGRARTECHNICK. (2003). Manual del Biogás. Bornim e.V. Leipzig, Alemania.
9. ISLAM, M. (2005). Survival of Escherichia coli. *Food Microbiology*. 2005 1//;22(1):63-70.
10. GLOBAL METHANE INITIATIVE. Metano de Vertederos: Reducción de las Emisiones, Avance de las Oportunidades de Recuperación y Utilización. <Fecha de consulta: 11/07/2017. (Sitio en Internet) disponible en: [https://www.globalmethane.org/documents/landfill\\_fs\\_spa.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/landfill_fs_spa.pdf)
11. GONG, C. (2007). Microbial safety control of compost material with cow dung by heat treatment. *Journal of Environmental Sciences*. 2007 //;19(8):1014-9.
12. LAZCANO C. (2008). Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72:1013-1019.

13. MAGDOFF, F y WEIL, R. (2004). Soil Organic Matter Management Strategies. Florida, EE.UU. p. 59-84.
14. NATVER. (2010). Gases que libera la composta. <Fecha de consulta: 11/07/2017. (Sitio en Internet) disponible en: <http://www.kuncorporation.com/plasma/4-Reportes%20T%E9cnicos/plasma%20Vs%20Metano-NATVER.pdf>
15. OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. (2013). Manual de Compostaje del Agricultor Experiencias en América Latina. Santiago, Chile. 112 p.
16. OLIVEIRA, M. (2011). Transfer of Listeria innocua from contaminated compost and irrigation water to lettuce leaves. Food Microbiology. 2011 5//;28(3):590-6.
17. SHINTANI, M., LEBLANC, H., y TABORA, P. (2000). Bokashi: Abono Orgánico Fermentado. Costa Rica: Universidad EARTH.
18. SCHULDT M., CHISTIENSEN R., SCATTURICE L. y MAYO J. (2007). Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de intemperie. RedVet VIII(8):1-10.
19. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID. (2013). Curso de Compostaje en la UAM: Etapas del Proceso de Compostaje. Madrid, España.

## VII. ANEXOS

### ANEXO 1: Microorganismos eficaces, producto comercial BIOEM



Fuente: <http://www.bioem.com.pe/productos/em-compost/>

### ANEXO 2: Insumos para la preparación del Bokashi



Fuente: Elaboración propia

### **ANEXO 3: Preparación del Bokashi con solución EM**



Fuente: Elaboración propia

### **ANEXO 4: Preparación del Bokashi con microorganismos eficientes**



Fuente: Elaboración Fuente: propia

## ANEXO 5: Almacenamiento hermético del Bokashi



Fuente: Elaboración Fuente: propia

## ANEXO 6: Seguimiento de los Procesos de Compostaje en Granja Villa Sur

GRANJA VILLA SUR													
PROGRAMA DE PROCESAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS 2016													
SEGUIMIENTO 24/12/2016													
COMPOSTAJE													
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE	CANTIDADES PROYECTADAS
<b>COMPOST</b>													
Formación de pilas	PILA 1 PILA 2	PILA 3 PILA 4	PILA 5 PILA 6	PILA 7 PILA 8	PILA 9 PILA 10	PILA 11 PILA 12	PILA 13 PILA 14	PILA 15 PILA 16	PILA 17 PILA 18	PILA 19 PILA 20			20 PILAS X 2 TM. = 40 TM. DE COMPOST
Cosecha			PILA 1 PILA 2	PILA 3 PILA 4	PILA 5 PILA 6	PILA 7 PILA 8	PILA 9 PILA 10	PILA 11 PILA 12	PILA 13 PILA 14	PILA 15 PILA 16	PILA 17 PILA 18	PILA 19 PILA 20	
Nº DE PILAS A PROCESAR: 20 Nº VOLTOS POR PILA: 2 TIEMPO DE PROCESAMIENTO: 6 SEMANAS CANTIDAD DE COMPOST POR PILA: 2000 KG. CANTIDAD DE COMPOST TOTAL: 40 TM. Nº SACOS X 25 KG. POR PILA: 80 SACOS. Nº SACOS X 25 KG. TOTAL: 1600 SACOS CONSUMO DE ACTIVADOR POR PILA: 200 mL. CONSUMO DE ACTIVADOR ORGÁNICO: 4 LTS.					Nº PILAS PROCESADAS: 12/20 (60%) Nº PILAS COSECHADAS: 12/20 (60%) CANTIDAD DE COMPOST PROCESADA: 20 TM. (50%, 20/40) CANTIDAD DE COMPOST OBTENIDA: 20 TM. (50%, 20/40) CONSUMO DE ACTIVADOR ORGÁNICO: 1,1 LTS.								
<b>BOKASHI - COMPOST</b>													
Llenado de unidades	CILINDRO 1 CILINDRO 2 CILINDRO 3 CILINDRO 4	CILINDRO 5 CILINDRO 6 CILINDRO 7 CILINDRO 8	CILINDRO 9 CILINDRO 10 CILINDRO 11	CILINDRO 1 CILINDRO 2 CILINDRO 3 CILINDRO 4	CILINDRO 5 CILINDRO 6 CILINDRO 7 CILINDRO 8	CILINDRO 9 CILINDRO 10 CILINDRO 11	CILINDRO 1 CILINDRO 2 CILINDRO 3 CILINDRO 4	CILINDRO 5 CILINDRO 6 CILINDRO 7 CILINDRO 8	CILINDRO 9 CILINDRO 10 CILINDRO 11	CILINDRO 1 CILINDRO 2 CILINDRO 3 CILINDRO 4			11 X 3 = 33 CIL. + 4 CIL. = 37 CIL. BOKASHI - COMPOST X 100 KG. = 3700 KG. EN TOTAL
Liberación de unidad			CILINDRO 1 CILINDRO 2 CILINDRO 3 CILINDRO 4	CILINDRO 5 CILINDRO 6 CILINDRO 7 CILINDRO 8	CILINDRO 9 CILINDRO 10 CILINDRO 11	CILINDRO 1 CILINDRO 2 CILINDRO 3 CILINDRO 4	CILINDRO 5 CILINDRO 6 CILINDRO 7 CILINDRO 8	CILINDRO 9 CILINDRO 10 CILINDRO 11	CILINDRO 1 CILINDRO 2 CILINDRO 3 CILINDRO 4	CILINDRO 5 CILINDRO 6 CILINDRO 7 CILINDRO 8	CILINDRO 9 CILINDRO 10 CILINDRO 11	CILINDRO 1 CILINDRO 2 CILINDRO 3 CILINDRO 4	
						Nº CILINDROS PROCESADOS: 10/37 (27%) Nº CILINDROS LIBERADOS: 10/37 (27%) CANTIDAD DE BOKASHI - COMPOST OBTENIDA: 1000 KG (27%, 1000/3700)							
<b>LOMBRICULTURA</b>													
Alimentación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	40 KG. X 10 MESES = 400 KG. DE HUMUS
Cosecha de humus						X			X	X			
COSECHA DE HUMUS: 115 KG (29%, 115/400)													

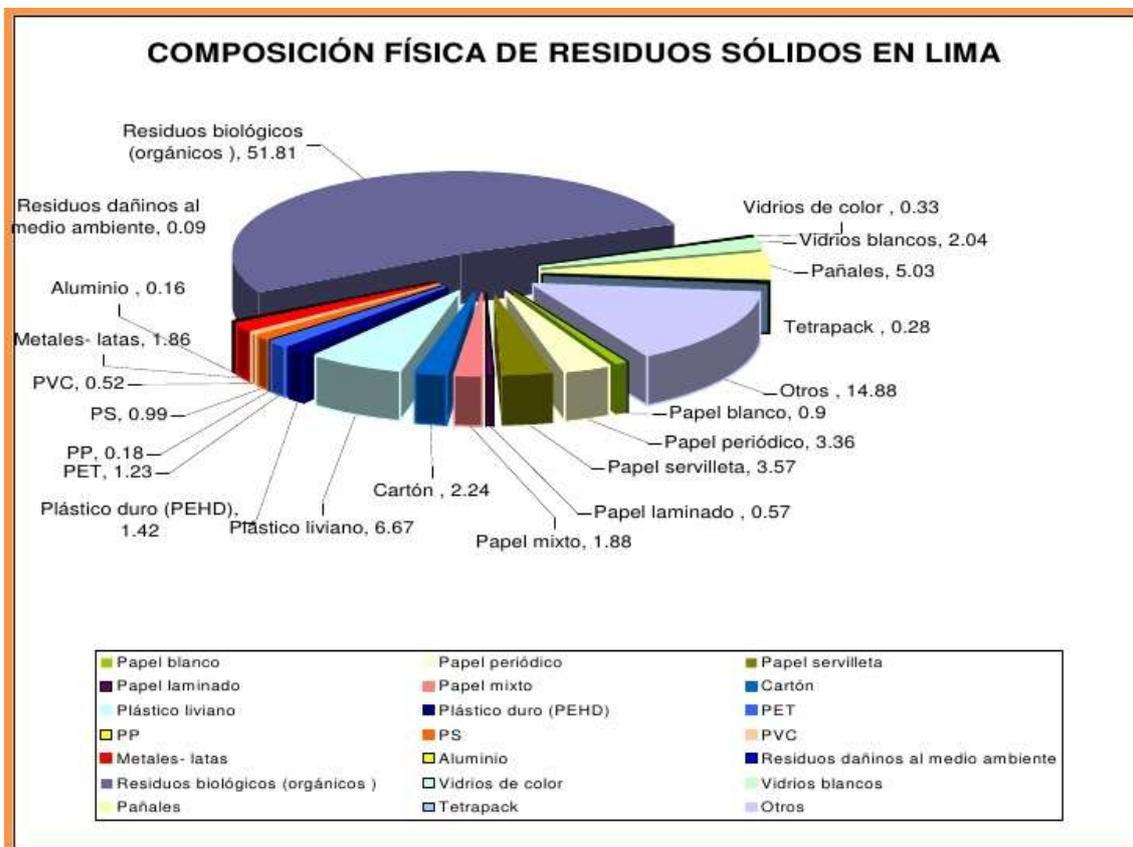
Fuente: Elaboración propia (2016)

## ANEXO 7: Jerarquización del manejo de residuos sólidos



Fuente: SINIA - Reciclaje y disposición final segura de RESIDUOS SÓLIDOS

## ANEXO 8: Composición de los residuos sólidos urbanos de Lima



Fuente: MINAM - Gestión y Manejo de Residuos Sólidos