

# COMPOSTAJE DE RESIDUOS DOMICILIARIOS: UNA PROPUESTA A NIVEL FAMILIAR

GERMÁN GABRIEL GUDIÑO SANCHEZ

2014



Tesis presentada como requerimiento para obtener el título de grado de

**Ingeniero en Recursos Naturales Renovables**

**Facultad de Ciencias Agrarias – Universidad Nacional de Cuyo**

Director: M.Sc. Ing. Agr. Emilio Rearte

Co-director: Dra. Ing. Agr. María Flavia Filippini

## ÍNDICE

Contenido	Página
<b>RESUMEN</b> .....	<b>3</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>II. OBJETIVO</b> .....	<b>11</b>
1) Objetivo principal:.....	11
2) Objetivos particulares: .....	11
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>12</b>
1) Descripción del Compostaje.....	12
1.1. Procesos Físicos:.....	14
a. Humedad:.....	14
b. Temperatura:.....	15
c. Aireación: .....	16
d. Granulometría del sustrato:.....	17
1.2. Procesos Químicos .....	17
a. Caracterización de los residuos orgánicos: .....	17
b. pH:.....	19
c. Relación C/N equilibrada .....	20
1.3. Procesos Microbiológicos .....	23
a. Microorganismos:.....	23
b. Inóculos:.....	25
1.4. Fases del compostaje .....	27
a. Fase Activa .....	28
b. Fase de Maduración .....	29
1.5. Calidad del compost.....	31
1.6. Ecosistema edáfico .....	33
2) Proceso de compostaje tradicional.....	36
<b>IV. RESULTADOS ESPERADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>40</b>
1) Proceso productivo alternativo.....	40
1.1. Preparación del sustrato: .....	40

---

a.	Mezcla de residuos para la compostera .....	40
b.	Clasificación de los residuos .....	40
c.	Utilización de baldes para formar la mezcla a compostar .....	42
d.	Preparación del sustrato para el llenado de la compostera .....	44
1.2.	Manejo de la compostera .....	45
a.	Control de la aireación y homogenización de la mezcla .....	46
b.	Control de la humedad .....	48
c.	Drenaje de líquidos percolados .....	49
d.	Inoculación .....	50
1.3.	Cuidado de la compostera .....	52
1.4.	Cosecha del compost .....	53
1.5.	Solución de problemas del compostaje .....	54
1.6.	Elementos necesarios para el proceso de compostaje propuesto .....	56
2)	Discusión del proceso propuesto .....	60
2.1.	Preparar el sustrato .....	60
2.2.	Proceso de compostaje .....	61
2.3.	Aireación pasiva y activa .....	62
2.4.	Inoculación .....	62
2.5.	Utilización de cobertor .....	63
2.6.	Cálculo de la cantidad de compost que se producirá. ....	64
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>VI.</b>	<b>REPERCUSIONES DEL TRABAJO .....</b>	<b>66</b>
<b>VII.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>67</b>
	Agradecimientos .....	74

## RESUMEN

Los residuos sólidos urbanos representan un problema a nivel global, que genera grandes gastos económicos en la población mundial, además de la contaminación ambiental de suelos, agua y aire.

La composición de los residuos varía entre países. A mayor desarrollo aumenta el contenido de papeles, vidrios y latas y por el contrario, en aquellos más pobres, aumenta el contenido de desechos orgánicos. También se da que dentro de un mismo país, aquellos sectores de la población con patrones de consumo muy sofisticados, presentan una producción de residuos comparable a la media de países desarrollados.

En la provincia de Mendoza, la producción diaria de desechos orgánicos es de 750.000 kg. Estos residuos son tratados únicamente en el departamento de Maipú, que cuenta con una planta de tratamiento. En los otros casos, se colocan en vertederos controlados o en zonas de sacrificio.

A través de una descripción de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del proceso de compostaje se intentará proponer una metodología casera que implique el uso de recursos de bajo costo para una familia tipo de Luján de Cuyo, Mendoza.

El objetivo del presente trabajo es proponer, a nivel familiar, una metodología de compostaje alternativa a la tradicional que permita la disminución de los residuos sólidos domiciliarios, produciendo un abono que puede utilizarse en los jardines.

**Palabras claves:** compost, jardín, abono orgánico.

## **I. INTRODUCCIÓN**

Los residuos sólidos urbanos son un problema a nivel global, que genera grandes gastos económicos en la población mundial y contaminación ambiental de suelos, agua y aire.

La producción de residuos urbanos tanto en cantidad como en composición, no es igual en todas las sociedades. En general los países desarrollados en comparación con aquellos menos desarrollados suelen producir una mayor cantidad de residuos dentro de los cuales la fracción dominante es de inorgánicos, llegando al 80 % en Estados Unidos. En los países subdesarrollados este valor puede bajar hasta al 50% (Rotoero, 2001).

Según los datos generados por la Organización Panamericana para la Salud (OPS), se estableció que en Argentina como mínimo el 44% del total de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se generan son vertidos en forma inadecuada, ya sea en basurales a cielo abierto o en sitios que no cuentan con los controles mínimos requeridos para una adecuada preservación de la salud humana y del ambiente. Estas cifras remarcan la gravedad de la situación existente. (Coordinación General para la Gestión Integral de RSU, 2009)

La incineración y el vertido controlado de los residuos son hasta ahora los tratamientos más habituales a los que se someten los desechos, sin tener en cuenta que el compostaje es el único proceso biooxidativo que permite recuperar en forma eficiente los nutrientes que tienen los residuos orgánicos, sin perjudicar la fertilidad global de los sustratos.

En los países desarrollados, los habitantes generan de 2 a 3 kg por día de basura, mientras que para aquellos que se encuentran en desarrollo, esa cantidad se reduce a valores entre 0,5 y 1 kg por día. Sin embargo, el modo de vida de las clases altas de estos

países, que tienen un estilo de vida urbano y cuentan con un alto poder adquisitivo, pueden generar una cantidad de basura equivalente a la registrada para los países desarrollados (Acosta, 2008).

En la Argentina se generan 0,85 kg de residuos sólidos domiciliarios por habitante y por día, de los cuales el 50% corresponde a desechos de tipo orgánico, lo que daría un valor aproximado de 17 millones de kg por día (34 millones en total) (Gonzales, 2010).

Para la provincia de Mendoza, la producción diaria total de desechos orgánicos es de 750.000 kg. El valor medio de producción de residuos sólidos urbanos domiciliarios para el departamento de Luján de Cuyo es de 0,46 kg por habitante por día y considerando el 50 % como orgánico, da un valor per cápita de 0,23 kg/día de éste tipo de desechos (Fundación Universidad Tecnológica, 2007)

Para el presente trabajo, se tomará como unidad de análisis a una familia tipo, entendiéndola como aquella compuesta por un núcleo conyugal con dos hijos es decir un total de 4 integrantes (DEIE, 2009), que presente patrones de consumo propios de la media del departamento de Luján de Cuyo y que posea un jardín con una superficie cultivable de entre 50 y 200 m<sup>2</sup>. Se eligió dicho departamento ya que en él se encuentran un gran número de familias con las características nombradas. Conociendo esos datos es posible estimar que dicha familia de Luján de Cuyo, produce un total de 0,92 kg de residuos orgánicos por día.

Para el caso puntual de la provincia de Mendoza, menos del 9 % de residuos son tratados únicamente en la planta de tratamiento de residuos sólidos urbanos del departamento de Maipú. Más del 75% de la basura que produce la provincia se coloca en vertederos no controlados o en zonas de sacrificio muchas veces no inspeccionadas (el cual es un factor común en el departamento de Luján de Cuyo). Una fracción próxima al 15% se ubica en vertederos parcialmente controlados (como es el Relleno Sanitario

metropolitano “Lime” ubicado en el departamento de Las Heras a 10 km de la ciudad capital) (Gassull, 2011).

En Maipú los residuos son clasificados y separados en metales, plásticos, vidrios, papeles y cartones. Además se composte la materia orgánica y se coloca en vertido controlado el material sobrante. Ésta resulta una práctica sumamente alentadora ya que genera un beneficio significativo al ambiente y a las condiciones de las personas que trabajarían informalmente con esta basura.

Recordando un poco la historia, el compostaje es practicado desde la antigüedad. Hace miles de años, los chinos compostaban todas las materias de sus jardines, de sus campos y de sus casas. En el Oriente Próximo, en las puertas de Jerusalén, había lugares dispuestos para recoger las basuras urbanas: unos residuos se quemaban y con los otros se hacía compost.

Después de la Primer Guerra Mundial, el descubrimiento de los abonos de síntesis (aquéllos que han sido producidos en fábrica, como la urea) populariza su utilización en la agricultura, sustituyendo a los abonos orgánicos. En los últimos años se ha puesto de manifiesto que tales abonos químicos empobrecen la tierra a mediano y largo plazo. Por esto, hacia las últimas décadas ha tomado mucho vigor y renombre el concepto de compostaje (Añón, 2011).

Según múltiples fuentes bibliográficas, el compostaje se puede hacer de varias maneras, en función de diversas variables del ambiente, de los residuos, de los materiales necesarios, entre otros. Dentro de todos ellos se pueden seleccionar tres: el compostaje en silos o columnas, el superficial y en pila o montón.

El primero consiste en acumular el sustrato en columnas o silos contenidos por una malla metálica o algún otro material que forman un volumen prismático sobre el nivel del suelo (usado para tratar cantidades reducidas de sustrato). El método superficial radica en

extender sobre la superficie una capa de material a compostar que no supere los 80 cm y luego cubrirlo con una capa de suelo. Finalmente el compostaje en pila o montón es el que será considerado como tradicional ya que es el que más se realiza (Filippini M.F. 2011; Rojas 2013, comunicación personal). Este método en particular será abordado en el presente trabajo.

Por otra parte, en muchos países del mundo donde la práctica de la elaboración del compost a pequeña escala está muy difundida, se han desarrollado sistemas e implementos que se pueden utilizar a nivel doméstico, como es el caso de las composteras de paneles ensamblables combox<sup>1</sup> o afines. En Argentina, principalmente en Buenos Aires, se registran algunas entidades que venden composteras de tipo silo que consisten en contenedores de materiales y medidas variables dentro de los cuales se incorpora el sustrato a compostar<sup>2</sup>.

Una característica fundamental del compost es que genera un beneficio para el suelo sobre todo por el aporte de materia orgánica que generalmente es deficitaria en zonas áridas como la nuestra. Este abono contribuye al mejoramiento de características edáficas como estructura, capacidad de retención de humedad, fertilidad, etc. (Alcolea & Gonzales, 2000).

Además puede ser considerado como un “alimento” para la cadena trófica del suelo, una “siembra” promotora de la actividad biológica de los microorganismos del mismo y un sustrato con propiedades de “control de enfermedades” de las plantas cultivadas. En general el compost puede constituir un excelente factor de producción para los

---

<sup>1</sup>Combox presta servicio de venta de los paneles en Europa, con capacidad de venderlos a distintas partes del mundo. Ver la web: [www.compostadores.com/combox](http://www.compostadores.com/combox) (COMBOX, 2012).

<sup>2</sup> Se han identificado tres emprendimientos dedicados a la fabricación y comercialización de composteras para el hogar en las siguientes páginas web: “Compostar” [www.compostar.com.ar/](http://www.compostar.com.ar/) “Dedo Verde” [www.dedoverde.com.ar/](http://www.dedoverde.com.ar/) “Worms Argentina” [www.wormsargentina.com](http://www.wormsargentina.com). Presentan valores de 600 pesos en adelante para las composteras nacionales.



agroecosistemas en general y un buen factor de protección y conservación de los suelos (Fernández, *et al.*, 2004).

Con la práctica del compostaje no sólo se beneficia la naturaleza, sino también al complejo formado por el sistema económico, el sociocultural y el técnico ambiental, que en una estrecha interrelación consolidan los pilares de las sociedades.

La implementación de un proceso productivo para la obtención de compost con buenas características, permitirá además alcanzar un beneficio de la familia a través de promover la unión y el afecto de todos sus integrantes e incentivando el trabajo grupal y solidario. Además se generarían otros beneficios que podrían afectar a la familia, tales como:

- a. Disminuir la cantidad de residuos que tengan que recolectarse y disponerse.
- b. Reducir la frecuencia de recolección, ya que el resto de materiales secos pueden acopiarse por más tiempo.
- c. Minimizar las inversiones en camiones recolectores, plantas de tratamiento y de compostaje de gran escala. Además se reduce el consumo energético en el proceso.
- d. Reducir la generación de lixiviados en el sitio de disposición final, evitando la contaminación del agua subterránea y también la posibilidad de proliferación de agentes patógenos, ratas y otros vectores.
- e. Disminuir las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI), en especial de metano, en sitios de disposición final.
- f. Facilitar la separación de los materiales para reciclaje y/o tratamiento de los distintos tipos de residuos, facilitando los procesos en planta.

g. Promover a un cambio cultural, ya que se impulsa una conducta proactiva en las personas hacia el cuidado ambiental.

Dado que el trabajo aborda el tratamiento de residuos domiciliarios a través del compostaje, es importante conocer el marco legal vigente como la ley número 5.970/92 “residuos urbanos” de la Provincia de Mendoza. La misma obliga a los municipios de Mendoza a erradicar todos los basurales a cielo abierto y los microbasurales en terrenos baldíos que se encuentren dentro de sus límites. Asimismo impide el vuelco de residuos en cauces de riego o el mal enterramiento de los mismos. También menciona que los municipios deberán optar por tratamientos que comprendan las fases de generación, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos de origen domiciliario, vial, industrial, sanitarios y comercial, producidos en su jurisdicción, debiendo realizar controles sanitarios efectivos, evitando y sancionando la contaminación y sus riesgos, la manipulación clandestina de la basura, el desvío de camiones y el vuelco en lugares no autorizados por parte de los empleados municipales y/o de empresas concesionarias, utilizando procesos de estabilización biológica (como el compostaje), desecho a vertederos con o sin selección de materiales; incineración de residuos sanitarios con tratamiento de gases o cualquier otro sistema que cumpla con las normas vigentes de protección ambiental y sanitaria. Es por ello que la gestión de los residuos domiciliarios, a través del compostaje de los orgánicos, significaría una alternativa para ayudar al cumplimiento de dicha ley.

El decreto 155/82 de la ley provincial número 4.597, destaca que la aplicación correcta del compost influye positivamente sobre la calidad del suelo a futuro. Con esta ley, la provincia de Mendoza adhiere a la ley nacional 22.428/81 de fomento,

conservación y recuperación de la capacidad productiva, producción agropecuaria y productividad del suelo (Estrucplan, 2008).

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se ha decidido realizar una descripción del proceso de compostaje y de los factores que lo afectan, para generar una propuesta teórica que puedan aplicar las familias que coincidan con el modelo propuesto, utilizando materiales conocidos y de fácil acceso. Esto se presenta como una ventaja debido a las complicaciones que existen en la realización de abono en forma tradicional, el tiempo variable que tarda en realizarse, los problemas que trae su mal mantenimiento, las diferentes calidades que se obtienen entre una partida y otra y el desconocimiento de las bondades de la materia orgánica en los suelos.

Se aspira con el trabajo propuesto a que las familias puedan acceder a un proceso productivo que no demande un gasto elevado de inversión como de mantenimiento ni grandes conocimientos del tema, y así poder generar un abono orgánico para su jardín o huerto a la vez que disminuyen los volúmenes de desechos orgánicos producidos a nivel domiciliario.

La idea es que bajo los objetivos principales que se proponen en este estudio para optimizar los métodos de producción del compost, dicha tecnología de proceso con el tiempo se pueda extrapolar a distintas escalas para que pueda llegar a ser implementada, con las debidas políticas.

## **II. OBJETIVO**

### **1) Objetivo principal:**

Proponer una metodología alternativa de compostaje de residuos orgánicos domiciliarios para una familia tipo del departamento de Luján de Cuyo, Mendoza, Argentina.

### **2) Objetivos particulares:**

- Describir los procesos que actúan en el compostaje y las etapas en la elaboración del mismo.
- Plantear una técnica de elaboración de compost con herramientas y materiales de fácil acceso para una familia tipo.
- Comparar la técnica elaborada con el método tradicional de obtención de compost.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

A partir de la bibliografía nacional e internacional consultada y algunas experiencias regionales es que se describe el proceso de compostaje, analizando los procesos físicos, químicos y microbiológicos que en él actúan, además de otras características propias. También se describirá qué se entiende por método tradicional y cómo se lleva a cabo.

Estos antecedentes serán de utilidad para elaborar una propuesta práctica y útil para la obtención de compost a nivel familiar.

#### **1) Descripción del Compostaje**

Compostaje es un término que se usa para designar al proceso de degradación aeróbica y termófila de materiales orgánicos sólidos de distintos orígenes, realizado por comunidades microbianas bajo condiciones controladas. En este proceso se produce la conversión parcial de la materia orgánica cruda biodegradable en materia orgánica humificada, a través de la acción conjunta de bacterias, hongos y actinomicetos (Rearte, 2011).

Por los procesos de mineralización y humificación de la materia orgánica, el compost representa un agregado importante de nutrientes para la planta y el ambiente edáfico que mejora la estructura del suelo, la capacidad de absorción de agua y disminuye la erosión (Filippini, 2011).

Se indica que es aeróbica porque durante el proceso se favorecen las transformaciones de tipo aeróbico al realizar operaciones que permiten el acceso de oxígeno al material en descomposición. Esto es de suma importancia ya que en un ambiente que posea condiciones oxidativas (más de 1% de oxígeno) no se desarrollan las

bacterias anaerobias estrictas que generan malos olores y efectos nocivos al hombre (Frioni, 2010; Rojas 2013, comunicación personal).

En el proceso aeróbico las transformaciones de la materia orgánica ocurren de forma más rápida que en condiciones anaeróbicas y son también más exotérmicas. De esta forma en presencia de oxígeno se genera más energía en forma de calor, incrementándose así la temperatura en el material (Frioni, 2010).

Se produce una reducción de masa, volumen y contenido de humedad y la estabilización parcial de la materia orgánica (Cuevas, 2009). Este aumento en la temperatura, unido al tipo de transformaciones aeróbicas que tienen lugar, acelera el proceso, evita la generación de malos olores y favorece la higienización del compost eliminándose o reduciéndose así agentes patógenos o molestos, semillas de malas hierbas, etc. (Ochoa, 2012).

Por último, se señala que transcurre bajo condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, para diferenciarlo de las putrefacciones. El proceso va dirigido prioritariamente a los residuos sólidos (o semisólidos) biodegradables, los cuales constituyen la fase sólida orgánica de los residuos, que facilita la actividad biológica al servir de soporte físico y matriz de intercambio de gases, proporciona nutrientes orgánicos e inorgánicos y agua, aporta microorganismos nativos (existentes en los mismos residuos, en los inóculos y el medio en general), almacena los residuos metabólicos generados, y actúa como aislante térmico (Soliva *et al.*, 2008).

En el compost se produce una transformación de los restos orgánicos a través de los fenómenos de humificación y de mineralización, los cuales van a marcar la evolución de dicho proceso. Para que éstos se promuevan, deben darse una serie de condiciones externas e internas de la materia orgánica (tales como temperatura, aireación, etc.), que pueden ser agrupadas dentro de tres grandes procesos: físicos, químicos y

microbiológicos según las características que presente cada uno (Labrador, 1996). Es sumamente importante conocer cada uno de ellos, ya que con el proceso productivo propuesto se buscará alcanzar las condiciones óptimas de los mismos y así poder generar mayor calidad y cantidad de compost.

1.1. Procesos Físicos:

a. Humedad:

El agua es necesaria para facilitar la disponibilidad de nutrientes para los microorganismos y como medio para que puedan realizar sus procesos reproductivos, metabólicos y asimilativos.

El contenido de humedad dependerá de las materias primas empleadas. Para materiales fibrosos o residuos forestales gruesos, la humedad máxima permisible es del 75-85% mientras que para material vegetal fresco, oscila entre 50-60%. (Rearte, 2011)

En el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Un contenido bajo de humedad inhibe la actividad microbiana, por lo tanto el proceso de descomposición se hace más lento y si se reduce a menos del 8% toda la actividad microbiana se detiene. Si el contenido de humedad es muy alto, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volverá anaeróbico, es decir se produciría una putrefacción de la materia orgánica (Röben, 2002; Hasan *et al.*, 2012). De esta forma se dificulta la biodigestión de los desechos, relentizando el proceso general de compostaje, indisponiendo nutrientes, generando condiciones reductoras (baja el pH) y liberación de malos olores.

Para conocer el contenido correcto de humedad se puede hacer la prueba “de la mano”, que consiste en tomar una muestra del centro de la pila, apretarla con la mano, y ver lo que ocurre y en función de eso actuar correspondientemente:

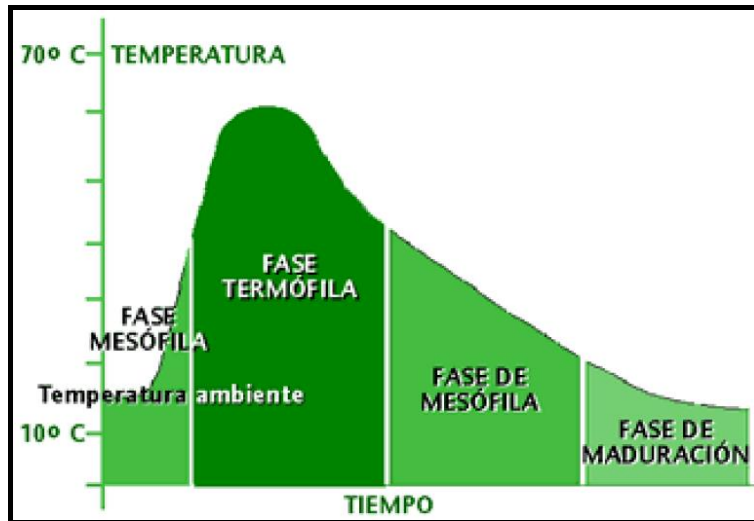
- Si los materiales no se mantienen unidos sino que se desintegran, la muestra de compost está muy seca y hay que agregar agua o materiales húmedos.
- Si está muy húmeda, es decir que al apretar la muestra, cae agua en forma continua, habrá que agregarle materiales secos a la pila o darle vuelta con frecuencia para que se seque.
- Si al tacto el material se siente húmedo pero sin escurrir agua, es el punto deseado, se debe mantener el material en éstas condiciones (Navarro, 2003).

b. Temperatura:

Se consideran óptimas las temperaturas del intervalo 35-55°C para conseguir la eliminación de patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas. A temperaturas de 70°C, muchos microorganismos interesantes para el proceso mueren y otros no actúan al estar esporulados (Filippini, 2011; Pérez, 2002). Se produce un proceso de pasteurización del material. Las altas temperaturas no deben extenderse mucho porque limitan a la microflora mesófila, coagulan proteínas y provocan pérdidas de Nitrógeno en forma de amonio.

La ausencia de calor en los primeros días representa un problema por no poder exterminar a los agentes indeseados en el producto final. Puede producirse por baja actividad microbiana, deficiente relación C/N, falta de O<sub>2</sub> por exceso de agua o materiales de muy fina granulometría, etc. (Frioni, 2006). Como se verá posteriormente en el trabajo, dentro del proceso de compostaje se dan dos fases: activa y de maduración. A su vez dentro de esta primera, se producen otras tres fases: mesófila, termófila y mesófila nuevamente, cuyo indicador fundamental es la variación de la temperatura a lo largo del proceso de compostaje. Lo dicho se puede apreciar a continuación en la Fig.1.





**Fig.1.** Variación de la temperatura en función del tiempo en el proceso de compostaje (Filippini, 2011).

c. Aireación:

La aireación del compost se realiza para incorporar oxígeno al sistema ya que es el elemento clave con que se realizarán las reacciones metabólicas dominantes. Para el caso del método tradicional<sup>3</sup>, la aireación del compost es necesaria ya que durante las primeras instancias, el porcentaje inicial de oxígeno puede verse reducido hasta en un 20%, mientras que el dióxido de carbono aumenta hasta un 5%. Con la aireación se consigue elevar los porcentajes de oxígeno hasta su óptimo para el desarrollo de los microorganismos, así como controlar con ello otros factores tan importantes como la temperatura o la humedad.

Además, para los organismos, el oxígeno es necesario para muchas reacciones de oxidación de compuestos químicos orgánicos e inorgánicos presentes en las materias primas.

<sup>3</sup> como se verá en el trabajo, se realiza con la técnica "Compostaje en pila"

Por otro lado, también hay que tener cuidado con la excesiva aireación de la pila ya que podría provocar el enfriamiento del material así como un incremento de la evaporación de agua, lo que supondría la reducción de la actividad microbiana (Beltrame *et al.*, 1999; Estrada & Gómez, 2005).

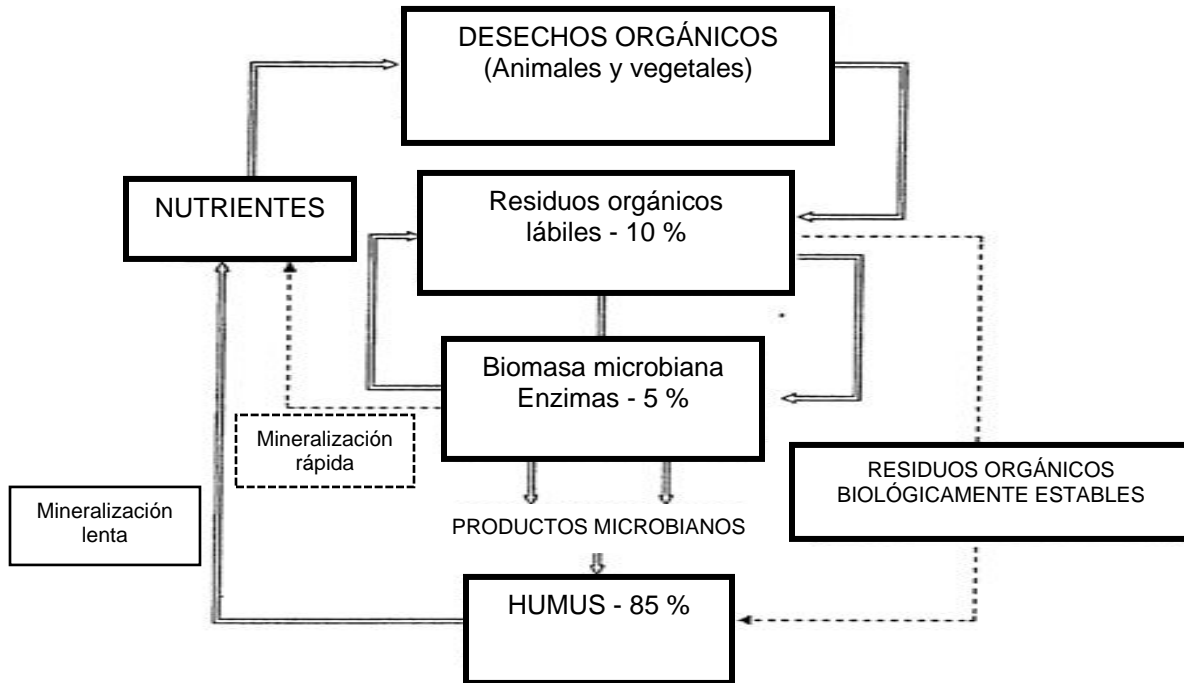
d. Granulometría del sustrato:

La degradación de los sustratos se produce sobre el área externa de los mismos. Al estar más triturado será mayor la superficie de contacto con el medio y los microorganismos actuarán mejor (Gabetta, 2004). Pero el tamaño de las partículas no debe ser excesivamente pequeño debido a que afectaría a la porosidad de la pila produciendo situaciones anaerobias. Al disminuir el tamaño de los residuos se estará incentivando la biodiversidad ya que pueden actuar más microorganismos y generar cada uno una mayor acción degradativa (Agreda & Deza Cano, 2012).

1.2. Procesos Químicos

a. Caracterización de los residuos orgánicos:

Como se ha aclarado, el compostaje es un proceso biooxidativo en el cual, por el metabolismo aerobio de los microorganismos, se produce uno o más aumentos de temperatura. Dentro de éste se puede dar la humificación y la mineralización tal como se aprecia en la Fig.2 a continuación.



**Fig.2.** Proceso de humificación y mineralización (Varnero, 1997; adaptado de Porta *et al.*, 1994).

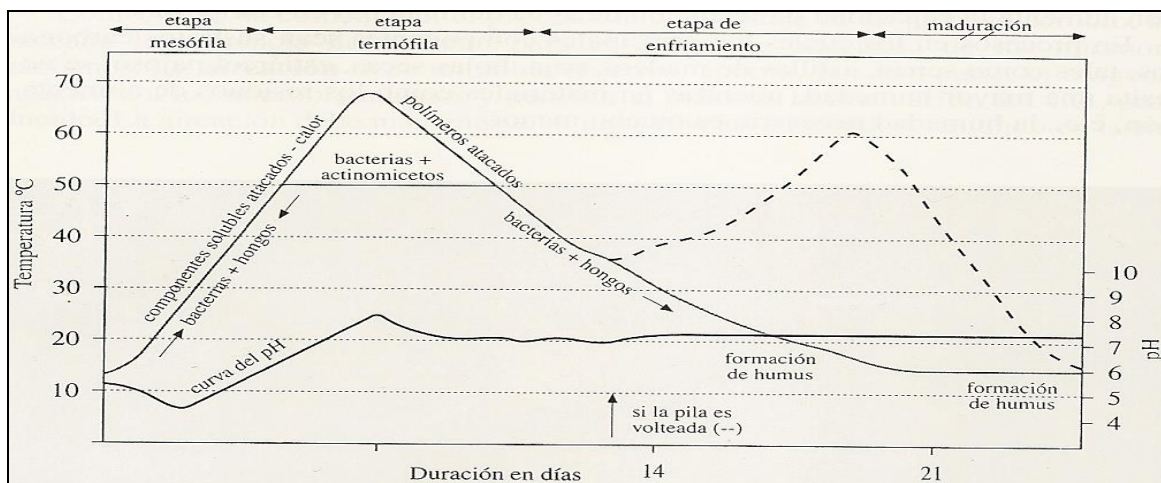
La humificación es el proceso de formación del humus y es el proceso responsable de la acumulación de la materia orgánica en el suelo. La descomposición de restos orgánicos y residuos metabólicos da origen a lo que se denomina humus, formado por un complejo de macromoléculas en estado coloidal constituido por proteínas, azúcares, ácidos orgánicos, minerales, etc. en constante estado de degradación y síntesis.

El humus al descomponerse produce una serie de productos coloidales que en unión con los minerales arcillosos originan los complejos organominerales. Estos coloides son de carga negativa, lo que les permite absorber  $H^+$  y cationes metálicos ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) e intercambiarlos en todo momento de forma reversible.

La mineralización se da cuando se llega a la destrucción total de los compuestos orgánicos y se producen productos inorgánicos sencillos ( $CO_2$ ,  $NH_3$ ,  $H_2O$ , etc.) por procesos oxidativos (Lladó Vadell, 2010; Varnero, 1997).

b. pH:

El rango de pH tolerado por las bacterias en general es relativamente amplio, existiendo grupos fisiológicos adaptados a valores extremos. No obstante, el pH cercano al neutro (pH 6,5-7,5) favorece el desarrollo de la gran mayoría de los microorganismos (Labrador, 1996). Valores de pH inferiores a 5,5 inhiben el crecimiento de la generalidad de los grupos fisiológicos. Valores superiores a 8 también son agentes inhibidores del crecimiento, haciendo precipitar nutrientes esenciales del medio, de forma que no son accesibles para los microorganismos. Durante el proceso de compostaje se producen cambios en el pH que son acompañados por grupos de individuos con diversas dinámicas ecosistémicas (bacterias, hongos, actinomicetes). El pH presenta variaciones en función del tiempo, al igual que la temperatura, que son características del proceso de compostaje, como puede apreciarse en la Fig.3 que sigue.



**Fig.3.** Curva de temperatura y pH del proceso de compostaje ( López Real, 1995).

No es habitual que los desechos orgánicos vegetales presenten un pH muy desplazado del neutro (pH= 7). Ese sí puede ser el caso de algunos residuos provenientes de cocina o sintetizados artificialmente. Este tipo de residuos, se caracteriza

por su estabilidad (resistencia a la biodegradación) y en general se trata de desechos con pH marcadamente ácido (Sztern, 1999; Röben, 2002).

El compost puede afectar el pH del suelo en el que se aplica y con el la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y la capacidad de intercambio aniónico (CIA) mediante la alteración de la carga superficial de los coloides (Pérez Valenzuela, 2011). Una mayor concentración de  $H^+$  (pH más bajo) va a neutralizar la carga negativa de coloides, disminuyendo de ese modo la CIC y provocando el aumento de CIA. Lo contrario ocurre cuando se aumenta el pH. Este es un factor sumamente importante ya que un correcto CIC permite que las plantas tengan disponibles una serie de nutrientes que se encuentran en su forma iónica, como  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $NH_4^+$  y  $Na^+$ , lo que lleva a entender al compost como un abono natural sumamente importante (Mc Cauley et al., 2005).

c. Relación C/N equilibrada:

El carbono y el nitrógeno son dos elementos importantes en el proceso de compostaje ya que además de soportar el crecimiento microbiano son elementos básicos de la materia orgánica a compostar (Rearte, 2011).

El carbono es aproximadamente el 50% de la masa celular, así como fuente de energía metabólica. El nitrógeno por su parte es un componente mayoritario de ácidos nucleicos, proteínas estructurales, enzimas y coenzimas, necesarios para el crecimiento y desarrollo de las funciones microbianas (Agreda & Deza Cano, 2012; McCauley, 2005).

La mayoría de las fuentes coinciden en que una relación C/N de 25-35 es la adecuada para el compostaje, pero esta variará en función de las materias primas que conforman el compost (Estrada & Gómez, 2005; Grasso, 1997; INTA-INTI, 2012; Ochoa, 2012).

En la Tabla 1 que sigue se presenta la relación C/N para distintos residuos.

**Tab.1.** Relación C/N de distintos residuos

Tipo de Residuo	Residuo	Relación C/N
Vegetal	Papel	150-200/1
	Caña de maíz	150/1
	Pajas (trigo, cebada, avena, centeno)	100-60/1
	Cascarilla de arroz	95/1
	Viruta, aserrín	80-90/1
	Broza forestal (hojas, tallos, ramas chipeadas)	70-80/1
	Rastrojos, rollos, fardos (secos)	65-80/1
	Hojas frescas	40-80/1
	Residuos de frutos	40/1
	Mezcla de gramíneas:	
	2. follaje abundante	10/1
	3. follaje en plena floración	20/1
	4. follaje maduro	50/1
	Abono verde, prados (corte)	10-20/1
	Mosto	16/1
	Rastrojo de leguminosas	10-15/1
	Heno	21/1
Animal	Estiércoles:	
	1. Bovinos	30-40/1
	2. Equino	18-25/1
	3. Ovino	20-30/1
	4. Porcino	16/1
	5. Humanos	5-20/1
	6. Aviares inferior a	10/1
Sueros tambo, harina huesos	20/1	
Vísceras de frigorífico	15/1	
Harina (pescado, carne)	15/1	
Harina de sangre, sangre	3-10/1	
Orina inferior a	1/1	
Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	11-30/1	

(Schuldt, 2002)

Si la relación C/N es muy elevada, los microorganismos encontrarán una proporción muy alta de C respirable en relación al N necesario para constituir biomasa microbiana, lo que representa poblaciones pequeñas para todo el material degradable, es decir baja actividad microbiana (Martínez Farre, 2008). Esto lleva a una tasa baja de degradación del carbono orgánico del sistema en general y con eso a la ralentización del proceso

degradativo. Por otro lado, si un sustrato contiene carbono difícilmente asimilable, la relación óptima para dicho residuo será mayor que la indicada anteriormente, ya que la tasa neta de producción de energía por parte de los microorganismos será menor.

En una relación C/N muy baja se produce pérdida de N en forma de amoníaco, induciendo a la producción de olores desagradables por la volatilización del mismo (Schdult, 2002). Una baja relación puede favorecer a condiciones anaeróbicas (por ejemplo por un cúmulo de material cárnico, o de alto contenido en N con poca aireación), lo cual perjudica el proceso de compostaje por la liberación excesiva de ácidos orgánicos (propio del metabolismo reductor anaerobio), la proliferación de agentes patógenos y la producción de gases nocivos como el  $\text{SH}_2$  (Rojas, 2012).

Una relación muy baja, indica que hay mucho material de base para constituir masa microbiana, lo que promueve a formar grandes poblaciones. Esto lleva a inmovilizar el N en el tejido de los microorganismos, y a aumentar la tasa metabólica del sistema y la mineralización de la materia orgánica. Como consecuencia se producen grandes cantidades de nutrientes ( $\text{NO}^3$  ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ), pero si el medio edáfico no tiene la capacidad de retenerlos, se pueden perder por lixiviación (Perez Valenzuela, 2011; Frioni, 2010).

Los materiales orgánicos ricos en carbono y pobres en nitrógeno son la paja, las hojas, las ramas, la turba y el aserrín. Los pobres en carbono y ricos en nitrógeno son los vegetales jóvenes, las leguminosas, las deyecciones animales y los residuos de matadero (Martínez Farre, 2008).

Los procesos de mineralización y de humificación influyen directamente sobre la relación C/N. En la mineralización la fracción orgánica de carbono se transforma parcialmente en  $\text{CO}_2$  mientras que la nitrogenada se convierte primero en amoníaco y luego en nitrato. La humificación da lugar a compuestos orgánicos coloidales, es decir, a sustancias húmicas. Como consecuencia de esto, la relación C/N decrece a lo largo del

proceso de compostaje, lo que puede servir de indicador del proceso, ya que en un compost maduro la relación C/N se encuentra en valores próximos a 12 (Agreda & Deza Cano, 2012; Richard, 1996).

### 1.3. Procesos Microbiológicos

#### a. Microorganismos:

El compostaje es un proceso de degradación llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos. En el presente apartado se busca comprender los microorganismos y las relaciones entre los mismos para poder favorecer ciertas dinámicas poblacionales a través de condiciones ambientales controladas y así lograr la mayor degradación del sustrato en el menor tiempo posible (Filippini, 2011; Rearte, 2011).

Los microorganismos, al tener diferentes procesos metabólicos y requerimientos nutricionales, son capaces de descomponer los compuestos químicos simples y complejos (lípidos, proteínas, aminoácidos, lignina y celulosa) que están en la fracción orgánica de los residuos sólidos orgánicos. La presencia de materiales complejos demora el proceso al tener que sintetizar enzimas específicas y actuar sobre la biomasa de manera conjunta (Perez Días *et al.*, 2010).

Según Frioni (2006), se pueden encontrar 3 tipos de asociaciones sinérgicas (o positivas) entre los microorganismos, a pesar de que las líneas de demarcación no son siempre nítidas y están muy afectadas por el ambiente:

- Comensalismo: un organismo se beneficia mientras que el otro no es afectado.
- Mutualismo o cooperación: el beneficio es mutuo sin llegar a presentar carácter obligatorio.



- Simbiosis: los integrantes se benefician en situaciones en que ninguno de ellos podrían realizar una función vital o sobrevivir en forma individual sin el otro. (Frioni, 2006; Hickman *et al.*, 2000)

Además se pueden encontrar relaciones antagónicas (Jaksic, 2001) entre los microorganismos, en las cuales al menos uno de los individuos se ve perjudicado:

- Predación: un individuo consume al otro matándolo.
- Parasitismo: se da cuando un individuo perjudica directamente a otro sin matarlo, lo que le permite mantener la actividad en el tiempo. Un ejemplo son los pulgones (áfidos - Aphididae) que parasitan a las plantas
- Competencia: los dos individuos se perjudican al disputarse un recurso escaso.
- Amensalismo: unos de los individuos se ve perjudicado, mientras que el otro no se ve afectado. Un ejemplo de esto es la excreción de una sustancia antibiótica de un microorganismo o una planta que atenta contra el desarrollo de un tercero. (Labrador, 1996; Moreno & Moral, 2008, Hickman *et al.*, 2000).

Lo que se aconseja es favorecer en la mayor medida posible las relaciones de tipo sinérgicas, a través del control de las condiciones ambientales, es decir aquellas en las cuales una o todas las partes interactuantes obtienen un beneficio de dicha interacción. Otro factor importante es que la presencia de una comunidad edáfica rica en diversidad donde prevalezcan las condiciones aeróbicas, va a limitar la proliferación de agentes indeseables como plagas, patógenos, vectores, etc. Estas relaciones pueden establecerse también entre los micro, meso y macroorganismos como las plantas, insectos, anélidos, etc. (Rearte, 2011).

b. Inóculos:

Para activar o acelerar el proceso de compostaje se puede plantear el empleo de inóculos, aunque éstos no son considerados imprescindibles para compostar con éxito. De hecho los residuos y el medio ambiente en general ya contienen los microorganismos necesarios para la descomposición. Además, cuando el material está en contacto directo con la tierra, se facilita la acción de su fauna (gusanos, bacterias, hongos, etc.) y de microorganismos autóctonos.

Inocular se entiende como la acción de aumentar la población de microorganismos que hay en una zona o lugar a través de un aporte externo, generando así un aumento de la masa microbiana. Si el inóculo es de origen foráneo (obtenido a través de procesos industriales o simplemente por su presencia en los sustratos utilizados), establece una serie de nuevas relaciones entre las especies microbianas que se pueden ver afectadas en forma antagonista (negativa), neutra o sinérgica (positiva), estableciendo nuevas características al medio y por ende una situación de equilibrio distinta a la original (Labrador, 1996).

Aun así, si se decide utilizar inóculos para activar y acelerar el crecimiento de los microorganismos descomponedores, lo más usual y económico es añadir una porción del propio compost maduro o en descomposición. En lugares afines, también se encuentran otras sustancias comerciales: aceleradores de compost, polvo de ortigas, de algas, etc. Gómez Barrena (2006) avala el concepto de que, al agregar un inóculo específico que degrade algún compuesto en particular, efectivamente se aumenta la velocidad de degradación de dicho material. Por ejemplo, si se utiliza un inóculo enriquecido con microorganismos que degradan plumas (por ejemplo tomando tierra de un gallinero), incrementa a su vez la degradación de queratina y la formación de biopelícula (producto metabólico) en el compost.

Los inóculos que se pueden agregar a un compost pueden clasificarse en:

- **Industrializados:** son los microorganismos y algunos de sus metabolitos secundarios colocados en una matriz que les permite su viabilidad y comercialización. Son de carácter generalistas o específicos según los sustratos. También pueden encontrarse compuestos nutritivos que favorecen el desarrollo de algún tipo de microorganismo en especial. Algunos ejemplos son: Rsu- C, MicroGest 10 X <sup>(4)</sup>, Radivit, etc.

- **Caseros:** son aquellos presentes en el suelo, estiércoles, material vegetal, etc. En algunos casos, estos inóculos como los estiércoles son sumergidos en agua durante un tiempo y el escurrido se utiliza como inóculo (tizanas). Además se puede usar tierra de buena calidad incorporándosela a la pila de compost para aumentar la cantidad de microorganismos nativos.

En la siguiente tabla (Tab.2) se enumeran algunos microorganismos benéficos que se pueden encontrar en los suelos y en el compost:

---

<sup>4</sup>MicroGest 10X es un inóculo comercial, fabricado por la empresa de EE UU Brookside Agra S.L. que consiste en un producto deshidratado, formado por microorganismos y enzimas, tomados de la fermentación de *Bacillus megatherium*, *Bacillus licheniformis*, *Bacillus subtilis*, *Saccharomyces cerevisiae*

**Tab.2.** Ejemplo de organismos que se encuentran en los suelos y en el compost, que pueden generar acción benéfica al compost utilizados en inóculos.

Organismo	Acción benéfica
Bacillus y Pseudomonas,	producen alfa-amilasas que degradan el almidón
Aspergillus	Produce proteasas, glucoamilasas, alfa amilasa y pectinasas
Bacillus	Produce enzimas extracelulares que descomponen polisacáridos, ácidos nucleicos y lípidos, permitiendo que el organismo emplee estos productos como fuentes de carbono y donadores de electrones. Presenta esporas con alta resistencia a los agentes físicos y químicos que constituyen una forma de resistencia al stress ambiental.
<p>A modo general se puede comentar que su hábitat es el suelo, allí se tornan metabólicamente activos cuando tienen disponibles sustratos para su crecimiento y el agotamiento de estos promueve la formación de esporas. Presentan la capacidad de degradar una enorme variedad de derivados de los tejidos animales y vegetales (celulosa, almidón, pectina, proteínas, agar) y además intervienen en los procesos de nitrificación, desnitrificación, fijación de nitrógeno, jugando un rol significativo en los ciclos del carbono y nitrógeno. Las bacterias seleccionadas poseen además la capacidad de degradar la materia orgánica formando ácidos orgánicos que solubilizan el fósforo y son activas en el fitocontrol de patógenos.</p>	

(Cariello *et al*, 2007; Frioni, 2006)

Según la bibliografía (Cariello *et al*, 2007; Gómez Barrena, 2006), en general se conoce que la inoculación de microorganismos permite la estabilidad y madurez del compost en menor tiempo que aquellos sin inocular.

#### 1.4. Fases del compostaje

Dentro del proceso del compost, se pueden citar 2 grandes fases: la fase ACTIVA, que es donde la actividad de los microorganismos es máxima dado que tienen a su

disposición gran cantidad de compuestos fácilmente biodegradables y la fase de MADURACIÓN, en la que la actividad de los microorganismos decae al agotarse la reserva de material biodegradable (Moreno & Mormeneo, 2008).

Como se pudo ver la temperatura está en relación e interacción recíproca con otros elementos como el pH, comunidad microbiana, etc., es decir el sistema como tal se va modificando en función de la dinámica que se da entre sus subsistemas. Lo que se busca en el presente trabajo es optimizar los procesos y las interacciones de los elementos del compost de modo tal de acelerar la producción del mismo.

a. Fase Activa

Ésta se divide en 3 etapas o fases donde se toma como indicador la variación de temperatura ya que es un factor fácilmente medible. Ellas son: etapa de activación o mesófila, etapa de calentamiento o termófila, etapas de enfriamiento o mesófila (Filippini, 2011).

En la fase de activación la masa vegetal está a temperatura ambiente y los microorganismos mesófilos se multiplican rápidamente (principalmente del genero *Bacillus* sp., *Azotobacter* sp. y *Pseudomonas* sp.). Como consecuencia de la actividad metabólica la temperatura comienza a elevarse y se producen ácidos orgánicos originados por la acción de microorganismos sobre los carbohidratos que provocan una disminución del pH. Desde valores 6 o menos, se ve muy favorecido el crecimiento de hongos y la descomposición de la celulosa y la lignina (Carrillo, 2003).

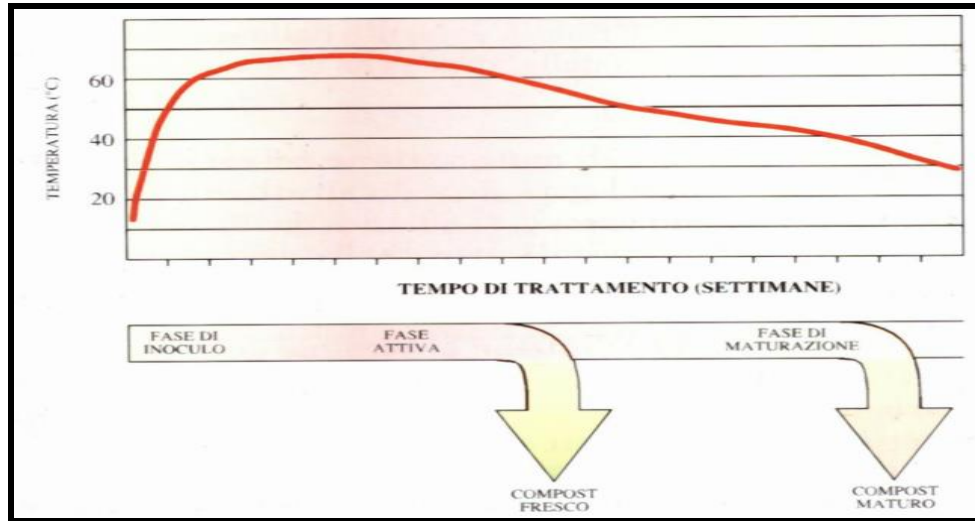
En la fase de calentamiento, cuando se alcanza una temperatura de 40°C, comienzan a actuar los microorganismos termófilos transformando el nitrógeno en amoníaco y el pH del medio se torna alcalino (valores registrados entre 8 y 9). Se produce la desaminación de las proteínas y la consecuente pérdida de nitrógeno amoniacal. A los

60°C los hongos termófilos desaparecen y aparecen las bacterias esporígenas y actinomicetos termófilos. Estos microorganismos son los encargados de descomponer las ceras, proteínas y hemicelulosas.

La fase de enfriamiento comienza cuando la temperatura es menor de 60 °C, reaparecen los hongos termófilos que invaden nuevamente el mantillo y descomponen la celulosa. Por debajo de los de 40°C, los mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende ligeramente (Abril, 2002).

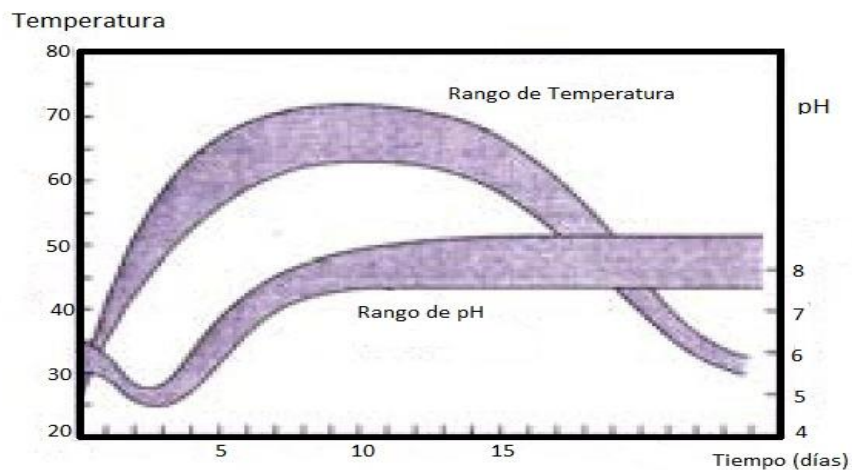
b. Fase de Maduración

En la primera fase (activa) predomina la mineralización de la fracción orgánica, mientras que en la segunda (de maduración) prevalece la polimerización y condensación de compuestos, dando lugar a un producto: el compost maduro. Éste sufre posteriormente una mineralización de los compuestos orgánicos pero a un ritmo menor por lo que otorga paulatinamente los nutrientes a la planta (Porta, 1994). Como se dijo anteriormente, la fase activa es aquella en la que se produce la mayor degradación del sustrato y se constituye el “compost fresco”. Se da cualitativamente la mayor degradación en menor tiempo, comparado con la fase de maduración, donde se estabiliza y se “termina” el compost. En la siguiente figura (Fig.4) se puede observar la evolución de las mencionadas fases "activa" y "pasiva" en el proceso de compostaje.



**Fig.4.** Evolución del compostaje en el tiempo. (Filippini, 2011)

El período de maduración requiere meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus (Gómez Barrena, 2006). El pH se sitúa en torno a la neutralidad como consecuencia de la capacidad buffer que confiere el humus que se va formando a la materia orgánica (Agreda & Deza Cano, 2012; Moreno & Mormeneo, 2008). En la siguiente imagen (ver Fig.5.) se muestra el rango de variación de temperatura y pH.



**Fig.5.** Rango de variación de temperatura y pH en función del tiempo en el compostaje (Gómez Barrena, 2006).

Lo importante de un compost maduro es que tiene bajo contenido de carbono lábil. Según Varnero (1997) el compost maduro presenta un 10 % de carbono lábil y un 85 % de humus. Un alto contenido del lábil es propio de un compost inmaduro y genera las siguientes consecuencias:

Un aumento de la actividad microbiana que provoca un incremento de la tasa de mineralización de la materia orgánica, ya que el C es el elemento utilizado como combustible.

Por otro lado provoca un bloqueo biológico del nitrógeno asimilable del suelo por las poblaciones de microorganismos, lo que afecta su disponibilidad (Carrillo, 2003). Dicha situación aumenta la competitividad por el nitrógeno, no sólo entre los microorganismos, sino también con la planta. Lo mismo ocurre con otros nutrientes.

Así mismo se produce una disminución del oxígeno y del potencial redox. El menor pH producido por la formación de ácido carbónico, da lugar a una mayor disponibilidad de metales pesados que afecta la actividad de la planta (Ochoa, 2012).

#### 1.5. Calidad del compost

La calidad del compost será el resultado de la interacción de los procesos físicos, químicos y microbiológicos y las condiciones ambientales del lugar. Según Ochoa (2012) La calidad puede ser evaluada a través de:

- Parámetros sensoriales de madurez:
  - Temperatura (temperaturas de referencia según la etapa del proceso).
  - Olor (ausencia de ácidos grasos de bajo peso molecular, “olor a bosque”)
  - Color (color oscuro, sin posibilidad de diferenciar los sustratos constituyentes).
- Evolución de parámetros de la biomasa microbiana:



- En forma directa: mayor masa microbiana.
- En forma indirecta: mayor ritmo de degradación de material.
- Descripción de la materia orgánica humificada:
  - El compost con mayor fracción húmica será el de mayor madurez. Esta evaluación constituye el criterio más exacto para establecer el grado de evolución de la Materia orgánica.
- Indicadores químicos de madurez:
  - Contenido hídrico desciende con el compostaje hasta un valor donde permanece estable (este valor puede ser muy variable).
  - Capacidad de intercambio catiónico (CIC).
  - Relación  $N-NH_4^+$  (en la fase termófila la nitrificación está inhibida por la temperatura).
  - Presencia de compuestos reductores.
- Métodos biológicos (evaluación de fitotoxicidad):
  - Se entiende como fitotoxicidad a la característica del compost que influye negativamente en el crecimiento vegetal. El compost con menor cantidad de fitotóxicos es el de mejor calidad. Estos métodos consisten en medir una serie de variables como el porcentaje de germinación, la elongación de las raíces, vigor de las plantas, viabilidad de las plantas trasplantadas, etc. para determinar en cuál sustrato se desarrollan mejor y así conocer su calidad. Los métodos más comunes son:
    - Germinación y elongación de raíces.
    - Siembra directa (analizar número de plantas emergidas).
    - Cultivo de plantas (analizar número de plantas trasplantadas que son viables).

### 1.6. Ecosistema edáfico

Los microorganismos, como cualquier otro organismo, además de relacionarse entre ellos lo hacen con el medio en el que viven constituyendo lo que se conoce como ecosistema edáfico. A continuación se podrá ver una serie de propiedades biológicas del suelo que se dan o se complejizan con el aporte del compost al sistema.

Los microorganismos ayudan a la estructura del suelo al favorecer la unión de las partículas ligándolas a través de la secreción de compuestos orgánicos, principalmente polímeros de glucosa. Esto contribuye a la formación de la estructura granular, óptima para los suelos agrícolas, en el horizonte A donde las poblaciones microbianas son mayores (Lewandowski, 1999; Frioni, 2006).

Todos los procesos biológicos del suelo están regulados por dos actividades básicas de los microorganismos: obtención de energía (catabolismo) y biosíntesis celular (anabolismo). El catabolismo está asociado a reacciones redox, que resultan en producción de energía. Parte de la energía es liberada como calor y parte almacenada como energía química en forma de ATP que será luego utilizada por los microorganismos (Abril, 2002).

La mayoría de la energía producida en el catabolismo microbiano, es utilizada en procesos de crecimiento (anabolismo), principalmente en la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos que constituirán la biomasa de los individuos. Se considera que la gran habilidad competitiva de los microorganismos se encuentra en la eficiencia de crecimiento que está dado por la relación entre la energía obtenida en el catabolismo y la utilizada en el anabolismo (Fenchel *et al.*, 1998).

Al aumentar la materia orgánica y la población de microorganismos con la incorporación de un compost se estarán mejorando propiedades del suelo como la

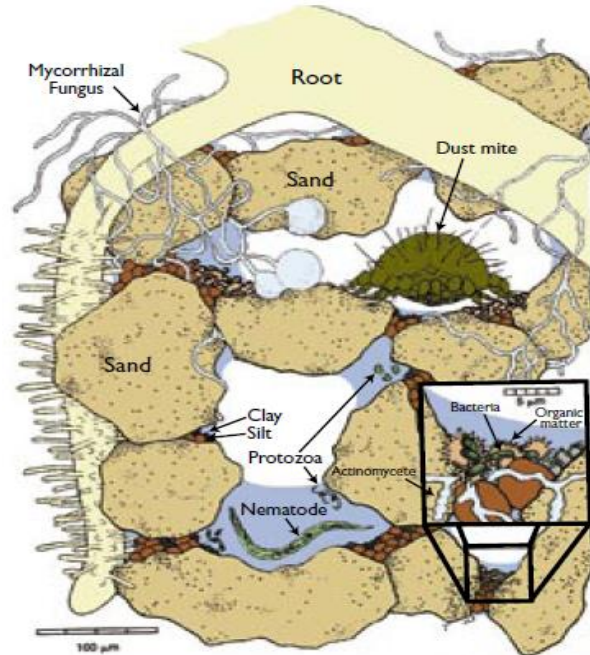
estructura, lo que lleva a su vez a una mejor infiltración y almacenaje del agua entre las partículas de modo que quede utilizable por la fracción vegetal.

Los microorganismos del suelo incluyen una gran variedad de individuos (Fig.6). Dentro de ellas, las bacterias son los microorganismos más pequeños y de mayor diversidad del suelo. Algunas llevan a cabo funciones muy especiales, como *Rhizobium* spp., organismos fijadores de nitrógeno asociados a raíces de las leguminosas. Los protozoos (por ejemplo, las amebas, ciliados, flagelados) son organismos móviles que se alimentan de otros microbios y de materia orgánica del suelo. Las algas, como las plantas, realizan fotosíntesis y se encuentran en la parte superior del suelo donde alcanzan la luz para producir fotoasimilados. Los hongos son un grupo diverso extremadamente importante ya que con sus “hifas” o “micelios” atacan a los agregados muy resistentes propios de la materia orgánica (Abril, 2002).

Los actinomicetos son un grupo que se clasifican como bacterias (Gram +), pero tienen hifas, similar a los hongos (Frioni, 2010). Ellos son importantes para la descomposición de la materia orgánica, en particular las fracciones más resistentes como celulosa y quitina. Producen sustancias quelantes que favorecen a la nutrición y dan al suelo gran parte de su olor “terroso”. (Lewandowski, 1999).

Una relación importante que se encuentra en casi todos los suelos y plantas, incluyendo muchas especies de cultivos, son las micorrizas. Las micorrizas establecen una simbiosis planta-hongo (una relación entre dos especies que interactúan) en la que los hongos infectan y viven en o sobre la raíz de la planta (McCauley Ann *et al.*, 2005).

En el siguiente esquema (Fig.6) se puede ver una representación del ecosistema del suelo.



**Fig.6.** Organismos del suelo y su ambiente. (McCauley Ann *et al.*, 2005)

Dentro de los microorganismos del suelo se encuentran también los patógenos. Son organismos que pueden resultar dañinos para los humanos, los animales y las plantas. El incremento de la temperatura alcanzado durante el proceso de compostaje, unido al antagonismo entre los grupos de microorganismos, son elementos que reducen considerablemente el número de agentes patógenos animales y vegetales en el producto final (Pérez *et al.*, 2010).

En la tabla siguiente (Tab.3) se presentan algunas características básicas de algunos de los microorganismos comunes en los residuos, también presentes en el inicio del proceso de compostaje y el umbral de temperatura y tiempo de exposición a partir del cual se generan condiciones mortíferas para el individuo.

**Tab.3.** Ejemplos del umbral de muerte de algunos microorganismos que están presentes en el proceso de compostaje.

<b>Organismo</b>	<b>Temperatura y tiempo de exposición.</b>
<i>Salmonella typhosa</i>	Se elimina rápidamente en la pila de compost. Son suficiente 30 min. 55-60 °C para su eliminación
<i>Salmonella sp.</i>	Se destruye al exponerse una hora a 55 °C o 15-20 min a 60 °C
<i>Shigella sp.</i>	Se destruye al exponerse una hora a 55 °C
<i>Escherichia coli</i>	La mayoría muere con una exposición de 1 hora a 55 °C o 15-20 min a 60 °C
<i>Taennia saginata</i>	Se elimina en unos pocos minutos a 55 °C
<i>Larvas de trichinella spiralis</i>	Mueren rápidamente a 55 °C e instantáneamente a 60 °C
<i>Micrococcus pyogenes</i> var. <i>Aureus</i>	Muere después de 10 min de exposición a 50 °C
<i>Streptococcus pyogenes</i>	Muere después de 10 min de exposición a 54 °C
<i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. <i>Hominis</i>	Muere después de 15-20 min a 66 °C e instantáneamente a 67 °C
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	Se elimina por exposición a 55 °C por un tiempo de 45 min
<i>Huevos de Áscaris lumbricoides</i>	Muere en menos de 1 hora a temperatura superiores a 55 °C

(Pérez *et al.*, 2010)

## **2) Proceso de compostaje tradicional**

Para la realización de compost tradicional se utiliza la técnica “Compost en Pila o montón” (Filippini, 2011; Hasan *et al.*, 2012). Es la más conocida, la que propone el Manual de la FAO “Huerta para todos” y que adopta el INTA en sus cartillas del programa Pro huerta (INTA, 2008; INTA-INTI, 2012). Se basa en la construcción de un montón formado por la materia prima que se encuentra sobre el suelo y en el que es importante seguir una serie de pasos:

### Armado de la pila:

Se colocan materiales tales como estiércol de animales de granja, restos de comida y restos vegetales uno sobre otro de manera de constituir una pila, teniendo la precaución de colocar un palo en posición vertical en el eje central de la misma. Cuando ya tenga muchas capas y haya alcanzado un metro y medio de altura aproximadamente, se cubre todo con 3 cm de tierra o arena y una capa de paja coronando la pila.

Al final se riega y se saca el palo dejando un hoyo en el medio para aireación. Si se tiene más material para compostar, se prepara una nueva pila ya que la altura no debe ser mayor de 1,50 m ni menor de 0,75 m.

### Control del proceso de compostaje:

A los pocos días, se observa una gran actividad. Los microorganismos están transformando los desechos en abono. Para que los microorganismos trabajen, se debe asegurar humedad y aireación adecuadas como se explicará más adelante.

Las actividades que propone el método tradicional de compostaje son:

- 1- Dos o tres días después de haber preparado la pila, se debe introducir la mano para verificar si está caliente. Si la mezcla está apenas tibia, se debe agregar agua.
- 2- Si al apretar el abono con la mano:
  - a. Salen gotas, quiere decir que la humedad es adecuada.
  - b. Cae líquido, quiere decir que hay mucha humedad.
  - c. No sale nada, quiere decir que falta humedad (Gómez Barrena, 2006; INTA, 2008).
- 3- En verano es necesario regar todos los días para mantener la humedad adecuada.

4- Si la pila está a pleno sol, se debe proteger con ramas.

5- En caso de mucha lluvia, tapar la pila con material impermeable.

Después de tres semanas se debe airear la pila con ayuda de rastrillo o pala.

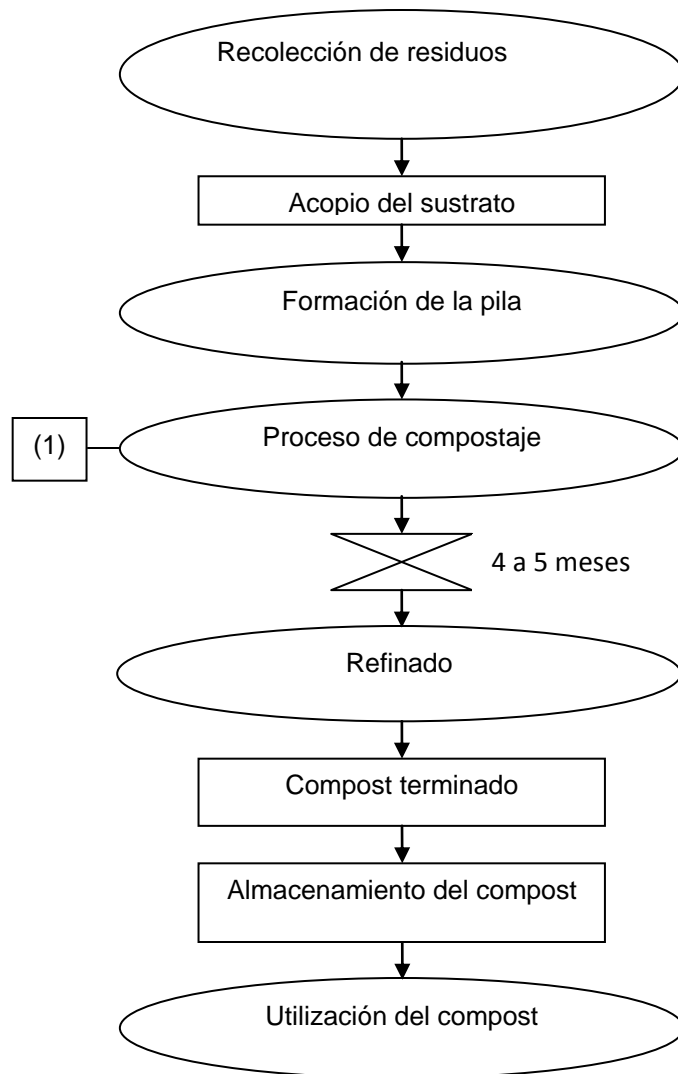
Repetir esta operación cada 10 días, según necesidad.

#### Finalización del compostaje

Aproximadamente a los cuatro o cinco meses el compost estará listo y tendrá las siguientes características: olor agradable a tierra de bosque, color oscuro, estructura granular, no se reconocen los sustratos originales.

Dicho compost se podrá incorporar directamente al cultivo, o bien realizar el refinado el cual consiste en pasar el producto por una zaranda y separar el compost terminado de los restos que todavía no se degradan; estos últimos se agregarán nuevamente a la pila (INTA, 2008).

En la siguiente figura (Fig.7) se presenta el diagrama de flujo del método tradicional de compostaje (Rearte, 2011):



**Fig.7.** Diagrama de flujo del método tradicional de compostaje

Referencias (1)
Incorporación de sustrato. Control de temperatura. Control de humedad. Control de textura. Controlar presencia / ausencia de olores y vectores indeseables. Ainear y homogeneizar volteando. Regar. Tapar y destapar la pila.



## **IV. RESULTADOS ESPERADOS Y DISCUSIÓN**

### **1) Proceso productivo alternativo**

En el presente apartado se buscará generar una propuesta de proceso productivo de compost a nivel familiar que represente una mejora de la metodología utilizada en el proceso tradicional. Por este motivo se proponen a continuación una serie de pasos que se deben seguir y que se ven fundamentados en los conceptos vistos en la descripción previa del compostaje:

#### **1.1. Preparación del sustrato:**

##### **a. Mezcla de residuos para la compostera**

Como se ha podido ver, los residuos se pueden clasificar por contenido de nitrógeno y carbono que son los elementos constitutivos predominantes en la materia orgánica, debiendo existir una proporción entre ambos, representada por la relación C/N.

La relación C/N de la mezcla de materiales que constituirán el sustrato a compostar debe encontrarse entre 25/1 – 30/1 (Rearte, 2011; Grasso, 1997), ya que como se dijo anteriormente, una relación mayor o menor no es óptima para el proceso de compostaje.

##### **b. Clasificación de los residuos**

Para la preparación del sustrato, el primer paso es separar los residuos generados a nivel familiar según características propias de ellos. Los desechos domiciliarios orgánicos son aquellos que provienen de la cocina y el jardín, separándolos en residuos verdes y residuos marrones.

A continuación se detallará qué se entiende por cada uno:

### Residuos de cocina o Residuos Verdes (RV)

Los residuos a separar son restos de frutas y verduras crudas o cocidas, cáscaras de huevos, saquitos de té, yerba, café, y residuos de cocina. No se incluirán pañuelos de papel, pañales ni toallas higiénicas. Tampoco residuos lácteos, grasas, huesos y carnes, ya que son de difícil degradación y atraen vectores como moscas, mosquitos, roedores y pestes en general. Tampoco se utilizarán comidas elaboradas, porque aportan muchas sales al compost disminuyendo su calidad final, además de alargar el tiempo de compostaje y atraer vectores. En caso de existir animales de granja se podrá disponer de los estiércoles de cabra, oveja, caballo, conejo, o pequeñas aves, no así de otros tipos de mascotas domésticas como perros, gatos, etc. porque pueden tener patógenos dañinos a la salud humana que sobrevivan al proceso de compostaje. Todos los residuos no utilizados deberán desecharse como se realiza habitualmente con la basura convencional.

### Residuos de jardín o Residuos Marrones (RM)

Los residuos a acopiar son: hojas y césped verde y seco, ramas, arbustos, restos de plantas. No se incluyen residuos de malezas con semillas porque pueden no perder el poder germinativo y, al aplicar el compost al suelo, favorece su multiplicación. No se usarán plantas y maderas tratadas con químicos porque pueden afectar los microorganismos del proceso y las propiedades del producto final.

En la Tab.4 se muestra los Residuos Verdes y Residuos Marrones, y se expresan una serie de características que ayudarán a identificarlos más fácilmente:

**Tab.4.** Residuos verdes y marrones.

<b>Residuos Verdes</b>	<b>Residuos Marrones</b>
Humedad moderada	Humedad baja
Aporta principalmente nitrógeno	Aporta principalmente carbono
Escasa estructura, poca porosidad, baja circulación de aire (alta densidad)	Buena estructura, mucha porosidad, buena circulación de aire (baja densidad)
Rápida a mediana velocidad de descomposición	Lenta a mediana velocidad de descomposición
Elevado contenido de sales, pH básicos	Mediano contenido de sales, pH cercanos a la neutralidad
Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, restos de agricultura y poda, residuos de industria y servicios alimenticios, restos de comida.	Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos, restos de agricultura y poda, residuos de industria y servicios alimenticios.

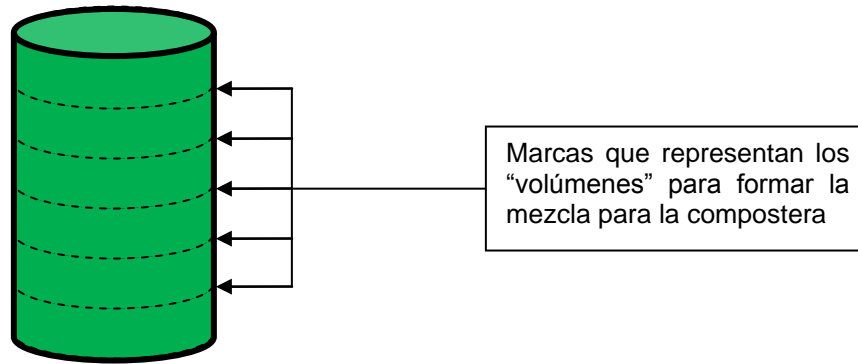
Fuente (Adaptado de Estrada & Gómez, 2006; INTA, 2008)

Para nuestro caso particular, se entenderá como residuo verde domiciliario a todos aquellos desechos de cocina de origen vegetal (restos de frutas y verduras, y de cocina), y a los marrones como los que provienen del jardín (tales hojas secas, césped seco, aserrín, viruta de madera, ramas).

c. Utilización de baldes para formar la mezcla a compostar

- Balde A, Residuos Verdes.

Los restos verdes serán fragmentados en trozos menores de 5 centímetros, y se colocarán en un recipiente (balde A) correspondiente a los “residuos verdes” (RV). El balde A presenta una serie de marcas que son utilizadas para conocer cuánto medidas o “volúmenes” de residuo hay en él. A continuación en la Fig.8 se muestra el esquema del balde “A”:



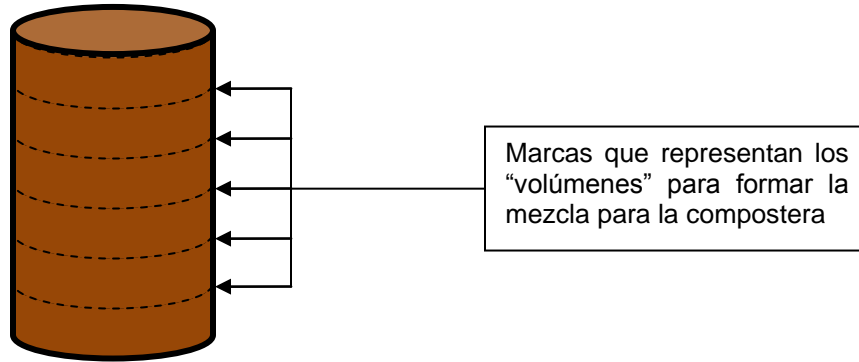
**Fig.8.** Balde "A" para residuos verdes

Se debe tener precaución al incorporar material en estado de pasta, ya que pueden provocar anaerobiosis y relentizar el proceso.

- Balde B, Residuos Marrones

Los residuos marrones (RM) de jardín deberán ser picados un poco más grandes para aumentar la aireación. En caso de ser difícil fragmentarlos manualmente, se aconseja hacerlo en forma mecánica con los implementos adecuados. No se incorporarán trozos leñosos de más de 1 cm de diámetro y 5 cm de largo ya que frenarán el proceso por su alto contenido de sustancias difícilmente biodegradables. Luego de la fragmentación, en caso que sea necesaria, se depositarán los restos del jardín en el balde B que corresponde a los "residuos marrones" y que también se encuentra marcado con el fin de conocer cuántas medidas o "volúmenes" se tienen de dicho tipo de residuo.

En la Fig.9 se observa el esquema del balde "B".



**Fig.9.** Balde “B” para residuos marrones

Una vez que se tiene la mezcla correcta, al final de cada día, se vuelca el contenido del balde C en el canasto correspondiente de la compostera.

d. Preparación del sustrato para el llenado de la compostera

Al final del día se colocará el contenido de los baldes A y B que se ha separado en el transcurso del mismo, en el balde C (balde colector), según el siguiente criterio: 1 volumen de residuos marrones o tierra de la zona, por cada 2 volúmenes de residuos verdes. Cuando se haya preparado dicha mezcla, se colocará en la compostera para dar inicio al proceso. Esta proporción permitirá que al combinar estos 3 volúmenes se obtenga una relación C/N adecuada.

Para conocer este valor se multiplica la proporción que ocupa cada tipo de residuo dentro de la mezcla, de acuerdo al valor de la relación C/N. De esta forma, el 66% de la mezcla es de residuos verdes, con una C/N de aproximadamente 20/1. El 33% restante corresponde a los residuos marrones, los cuales poseen una relación C/N aproximada de 50/1 (INTA, 2008; Schuldt, 2002).

A continuación se observa el cálculo realizado para estimar la relación adecuada para iniciar el proceso de compostaje, según el ejemplo planteado:

$$0.66 * 20 + 0.33 * 50 = 13.2 + 16.5 = 29.7 \approx 30$$

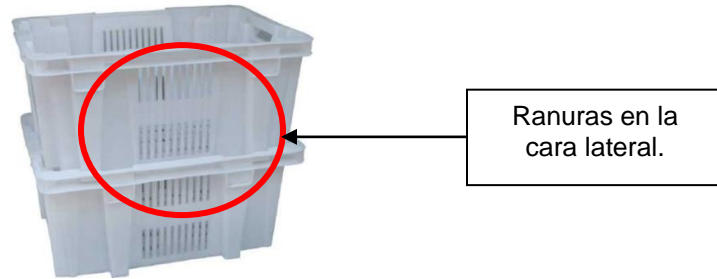
Al realizar la mezcla, se pueden dar 2 situaciones:

- Si se ha producido un volumen de RM mayor del que se requiere, aquellos se deben almacenar en un recipiente o en algún lugar del terreno que se encuentre al resguardo de la lluvia y de los animales. Se irá utilizando en la medida de que se vaya generando el RV, para proceder como se ha indicado.
- Si se ha generado RV y no lo suficiente de RM, este último se reemplazará con tierra de la zona, que no posea salinidad ni que esté contaminada y que sea de textura arenosa o franco arenosa (la misma será utilizada como material neutro).

#### 1.2. Manejo de la compostera

La compostera está formada por 3 cajones de plástico apilables que constituirán cada uno una unidad de compostaje (UC). Se caracteriza por tener las paredes laterales y el fondo ranurado para permitir la aireación y la pérdida del exceso de humedad del sustrato durante el proceso de compostaje (Fig.10). Como acción inicial, se irá llenando el primer cajón (UC1) con la mezcla obtenida del balde C. Al final de cada día se volcará su contenido en la UC1 que, con la producción diaria estimada, tardaría unos 30 días aproximadamente en completarse (Gasull, 2011).

Cuando se colme la UC1, se colocará sobre la primera una segunda unidad (UC2) y de igual manera la tercera (UC3). Cuando esta última se complete, se reiniciará el proceso con la UC1 ya que el producto del mismo será un compost terminado.



**Fig.10.** Cajón de plástico apilable para compostaje (UC).

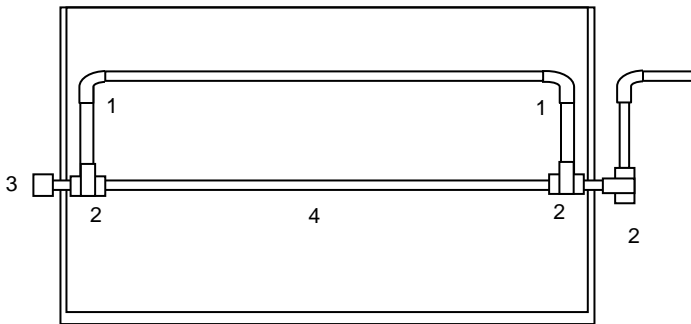
Para el proceso de compostaje se deben controlar algunas variables que asegurarán las condiciones adecuadas que permitan optimizar el proceso de degradación.

a. Control de la aireación y homogenización de la mezcla

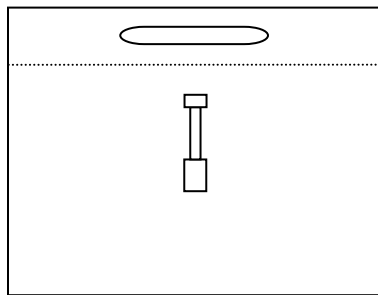
Para lograr una adecuada humedad y contenido de oxígeno, se debe “voltear” el material, como se mostrará más adelante, con el “aireador de tubo”. De esta manera se logra una buena homogenización y oxigenación del sustrato, dando las condiciones óptimas para el desarrollo de cada fase.

En este proceso alternativo, la aireación se logrará a través de dos formas: “activa” y “pasiva”. La aireación pasiva estará dada por las ranuras en las caras laterales del cajón plástico, favoreciendo el intercambio de gases desde y hacia dentro del recipiente. La forma activa consta de hacer girar el “aireador de tubo”. Este implemento consiste en una estructura de caños de polipropileno (PP) que están unidos por su extremo roscado por conectores de “t”, de “codo de 90°”, o un tapón de terminación correspondientemente. En el siguiente esquema (Fig.11) se puede ver el sistema propuesto para que las familias puedan montar el aireador:

Vista en corte longitudinal (a lo largo)



Visto de costado (a lo ancho)



Referencias:

1. Conector ½ pulgada "codo 90°" de PP (3 unidades)
2. Conector ½ pulgada "T" de PP (2 unidades)
3. Conector ½ pulgada "tapón" de PP (1 unidad)
4. Tubo ½ pulgada de PP (1.2 metros)

**Fig.11.** "Aireador de tubo" en el cajón de plástico apilable. Vista en corte longitudinal - arriba-. Vista a lo ancho -abajo-

La aireación activa consiste en dar 4 giros de 360° al "aireador de tubo" a través de su agarre. El momento indicado para realizar la aireación es cuando comienza a decrecer la temperatura (hacia la fase mesófila) luego de haber alcanzado su valor máximo, de 60 - 70°C, en etapa termófila (Cuevas, 2009). Por este motivo es que se realizará 1 vez a la semana el volteo con el aireador (Filippini, 2011; Gómez Barrena, 2006; López Real, 1995). Además se aconseja realizar un control periódico cualitativo de la temperatura, para lo cual se debe mover la masa que se está degradando en la UC y ver el centro de la misma. Si se percibe humo o rastros de ceniza y al apretar una muestra con la mano se



siente entre tibio cálido y caliente, es indicio que se debe airear la masa. Es importante comprender que no se debe permanecer en forma prolongada en este punto ya que va en detrimento del proceso general<sup>5</sup> (Perez, 2002). Inmediatamente a la remoción del material, la temperatura experimenta un descenso y paulatinamente vuelve a subir hasta completar una nueva etapa termófila, debido a que se puede disponer de un volumen considerable de material biodegradable de la periferia, lo que representa nuevo sustrato respirable para la comunidad microbiológica (Navarro, 2003; Sztern, 1999).

Con el uso del “aireador de tubo”, además de cumplir la función de aireación, se estará homogenizando la mezcla. También se caracteriza por requerir insumos que se encuentran fácilmente en el mercado y son sumamente resistente al ataque de microorganismos<sup>6</sup>. El implemento es de fácil armado (ya que sólo requiere ensamblar y enrosacar las piezas) y de bajo costo, y hará la tarea mucho más llevadera y sencilla, sin tener que entrar en contacto directo con los sustratos. El manejo puede ser realizado por personas no especializadas ni vinculadas al proceso.

b. Control de la humedad

Para el control del contenido de humedad se puede aplicar una técnica rápida y sencilla que consiste en el siguiente procedimiento empírico siguiendo el mismo fundamento del método tradicional:

1. Tomar una muestra de material con la mano.
2. Cerrar la mano y apretar fuertemente el mismo.
3. Si con esta operación se verifica que sale un hilo de agua continuo del material, se podría considerar que el material contiene más de un 60% de humedad.

---

<sup>5</sup> (ver apartado “temperatura” en el segmento de “Descripción del compostaje”)

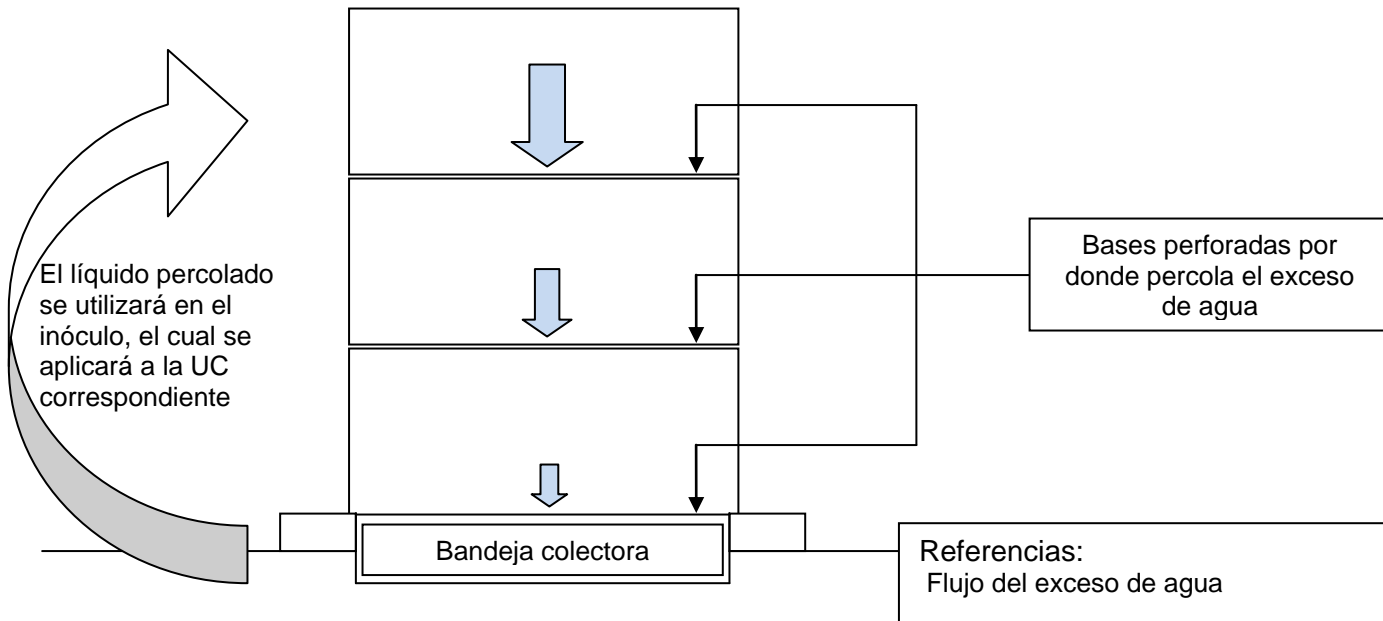
<sup>6</sup> Se debe tener en consideración que el PP se caracteriza por su gran resistencia, pero aun así se debe tener la precaución de cuidar al material de los cambios bruscos de factores ambientales como variaciones de temperatura, de humedad, entre otros.

4. Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, se puede establecer que su contenido en humedad es cercano al 40%.
5. Sin el material no gotea y al abrir el puño de la mano permanece moldeado, la humedad se presenta entre un 20 a 30 %.
6. Finalmente si al abrir la mano, el material se disgrega, es correcto asumir que el material contienen una humedad inferior al 20 % (INTA, 2008).

La humedad óptima está comprendida entre el 40y 60 % (Rearte, 2011), ya que en estos valores, el agua se encuentra en los mesoporos dejando libre el espacio de los macroporos para que difunda el O<sub>2</sub>, pero dando a su vez la posibilidad de que los microorganismos tomen el agua que necesitan (Pérez Valenzuela, 2011; Cuevas, 2009). Cuando se presente un exceso de humedad se deberá remover la masa con el “aireador de tubo”, y si el contenido de humedad aún es excesivo, se agregará más material seco (como virutas de residuo marrón o tierra seca).

c. Drenaje de líquidos percolados

Debajo de la compostera se debe colocar una bandeja que permita recolectar el líquido que pueda escurrir para incorporarlo posteriormente al inóculo, ya que posee una importante carga microbiana (Ichida et al., 2001). En la siguiente figura (Fig.12) se puede apreciar cómo funciona el drenaje.



**Fig.12.** Flujo de los efluentes a través de la pila de tachos.

d. Inoculación

Algunos tipos de residuos pueden presentar poca carga biológica o masa microbiana debido a condiciones propias o ambientales. Además, al aumentar la carga microbiana, aumenta también la intensidad respirométrica, con lo cual se produce una mayor degradación del sustrato (Gómez Barrena, 2006). La técnica para aumentar artificialmente el inóculo en el sustrato a compostar se denomina bioaugmentación (Ochoa, 2012).

Para preparar el inóculo, se deben colocar en un tacho de 20 litros, 5 litros<sup>7</sup> de guano con 1 litro de tierra fértil (o de un compost en etapa mesófila) y luego rellenar el tacho con agua hasta completarlo. En caso de no tener guano se podrá reemplazar por los mismos volúmenes de tierra preparada de vivero.

El recipiente debe ser instalado en un lugar donde esté sujeto a las menores variaciones térmicas posibles, ya que si el inóculo se encuentra a muy alta o baja

<sup>7</sup> Vale recordar la equivalencia de  $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ litro}$

temperatura, puede afectar negativamente al proceso de compostaje de la pila (Labrador, 1996). Para ello se lo colocará bajo sombra, en un lugar abierto donde circule el aire, lo mas alejado posible de la vivienda y las personas ya que se pueden liberar malos olores y atraer vectores. Estará tapado con una chapa o tapa plástica perforada de modo que permita el intercambio de gases pero que evite a su vez el contacto del contenido con niños y animales. Luego de 48 hs de iniciado, el inóculo puede ser utilizado. Se aplicará tanta cantidad de inóculo como sea necesaria para alcanzar la humedad correcta de la mezcla. Se incorporará con una frecuencia de hasta tres veces por semana.

En caso de encontrarse en una época muy seca y calurosa, en que el aporte hídrico del inóculo no sea suficiente, se deberán aplicar riegos cortos con agua corriente en forma de lluvia para cumplir con el criterio anterior de humedad óptima pero sin lavar el sustrato.

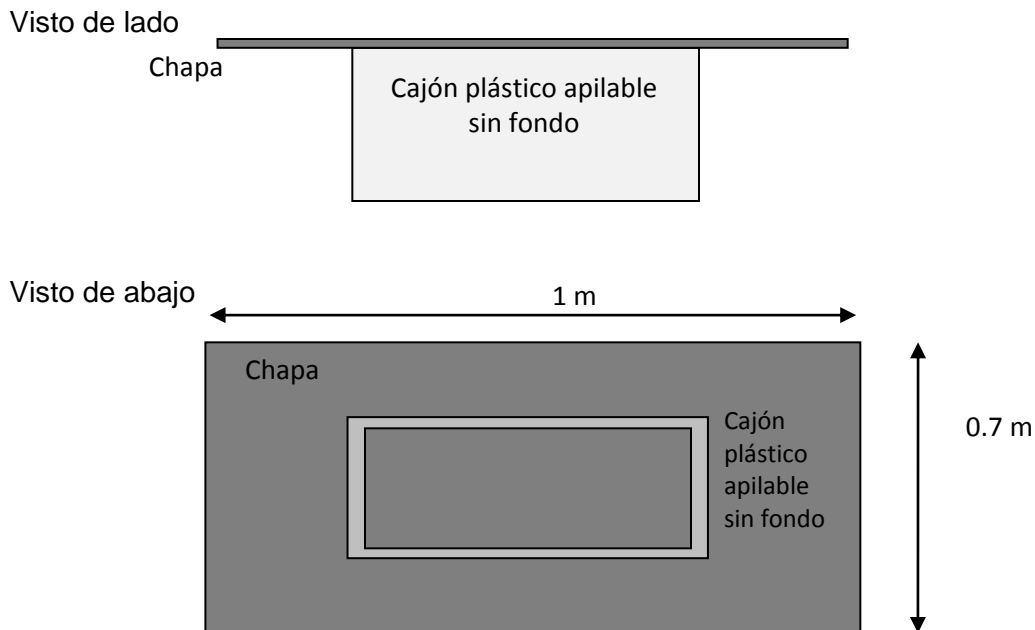
Cada vez que se retira una cantidad del preparado debe ser repuesto por un volumen igual de agua más 1/3 del mismo volumen de suelo fértil o de material proveniente de un compost en etapa mesotérmica (Ochoa, 2012). El contenido del recipiente debe ser agitado y homogeneizado por lo menos una vez al día, tratando de remover el material sedimentado en el fondo para evitar procesos fermentativos y malos olores (Abril, 2002). Para mezclar y aplicar el inóculo se utilizará un cucharón teniendo en consideración que el mango debe ser lo suficientemente largo como para que la mezcla no entre nunca en contacto con el agarre del utensilio, evitando así que la persona se contamine al utilizarlo.

Para la UC2 y las subsiguientes, se utilizará para recargar el tacho de inóculo, material de la UC consecutiva anterior (en vez de tierra fértil) ya que todavía se encuentra en fase activa y con una alta población microbiana. Por ejemplo: Si se agrega 1 litro del inóculo a la UC2, se deberá recargar el tacho de inóculo con 1 litro de agua más 1/3 litro

del material en degradación de la UC1. Al ejecutar esta acción se está agregando una población de microorganismos que se ha seleccionado naturalmente para degradar un determinado tipo de sustrato, acelerando el proceso de evolución del ecosistema (Ichida *et al.*, 2001).

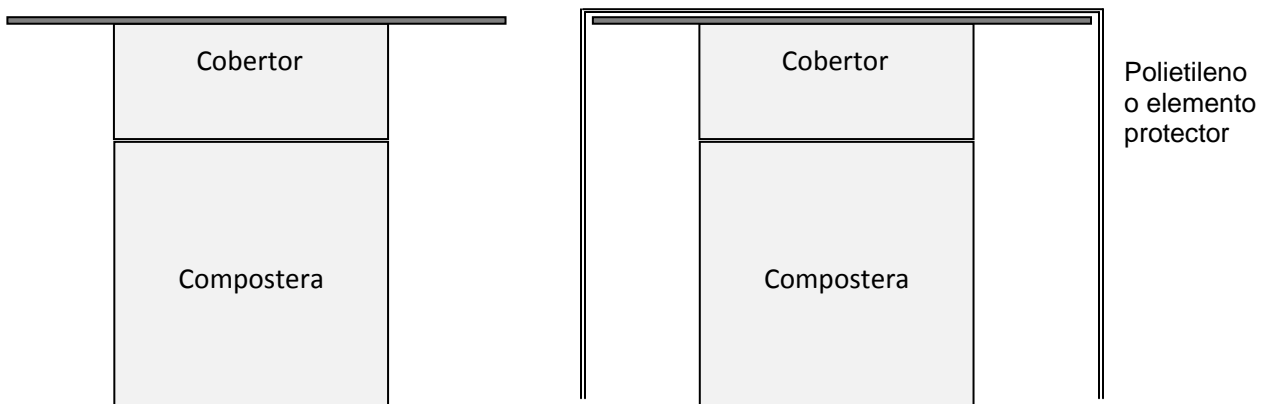
### 1.3. Cuidado de la compostera

La ubicación de la pila de UC apilables dependerá del momento del año en que se elabore y de la disponibilidad de espacio. Cuando la compostera se encuentre a la intemperie, para evitar los aportes de agua y las grandes variaciones térmicas, se colocará un “cobertor”. Este consiste en un cajón plástico sin fondo al que se le adiciona una chapa rectangular de 1 m de largo por 0,7 m de ancho, como se puede ver en la Fig. 13:



**Fig.13.** “Cobertor” visto de lado – arriba-. “Cobertor” visto de abajo – abajo-.

El cobertor se debe mantener sobre la última UC activa en ese momento. En épocas frías y húmedas conviene exponer la pila al sol quitando el cobertor, colocándolo sólo en los momentos de lluvia. En épocas invernales es conveniente cubrir la compostera completa (la o las unidades de compostaje más el cobertor) con un trozo de polietileno cristal, para lograr un efecto invernadero que ayude a conservar la temperatura de la pila, resguardándola de bajas temperaturas y heladas (Grasso, 1997). En caso de no contar con el polietileno se puede optar por algún otro material o por no colocarlo y simplemente dejar la compostera bajo techo. En la siguiente imagen (Fig. 14) se puede ver el cobertor sobre la compostera.



**Fig.14.** “Cobertor” sobre la compostera – izquierda -. “Cobertor” sobre la compostera con el polietileno o elemento protector – derecha-.

#### 1.4. Cosecha del compost

El compost estará terminado cuando tenga olor a tierra mojada, color oscuro y homogéneo no pudiéndose identificar el origen de los materiales, con una temperatura semejante a la ambiental (INTI - INTA, 2012).

No todo el material que entra al sistema de compostaje se biodegrada con la misma velocidad. Conjuntamente con el compost, se presenten restos de materiales en distintas etapas de biodegradación.

El compost terminado debe presentar una granulometría adecuada y homogénea, pudiéndose realizar un refinado del mismo con una zaranda tipo casera que consiste en un cuadro de madera que contiene a una malla metálica. El resto no degradado retenido en la malla puede volver a incorporarse a la UC que se está llenando en ese momento.

El tamaño de malla será de 1 cm x 1 cm.

Para que este proceso se realice sin inconvenientes es fundamental que el compost presente un contenido en humedad apropiado.

#### 1.5. Solución de problemas del compostaje

A continuación se resaltarán una serie de situaciones problema que se podrían dar al realizar el compostaje con sus respectivas soluciones<sup>8</sup>:

---

<sup>8</sup> (ver el segmento de “Descripción del compostaje”)

**Tab.5.** Posible problemas y soluciones del compostaje.

Problema	Solución
Falta de temperatura, no se detecta degradación, se cree que el proceso no está activo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar que las proporciones sean adecuadas (puede haber relación C/N baja – incorporar más RV)</li> <li>• Remover la pila (falta de oxígeno).</li> <li>• Utilizar el cobertor y colocar bajo techo (por bajas temperaturas)</li> <li>• Corregir la humedad (exceso de aireación / baja humedad)</li> </ul>
Malos olores, olores avinagrados, a huevo podrido	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar sustratos utilizados (por utilización por ejemplo de productos cárnicos).</li> <li>• Remover la pila (falta de oxígeno, exceso de humedad)</li> <li>• Retirar cobertor</li> <li>• Revisar que las proporciones sean adecuadas (puede haber relación C/N baja – incorporar más viruta de RM o tierra fértil)</li> </ul>
Olor a amoníaco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar que las proporciones sean adecuadas (puede haber relación C/N baja – incorporar más viruta de RM o tierra fértil)</li> <li>• Remover la pila</li> </ul>
Atrae animales indeseables como roedores, moscas, perros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisar sustratos utilizados (por utilización por ejemplo de productos cárnicos)</li> <li>• Utilizar el cobertor</li> <li>• Remover la pila</li> <li>• (Si se detectan pequeños insectos propios de la tierra, es adecuado del proceso del compostaje)</li> </ul>



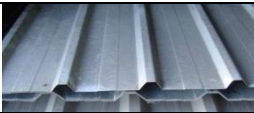




(Villapudua & Rodriguez, 2007; INTA, 2008; Estrada & Gómez, 2005; Schuldt, 2002)



1.6. Elementos necesarios para el proceso de compostaje propuesto

A continuación se detallan (Tab.6) los elementos necesarios y los costos de los materiales en el mercado local (actualizados al mes de agosto del 2013) para que la familia tipo mencionada pueda aplicar la propuesta a sus realidades:

**Tab.6.** Descripción de elementos necesarios para el proceso propuesto.

Material	Imagen	Cantidad	Precio por unidad (pesos - \$)	Precio total (pesos - \$)
Balde plástico de 10 litros		3	35	105
Cajones plásticos apilables semicerrados de 50 litros		4	50	200
Chapa de metal		1 metro cuadrado	40	40
Tubo de ½ pulgada de polipropileno		Listón de 4 metros	60	60
Conectores "T" rosca		9 (3 por cada "aireador de tubo")	4	36
Conectores "codo 90°" doble rosca		9 (3 por cada "aireador de tubo")	2.5	22.5
Conector "tapón" rosca		3 (1 por cada "aireador de tubo")	2	6
<b>TOTAL</b>				<b>499.5</b>

Según preferencias y posibilidades, se podría contar con algunas herramientas útiles como:

- Palas, horquillas o azadas para manipular y aplicar el compost, guantes para manejar los desechos.
- Regaderas para regar el compost, cucharón para el inóculo, carretillas o tachos para recolectar y trasladar los residuos de jardín, tijeras de podar para cortar ramas.
- Por último disponer de una zaranda para cosechar y refinar el compost terminado.

### **Diagrama de flujo del Proceso Productivo Propuesto**

En la siguiente figura (Fig.14) se ha desarrollado un diagrama de flujo, en el que se muestra esquemáticamente la propuesta generada.

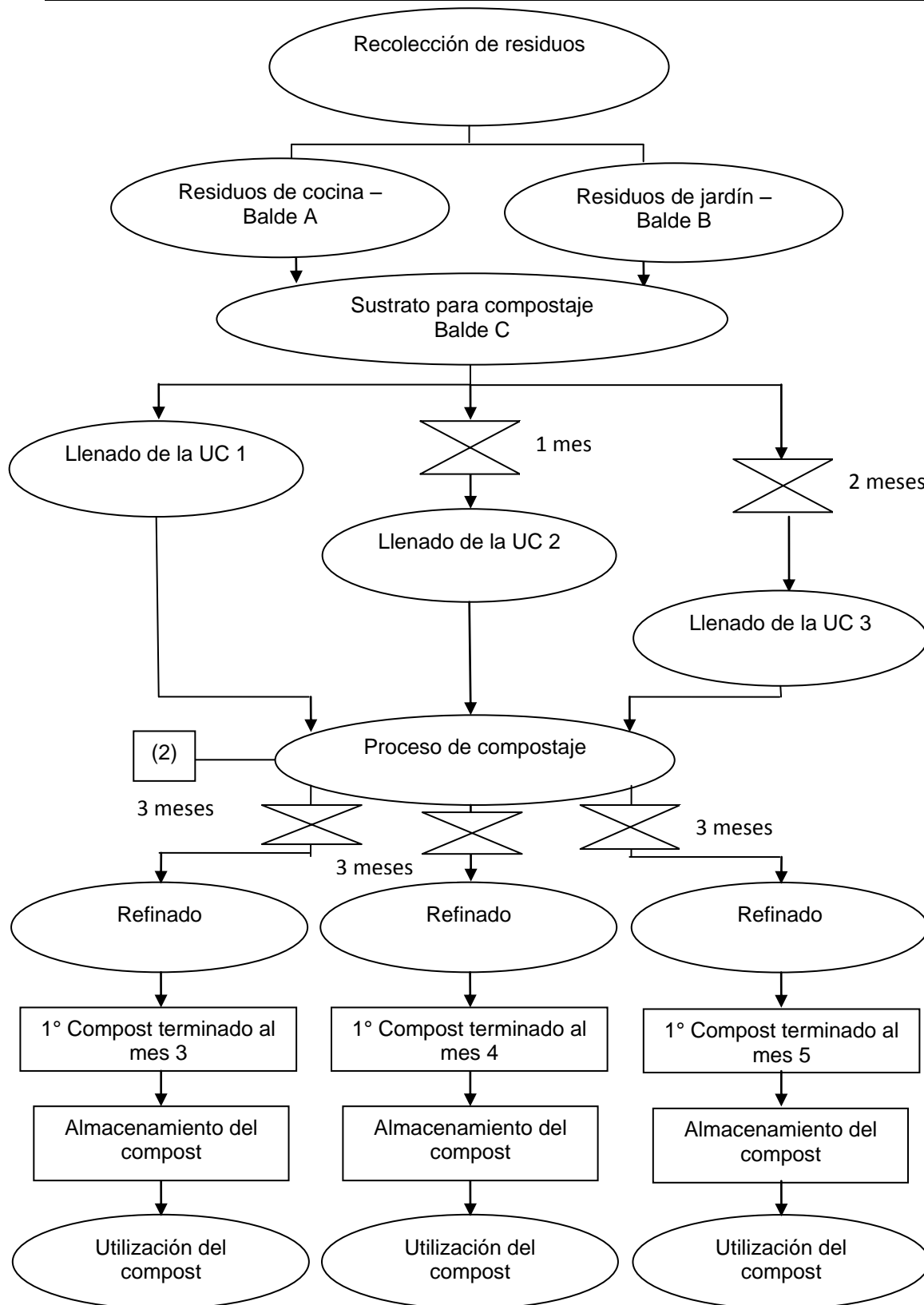


Fig.15. Diagrama de flujo del Proceso Productivo Propuesto

Referencias (2)

Incorporación de nuevo sustrato (balde C).  
Control de la temperatura. Airear y homogeneizar con “aireador de tubo”.  
Inoculación, incorporación del líquido percolado.  
Controlar de humedad – inocular /regar.  
Manejo de la compostera.  
Control de textura.  
Controlar presencia / ausencia de olores y vectores indeseables o posibles problemas. Control de los parámetro sensoriales de madurez  
Utilizar “cobertor”. Tapar y destapar la pila

## **2) Discusión del proceso propuesto**

En el presente apartado se analizarán etapas del proceso, discutiendo las ventajas de la nueva propuesta en relación al compostaje tradicional en pilas, fundamentando con bibliografía pertinente:

### **2.1. Preparar el sustrato**

La nueva metodología propone en esta etapa una clasificación de los sustratos (RV y RM) para lograr una adecuada relación C/N, que según Iñiguez *et al.* (2010) se encuentra entre 25 y 30 para lograr una buena degradación de la materia orgánica.

Al estar los baldes (A y B) graduados volumétricamente, se pueden realizar las mezclas según las proporciones calculadas previamente, de cada tipo de residuo que se volcarán en el balde C. De esta forma, mezclando ambos residuos en este último balde, se obtendrá un sustrato con la relación C/N deseada para ser llevada a la compostera e iniciar el proceso de compostaje.

El método tradicional dispone los residuos en la pila sin conocer cuál será la relación C/N obtenida y mezclando el producto por vuelco o volteo a pala. En caso de que no se haya obtenido la correcta relación, se generará un retraso en el accionar de los microorganismos, haciendo el compostaje más lento, con el riesgo de producirse malos olores y pérdida de nutrientes por lixiviación (Filippini, 2011; Rearte, 2011; McCauley, 2005).

Se propone fragmentar los residuos según el criterio citado ya que, según Agreda y Deza Cano (2012), fragmentar los residuos tiene por objetivo aumentar la superficie de contacto del sustrato con el medio, y así acelerar la acción de los procesos antes mencionados.

## 2.2. Proceso de compostaje.

Para esta etapa se propone utilizar tres unidades de compostaje con el fin de que, en cada una, se encuentre toda la masa en un estado homogéneo en cuanto a los procesos físicos, químicos y microbiológicos, promoviendo a su vez la formación de un compost de mayor calidad.

En el método tradicional, al agregar material sistemáticamente a la pila de compostaje, se estará modificando con cada incorporación el proceso de degradación que se estaba dando anteriormente. Por ejemplo si a una masa que ya se encuentra en la compostera con un nivel de degradación avanzado se le agrega una cantidad de sustrato nuevo (no degradado), se disminuirá la temperatura de la primera masa. Además tenderán a aumentar las relaciones antagónicas entre los microorganismos presentes en el sustrato (Frioni, 2006), lo que entorpecerá la eliminación de agentes indeseables. De esa forma, se perturbará el equilibrio del ecosistema que estaba en proceso de estabilizarse (Jaksic, 2001). Estos efectos se repetirán cada vez que se incorpore el nuevo material y se homogenice con el que ya se encontraba en la pila, tal como presenta el método tradicional. (Gomez Barrena, 2006; Navarro, 2003) estrará mejor??

Por este motivo es que se proponen realizar tres UC, ya que en cada una se dará una evolución del proceso de degradación más rápida que la que se daría en el compostaje tradicional en un único volumen. Es decir, el proceso será más rápido teniendo la masa total en tres unidades de menor volumen que en una única de mayor volumen. Por otro lado, se está induciendo a que las distintas masas que se fueron agregando en cada UC tengan la menor variación de temperatura posible, de modo de favorecer el proceso general de compostaje y con él la velocidad de degradación del sustrato. (Gomez Barrena, 2006; López Real, 1995). Estará mejor?

### 2.3. Aireación pasiva y activa.

Al tratarse de un proceso aeróbico, el oxígeno es necesario para que los microorganismos puedan realizar la descomposición. Se deben evitar situaciones anaeróbicas, ya que reducen la velocidad del proceso, además de crear malos olores y disminuir la calidad del producto (Abril, 2002; Cuevas, 2009).

Al ser la aireación una condición muy importante, la propuesta plantea dos formas de llevarla a cabo: pasiva y activa.

La pasiva es la que se produce por el intercambio gaseoso que se da a través de las ranuras del cajón de plástico que constituye la UC. Al ser pequeñas, la difusión del oxígeno será mayor que en una pila tradicional, ya que esta última tiene una relación superficie/volumen menor. Cuando las condiciones del sustrato lo requieran (necesidad de aireación, excesiva humedad, alta temperatura, compactación de la masa, etc.), se realizará una aireación activa (Hasan *et al.*, 2012) que consiste, en el caso de este trabajo, en remover el sustrato girando el “aireador de tubo” que se ha generado para la propuesta, que además tiene como función homogeneizar toda la masa.

La aireación es menos eficiente en el método tradicional, ya que ésta se logra por remoción de la pila completa, y más laboriosa por el trabajo que demanda (INTA, 2008).

### 2.4. Inoculación

El agregado de inóculo constituye un aporte significativo en número y diversidad de microorganismos generando un proceso de bioaumentación y con él, la reducción del tiempo de formación y maduración del compost (Cariello *et al.*, 2007)

Este proyecto propone formar el inóculo a partir de suelo de la zona, guano de animales (o tierra preparada de vivero) y material en degradación. Así se forma un cultivo constituido por una mezcla de microorganismos con una alta proporción de endógenos,

los cuales están mejor adaptados que los exógenos (Vargas García *et al.*, 2007; Cariello *et al.*, 2007).

Se utilizará a partir del segundo mes para el inóculo que se aplicará en la UC2, material en degradación de la UC1, ya que en ella se han desarrollado los microorganismos especializados en degradar esos residuos específicos, propios de la familia. La misma metodología se aplicará a la UC3 y cuando se reinicie el ciclo respectivamente. Esto se fundamenta según Ichida *et al* (2001) y Castelló & Vila (2008) al decir que hay efectos positivos en el proceso de compostaje cuando se utiliza un inóculo especializado.

Gómez Barrena (2006) realizó una experiencia en sustrato compuesto por residuos sólidos urbanos, inoculándolo con un producto deshidratado de origen industrial a base de microorganismos y enzimas comparándolo con un testigo sin tratar. Los resultados indicaron que la Intensidad Respirométrica fue casi un 50 % mayor que en el testigo; lo que indica que la materia orgánica ha sido degradada más rápidamente en la pila inoculada. Esto se debe al incremento de la cantidad de microorganismos activos que conllevan a un mayor consumo de oxígeno. Por eso pudo concluir, coincidiendo con Cariello *et al* (2007), que en el tratamiento inoculado se acelera el proceso y la obtención de material estable.

#### 2.5. Utilización de cobertor.

Este elemento surge motivado por la necesidad de contar con un implemento sencillo para proteger las UC de las variaciones térmicas del ambiente, las cuales retrasarían el proceso de compostaje. En casos de mucha humedad se debe quitar el “cobertor” (siempre que las condiciones ambientales lo permitan), en cambio en época lluviosa o calurosa es necesario resguardar la compostera con el cobertor (Labrador,



1996; Ochoa, 2012). La ventaja del mismo, además de su fácil operación, es que favorece la aireación pasiva del compost por las aberturas que presenta, al mismo tiempo que lo aísla de las variaciones térmicas externas. (Cícero, 2010).

## 2.6. Cálculo de la cantidad de compost que se producirá.

A lo largo del mes se incorporarán aproximadamente 0.75 kg de sustrato diarios a la compostera, lo que daría un total de 22.5 kg teóricos a fin de mes. Según se ha podido consultar en la bibliografía, con el proceso de compostaje se produce una reducción de peso cercana al 60 % (Cuevas, 2009). Teniendo esto en cuenta, sumado a que la densidad media del compost maduro podría considerarse de 0.4 kg/dm<sup>3</sup> (Labrador, 1996), es válido afirmar que una familia tipo que posea las características planteadas y aplica el proceso productivo propuesto, estaría generando alrededor de 10 kg mensuales<sup>9</sup> de compost, con un volumen de entre 20 a 25 dm<sup>3</sup> aproximadamente.

Una vez obtenido el compost, se debe tener en cuenta una pérdida del 6 % por manipuleo y refinación del mismo (Saña *et al.*, 1996; Sztern, 1999).

Considerando lo expresado, es válido afirmar que se podría abonar con compost cada un año, un jardín con una superficie de entre 50 y 250 m<sup>2</sup> dependiendo entre otras cosas del tipo de cultivo, la condición del suelo, las condiciones climáticas, etc. (Villapudua & Rodríguez, 2007) En caso que no se utilice todo el compost, se puede almacenar en bolsas de plástico que tengan una pequeña abertura. Se deben colocar bajo techo, en un lugar donde haya flujo de aire.

---

<sup>9</sup> Se realizó el siguiente calculo:  $22.5 \text{ kg} - (0.60 * 22.5\text{kg}) = 9\text{kg}$  ----  $9 \text{ kg} / (0.4 \text{ kg/dm}^3) = 22.5 \text{ dm}^3 = 22.5 \text{ l}$

## **V. CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se ha logrado proponer una metodología de compostaje de los residuos orgánicos domiciliario alternativa al método tradicional, en el que una familia tipo con determinadas características, pueda gestionar y tratar de forma controlada, práctica y ecológica ciertos residuos orgánicos que produce en la cocina y el jardín, y obtener en su lugar, un abono de buena calidad que pueda utilizar en su patio, alejando plagas, nutriendo a las plantas, mejorando el suelo y el crecimiento de los vegetales, entre otros beneficios.

Este método alternativo se alcanzó con el análisis de bibliografía especializada local e internacional, que ha servido para describir los procesos de compostaje y las etapas en la elaboración del mismo, y con estas poder fundamentar cada una de las mejoras propuestas, de modo que cada una de ellas se vean correctamente avalada por profesionales del tema.

Además vale destacar que la propuesta generada representa una alternativa económica frente a otras composteras de origen nacional o internacional cuyos precios superan ampliamente el valor de los materiales necesarios para llevarla a cabo.

## **VI. REPERCUSIONES DEL TRABAJO**

El trabajo deja lugar a futuras investigaciones como por ejemplo, la incorporación del vermicompostaje (uso de lombrices) a la propuesta ya realizada. También sería sumamente atractivo aplicar el proceso productivo propuesto a un caso real para contrastarlo con los resultados teóricos obtenidos.

La comprobación empírica a campo del trabajo podría ser utilizado para una futura tesis de grado de la carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables (Facultad de Ciencias Agrarias) o como un proyecto de investigación de alguna entidad estatal dedicada al rubro, tal como el INTA.

Podría significar también un aporte directo a la sociedad, ya que podría utilizarse la información condensada y los conceptos de la propuesta generada a nivel familiar, en una mayor escala como la barrial, para gestionar así los residuos de la comunidad y obtener abono para aplicar en algún uso común, siempre y cuando esté correctamente regulado con las políticas y los controles pertinentes.

Todas estas acciones podrían ayudar en el camino hacia la anhelada sostenibilidad, que según el “Informe Brundtland” (CMMAD, 1987) consiste en “satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer las propias”.

## **VII. BIBLIOGRAFÍA**

- Abril A., 2002, La microbiología del suelo: su relación con la agricultura sustentable, capítulo 8 del libro “Agroecología. El camino hacia una agricultura sustentable”, Sarandón Santiago, 2002, Edición Científicas Americanas, Buenos Aires, Argentina.
- Acosta R., 2008, Saneamiento ambiental e higiene de los alimentos, Environmental sanitation and food hygiene, pág. 68 de 180, Editorial Brujas, Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Alcolea M. & Gonzales C., 2000, Manual de Compostaje, Barcelona, España.
- Agreda G. R., & Deza Cano M. J., 2012, “Factores que condicionan el proceso de compostaje”, presentación Universidad Autónoma de México, México.
- Añón M. S., 2011, Un repaso a la historia del Compostaje, Navarra, España.
- Beltrame K.G., Alois R. R., Vitti G. C., Boluda R., 1999, Compostaje de un lodo biológico de la industria cervecera con aireación forzada y virutas de eucalipto, Sociedad Española de la Ciencia del Suelo, España.
- CMMAD, 1987, Our Common Future, conocido como “Informe Brundtland” presentado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (CMMAD), ante la Asamblea General de las Naciones Unidas, ONU.
- Cariello M. E. , Castañeda L., Riobo I., González J., 2007, inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos, Endogenous microorganisms inoculant to speed up the composting process of urban swage sludge, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Entre Ríos, Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Carrillo L., 2003, Microbiología Agrícola, Capítulo 3 Actividad Microbiana, Universidad Nacional de Salta, Argentina.

Castelló R. C. & Vila Ma. R. A., 2008, Aplicaciones del compost en Agricultura Ecológica, Centro para el Desarrollo de la Agricultura Sostenible, Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Valencia, España.

Cícero A. R., 2010, Apunte de clase de Climatología, Facultad de Ciencias Agrarias, UN Cuyo, Argentina

Combox, 2012, Compostadores. Sostenibilidad en estado puro, consultado de la página web: [www.compostadores.com/combox](http://www.compostadores.com/combox).

Coordinación General para la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), 2009, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, Ministerio de Salud y Ambiente, Argentina. Se puede consultar de la web: [www.ambiente.gov.ar](http://www.ambiente.gov.ar).

Cuevas J., 2009, Etapas del proceso de compostaje, Departamento de Geología y Geoquímica, Despacho 205, Universidad Autónoma de Madrid, España.

DEIE, 2009, Alfabetización estadística de Mendoza, Casa de Gobierno de la Provincia de Mendoza, Mendoza, Argentina. Se puede consultar de la web: [www.deie.mendoza.gov.ar](http://www.deie.mendoza.gov.ar).

Estrada I. B. & Gómez J. M., 2006, la valorización del compost, Biomasa peninsular, Madrid, España.

Estrada I. B. & Gómez J. M., 2005, “Índices de calidad de suelos y compost desde la perspectiva agro-ecológica”, II Congreso sobre residuos biodegradables y compost, Sevilla, España.

Estrucplan, 2008, Marco legal Argentina, Provincia de Mendoza, Estrucplan Consultora S.A., Buenos Aires, Argentina. Se puede consultar de la web: [www.estrucplan.com.ar](http://www.estrucplan.com.ar)

Fenchel T., King G. M., Blackburn T. H., 1998, Bacterial Biogeochemistry: The

Ecophysiology of Mineral Cycling, Academic Press. New York, EE. UU.

Fernández, R.M., Gómez, J.M., Estrada, I.B., 2004, Compost legislation: Sanitation vs Biological quality, I International Conference Soil and Compost Eco-biology, paper 3, León, España.

Filippini M. F., 2011, Principios del Compostaje, Apuntes de clase, Facultad de Ciencias Agrarias, UN Cuyo, Mendoza, Argentina.

Frioni L., 2006, Microbiología: básica, agrícola y ambiental, Ed. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, UN Cuyo, Mendoza, Argentina.

Frioni L., 2010, Apuntes de clase de Microbiología, Facultad de Ciencias Agrarias, UN Cuyo, Mendoza, Argentina.

Fundación Universidad Tecnológica, 2007, Regional Mendoza, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos (SGIRSU) para el Área Metropolitana Mendoza, Argentina

Gabetta, J., 2004, Lombricultura rentable, Manual teórico-práctico para la cría comercial de lombrices, Ediciones Continente S.R.L, Argentina.

Gassull V. M., 2011, Sistema de calentamiento de agua sanitaria solar, Reutilización de elementos plásticos descartables, Universidad de Andalucía, Huelva, España.

Gómez Barrena R., 2006, Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso, Universidad Autónoma de Barcelona, España.

Gonzales G., 2010, Tratamiento y Disposición Final Situación Actual y alternativas futuras, Residuos Sólidos Urbanos Argentina, diciembre de 2010, Argentina

Grasso, E. F., 1997, Optimización de técnicas para la obtención de un compost regional y su utilización por la comunidad como mejorador de suelos, tratamiento integral de residuos sólidos, Universidad Nacional de Entre Ríos, Argentina.

- Hickman C. P., Hickman F. M., Kats L. B., 2000, Principios integrales de la Zoología, McGraw-hill Education, España.
- Ichida, J.M., Krizova L., LeFevre C.A., Keener H.M., Elvell D.L., Burt E.H., 2001, Bacterial inoculum enhances keratin degradation and biofilm formation in poultry compost, Journal of Microbiological Methods, Ohio Wesleyan University, USA.
- INTA, 2008, Boletines del Plan Pro-huerta, Plan Nacional de seguridad alimentaria, Ministerio de desarrollo social, sistema creado por el Ing. Daniel Díaz en 1989 y desarrollado por los ingenieros del INTA, Argentina. Se puede consultar de la web: [www.inta.gob.ar](http://www.inta.gob.ar).
- INTI, 2012, Una alternativa para tratar los Residuos Sólidos Orgánicos Domiciliarios (RSOD), Desarrollo de un modelo tecno-organizativo, Sede INTI Córdoba, Av. Vélez Sarsfield 1561, Córdoba, Argentina, Extraído de la web: [www.inti.gob.ar](http://www.inti.gob.ar).
- INTI - INTA, 2012, Instructivo para la producción de Compost Domiciliario, Una oportunidad para convertir residuos del hogar en una enmienda orgánica, Córdoba, Argentina.
- Iñíguez, G., Acosta, N., Martínez, L., Parra, J., González, O., 2010, Utilización de subproductos de la industria tequilera. parte 7. compostaje de bagazo de agave y vinazas tequileras, Revista internacional de contaminación ambiental, Universidad Autónoma de México, México.
- Jaksic F, 2001, Ecología de comunidades, Ediciones Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile
- Hasan K. M. M., Sarkar G., Alamgir M., Bari Q. H., Haedrich G., 2012, Study on the quality and stability of compost through a Demo Compost Plant, Waste Management 32 p. 2046–2055, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/wasman](http://www.elsevier.com/locate/wasman).
- Labrador M. J., 1996, La Materia Orgánica en los Agrosistemas, Ministerio de Agricultura,

Pesca y Alimentación, Editorial Mundi-Prensa, Madrid, España

Lewandowski A.M., 1999, Soil Biology Primer, NRCS Soil Quality Institute, Ames, Iowa, EE.UU.

Lladó Vadell B., 2010, Calidad de suelos en una situación de producción de cerdos sobre pastoreo, Universidad de la República, Facultad de agronomía, Montevideo, Uruguay

López Real J., 1995, Parámetros de control del compostaje y aplicación del compostaje de residuos orgánicos, en Gestión y Utilización de Residuos Urbanos para la Agricultura, Editorial Aedos, España.

Martínez Farré X., 2008, Gestión y tratamiento de residuos agrícolas, Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, Universidad Politécnica de Catalunya, España.

McCauley A., Jones C., Jacobsen J., 2005, Basic soil properties, Soil and Water management, Montana State University, EE. UU.

Moreno J. & Moral R., 2008, Compostaje, Madrid, España

Moreno J. & Mormeneo S., 2008, Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje, Edición Mundi-prensa, Madrid, España

Navarro R., 2003, Manual para hacer composta aeróbica, CESTA, Amigos de la Tierra, El salvador.

Ochoa S. I., 2012, Curso de compostaje en la UAM: Tipos de compost, Universidad Autónoma de Madrid, España.

Pérez D. N., Igarza U. O., Machado E. C., 2010, Compostaje vs Residuos Orgánicos, Universidad de Pinar del Río, Cuba,

Pérez J., Muñoz-Dorado J., De la Rubia T., Martínez J., 2002, Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview, Departamento de Microbiología, Facultad de Ciencias, Universidad de



Granada, España.

Pérez Valenzuela B., 2011, Apunte de clase de Recurso Suelo, Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza, Argentina

Porta, J; López Acevedo, M; Roquero C, 1994, Edafología para la Agricultura y el Medio Ambiente, Edición Mundi-Prensa, Madrid, España

Rearte E., 2011, Tratamiento de los Efluentes de la Industria del Aceite de Oliva Mediante el Uso de la Lombricultura, Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza, Argentina

Richard T., 1996, C/N Ratio, Science and Engineering, Cornell University Ithaca, NY, EE. UU.

Röben E., 2002, Manual de Compostaje para Municipios, Loja, Ecuador.

Rotero A., 2001, Medio ambiente y educación: capacitación ambiental para docentes, Edición Novedades educativas, Buenos Aires, Argentina.

Rojas D., 2012, Apunte de clase de Recurso Agua “Tratamiento de Efluentes”, Facultad de Ciencias Agrarias, Mendoza, Argentina.

Saña J., Moré J. C., Cohí A., 1996, La gestión de la Fertilidad de los suelos, Madrid, España.

Schuldt M., 2002, Relaciones carbono / nitrógeno, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP, Conicet, Buenos Aires, Argentina.

Soliva M., López M., Huerta O., 2008, Antecedentes y fundamentos del proceso de compostaje, Ediciones Mundi-prensa, Madrid, España.

Sztern D., Pravia M. A., 1999, Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos, Organización Panamericana de la Salud, Montevideo, Uruguay

Vargas G. Ma. C. , Suárez Estrella F., López M.J., Moreno, J, 2007, In vitro Studies on lignocellulose degradation by microbial strains isolated from composting

processes, International Biodeterioration and Biodegradation, Almería, España.

Villapudua J. R. & Rodríguez R. A. S., 2007, El Compostaje, Facultad de Agronomía de la

Universidad Autónoma de Sinaloa, Culiacán, Sinaloa, México.

Varnero Ma. T., 1997, El suelo como sistema Biológico, capítulo 3, Facultad de Ciencias

Agrarias y Forestales, Universidad de Chile, Chile.

## **Agradecimientos**

A Dios principalmente.

A mis padres y hermanos sin los cuales no podría haber concretado mis estudios.

A mi Nona y Tata que me cuidan desde el Cielo.

A mi familia y amigos.

A mi director y co-directora de tesis y mis profesores.