



Entidades Asociadas:



MUNICIPALIDAD DE LUQUE



Proyectando un futuro de excelencia



INST. NAC. DE TECNOLOGIA NORMALIZACIÓN y METROLOGIA



Experiencia de Compostaje Municipal en Luque, Paraguay



Relato del desarrollo de un proyecto de compostaje municipal: Lecciones aprendidas.



Oscar Coronel y Adelina Giménez Galeano



AUSPICIA:





EJECUTOR DEL PROYECTO



La Universidad Central del Paraguay, es una institución privada que tiene como finalidad servir al enriquecimiento de la cultura paraguaya a través de la formación de profesionales capacitados para desempeñarse en los distintos campos específicos de sus respectivas especialidades, demostrando en su accionar su excelencia en ciencia y en conciencia.

La Universidad Central del Paraguay, es una comunidad académica, orgánica y participativa que de modo científico y crítico, pretende contribuir a la tutela y al desarrollo de la dignidad humana y la herencia cultural, mediante la investigación, la enseñanza y los diversos servicios ofrecidos a la comunidad nacional e internacional. Ella goza de la autonomía institucional necesaria para cumplir sus funciones de manera eficaz; y garantizar a sus miembros de libertad académicas salvaguardando los derechos de la persona y de la comunidad.

www.central.edu.py/

ENTIDADES ASOCIADAS



El INTN es una entidad pública, autárquica y descentralizada con personería jurídica propia y jurisdicción en todo el territorio paraguayo, creada por la Ley N° 862/63 y

reorganizada por la Ley N° 2.575/05. Se relaciona con el poder Ejecutivo a través del Ministerio de Industria y Comercio de la República del Paraguay.

Entidad encargada de apoyar la mejora de la calidad, la productividad y la certificación de conformidad de los productos nacionales, con las normas técnicas, de manera a fortalecer el desarrollo económico y social del país mediante sus organismos técnicos: Organismo Nacional de Certificación (ONC), Organismo Nacional de Metrología (ONM), Organismo Nacional de Normalización (ONN), Organismo Nacional de Inspección (ONI), Organismo de Investigación y Asistencia Tecnológica (OIAT) y la Dirección de Reglamentación.

<http://www.intn.gov.py/>



La Municipalidad de Luque está conformada por la comunidad de vecinos con gobierno propio, que tiene por objeto promover el desarrollo de los

intereses locales, articular el funcionamiento armónico de la comunidad a través de una gestión innovadora, transparente e inclusiva, en la prestación de servicios a la sociedad y el desarrollo participativo y sustentable del territorio y su gente.

A través de su Dirección de Gestión Ambiental, está a cargo del funcionamiento de la Planta Piloto de Compostaje Municipal, que trata los residuos de poda y limpieza de plazas y otros espacios públicos para su conversión en compost que se vende o se utiliza como enmienda orgánica de los espacios públicos propios.

<http://www.luque.gov.py/>

FINANCIADO POR



CONACYT, organismo instalado, consolidado y reconocido por el Poder Ejecutivo y todos los sectores de la sociedad, nacional e internacionalmente, como generador, promotor y articulador de la Ciencia, la Tecnología, la Innovación y la Calidad.

El programa Prociencia tiene por objetivo fortalecer las capacidades nacionales para la investigación científica y desarrollo tecnológico, de modo a contribuir con el aumento de la capacidad productiva, la competitividad y mejorar las condiciones de vida en el Paraguay. Se busca focalizar acciones en el desarrollo de capacidad nacional, preservado la visión “sistémica” y de procesos correspondiente al sector de ciencia, tecnología e innovación.

Oscar Coronel es Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, Msc en Ingeniería de Riego por la Universidad de Southampton, Inglaterra y Diplomado en Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Madrid. Se desempeña como profesor de Hidráulica e Hidrología de la Universidad Central del Paraguay, donde además es responsable técnico de proyectos de Investigación, y es consultor internacional, habiendo realizado consultorías en temas de su especialidad en diversos países como Ecuador, Tailandia, Marruecos, República Dominicana, Honduras, Perú, Argentina, Tailandia, Guyana, Jamaica, Serbia y Macedonia.

Adelina Giménez Galeano es Licenciada en Química Industrial de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Nacional de Asunción. Es Jefe de Departamento de Ensayos Inorgánicos del Organismo de Investigación y Asistencia Tecnológica (OIAT) del Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología (INTN). Tiene experiencia en el área de control de calidad de fertilizantes, compost, suelo, polvo químico, productos domo sanitarios preparación de soluciones ácidas y básicas, determinación de pureza de ácidos inorgánicos, preparación y cuantificación de nutrientes en fertilizantes (abonos, compost) y suelo por Espectrofotometría de Absorción Atómica (Na, K, Ca, Mg Cu, Zn, Mn, Mo, Ni, Pb, Ag, Cr, Fe, Cd, B), nitrógeno, fosforo, cloruro, azufre y en preparación de soluciones patrones para la lectura por Espectrofotometría de Absorción Atómica y por Fotometría de llama. Auditora interna de la norma NP ISO/IEC 17025:2006

La impresión del presente libro fue parcialmente costeadada por la Organización Paraguaya de Cooperación Intermunicipal (OPACI) quien también está a cargo de hacer llegar un ejemplar de cada uno de ellos a las 254 intendencias municipales



Experiencia de Compostaje Municipal en Luque, Paraguay

Relato del desarrollo de un proyecto de compostaje municipal: lecciones aprendidas.

Oscar Coronel y Adelina Giménez Galeano

Las opiniones expresadas en esta publicación son de los autores y no necesariamente representan el punto de vista del ejecutor del proyecto, la Universidad Central del Paraguay, o de las entidades colaboradoras, el INTN o la Municipalidad de Luque

Publicado por: Oscar Fernando Coronel

Copyright: © 2018 Oscar Fernando Coronel

La reproducción de esta publicación para propósitos educacionales o no comerciales está permitida sin permiso previo de los propietarios de los derechos siempre que la fuente sea citada.

La reproducción de esta publicación en todo o parte con fines comerciales está prohibida sin la autorización previa de los propietarios de los derechos de copyright.

Cita: Coronel O. y Gimenez A. (2016). Experiencia de Compostaje Municipal en Luque, Paraguay. Universidad Central del Paraguay, 2018. Asunción, Paraguay

ISBN: ISBN 978-99967-0-574-8

Fotos de portada: Félix López Giménez / Oscar Coronel

Fotos: Salvo fuentes indicadas, Félix López Giménez / Oscar Coronel.

Layout: Oscar Coronel

Se obtiene de: Universidad Central del Paraguay

Avenida Brasilia N° 1.158 e/ Tte. 2° Benigno Villamayor c/ Insaurralde
Asunción – Paraguay
Código Postal 1429.

Teléfonos: +595 (021) 280 231, (021) 33 88 190, 0800116900. 1196

<http://www.central.edu.py/publicaciones>

Contenido

1	.INTRODUCCIÓN GENERAL AL COMPOSTAJE	20
1.1	ANTECEDENTES	20
1.2	IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO	20
1.3	EL COMPOST	21
1.4	BENEFICIOS DEL COMPOST	22
1.5	MATERIALES COMPOSTABLES (FAO, 2013).	22
1.6	SISTEMAS DE OBTENCIÓN DE COMPOST (UPM E ICA, 2005)	24
1.6.1	SISTEMAS ABIERTOS	24
1.6.2	SISTEMAS CERRADOS	26
1.7	PROCESO DE COMPOSTAJE (FAO,2013)	26
1.7.1	FASES DEL COMPOSTAJE	26
1.7.2	MONITOREO DURANTE EL COMPOSTAJE	27
1.7.3	PROBLEMAS QUE PUEDEN GENERAR EL COMPOST	30
1.8	FERTILIZACIÓN (FAO, 2013)	31
2	EXPERIENCIA DE PRODUCCIÓN DE COMPOST EN LUQUE	33
2.1	PLANTA DE COMPOSTAJE	33
2.2	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN	34
2.3	EQUIPAMIENTO	35
2.4	OBTENCIÓN DE MATERIALES COMPOSTABLES	35
2.5	PROCESAMIENTO	36
2.6	SEGUIMIENTO ANALÍTICO	43
2.7	ENSAYOS CON CULTIVOS	49
2.7.1	CULTIVO DE TOMATE AÑO 2016	49
2.7.2	CULTIVO DE PIMIENTO, ZAPALLITO Y ACELGA AÑO 2017	50
2.8	COSTOS DE OBTENCIÓN, PROCESAMIENTO Y SEGUIMIENTO	56
3	NORMATIVA APLICABLE	65
3.1	NORMA ESPAÑOLA	65
3.2	NORMA CHILENA	67
3.3	NORMA DEL DISTRITO FEDERAL DE MÉXICO	68
3.4	MÉTODOS DE ENSAYO SEGÚN DIFERENTES NORMAS:	72
3.4.1	NORMA ESPAÑOLA	72
3.4.2	NORMA CHILENA	73
3.4.3	NORMA DF MÉXICO	74
3.5	COMENTARIOS GENERALES SOBRE LOS MÉTODOS DE ENSAYO DE LAS DIFERENTES NORMAS	75
3.6	NECESIDAD DE LA FORMULACIÓN DE UNA NORMA PARAGUAYA	76
4	REFERENCIAS	79

Lista de figuras y tablas

Ilustración 1-1 Maquinarias y herramientas para volteo de pilas.....	25
Ilustración 1-2 Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje Fuente: P. Roman, (FAO, 2013)	27
Ilustración 2-1 Fotografías Inauguración Centro Piloto de Compostaje Municipalidad de Luque Julio 2015	34

Experiencia de Compostaje Municipal en Luque, Paraguay Relato del desarrollo de un proyecto de compostaje municipal: lecciones aprendidas. Oscar Coronel y Adelina Giménez Galeano	7
--	---

Ilustración 2-2 Relación C/N y condiciones meteorológicas	44
Ilustración 2-3 Comportamiento de pilas estáticas y volteadas	46
Ilustración 2-4 Contenido de Macronutrientes	47
Ilustración 2-5 Contenido de micronutrientes	47
Ilustración 2-6 Propiedades físicas del compost	48
Ilustración 2-7 Granulometría del compost	49
Ilustración 2-8 Picador rotativo Foto: Zappy, 2018	62
Tabla 1-1 Relación C: N de algunos materiales usados en compostaje	24
Tabla 1-2 Parámetros del compostaje	29
Tabla 1-3 Contenido de N, P, K en el compost	32
Tabla 1-4 Comparaciones del costo del compost y del abono químico: (FAO, 2013).....	32
Tabla 2-1 Costo de infraestructura centro de compostaje 3250 kg/día (5000 habitantes)	34
Tabla 2-2 Costos de construcción	35
Tabla 2-3 Seguimiento de condiciones meteorológicas y composición C/N durante un año.....	44
Tabla 2-4 Influencia del seguimiento de parámetros en la composición final del compost	44
Tabla 2-5 Macronutrientes y Micronutrientes.....	46
Tabla 2-6 Propiedades físicas del compost	47
Tabla 2-7 Granulometría	49
Tabla 2-8 Estudio comparativo cultivo tomate.....	49
Tabla 2-9 Cuadro comparativo de producción.....	52
Tabla 2-10 Cuadro comparativo de producción	53
Tabla 2-11 Cuadro comparativo de producción	54
Tabla 2-12 Calculo del personal para la producción de compost	56
Tabla 2-13 Calculo del personal para la producción de compost	57
Tabla 2-14 Egresos e ingresos para dos cargas por día	58
Tabla 2-15 Egresos e ingresos para tres cargas por día	59
Tabla 2-16 Egresos e ingresos para cuatro cargas por día.....	59
Tabla 2-17 Egresos e ingresos para ocho cargas por día	60
Tabla 2-18 Costos de construcción y equipamiento	64
Tabla 2-19 Costos de operación mensual para una ciudad de 10.000 habitantes	64
Tabla 3-1 Resumen normativa española.....	65
Tabla 3-2 Límite máximo metales pesados R 506/2013.....	66
Tabla 3-3 Relación C:N de algunos materiales compostables (datos de N y C total de la fracción seca) (FAO 2013).....	67
Tabla 3-4 Concentraciones máximas de metales pesados en compost.	68
Tabla 3-5 Contenido máximo de materiales inertes de tamaño menor o igual a 16mm en compost	68
Tabla 3-6 Características generales que deben cumplir los tipos de compost	68
Tabla 3-7 Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg ⁻¹ en base seca que deben cumplir los tipos de compost.	69
Tabla 3-8 valores máximos permisibles para especificaciones microbiológicas.....	69
Tabla 3-9 Máximos permitidos de materias inertes, en% de MS para partículas mayores a 5mm.....	69
Tabla 3-10 métodos de ensayo según norma española	72
Tabla 3-11 Métodos de ensayo norma chilena.....	73
Tabla 3-12 Determinación de relación C/N según distintos laboratorios	75

Acrónimos

C/N o C:N	Relacion contenido de Carbono con respecto al Nitrogeno
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Dap seca o Dap húmeda	Densidad Aparente seca o humeda
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mundialmente conocida como FAO (por sus siglas en inglés: Food and Agriculture Organization)
INTN	Instituto Nacional de Tecnología, Normalización y Metrología
OIAT	Organismo de Investigación y Asistencia Tecnológica del INTN
OPACI	Organización Paraguaya de Cooperación Intermunicipal
pH	El pH indica la concentración de iones hidrógeno en una solución y es una medida de acidez o alcalinidad de la misma.

Agradecimientos

El presente relato del desarrollo de este proyecto de compostaje municipal y las lecciones aprendidas no hubiera sido posible sin el financiamiento de:

- 1) Proyecto “Sistema de Reciclado de Residuos Sólidos Urbanos para una ciudad de Luque más saludable”



ejecutado por la Municipalidad de Luque y cofinanciado por la Unión Europea mediante contrato de subvención DCI-NSAPVD/2012/307-069. Este proyecto le permitió a la Municipalidad de Luque entre los años 2013 a 2015 construir un centro de reciclado de residuos sólidos urbanos en el barrio Maka’i y un centro piloto de compostaje en el predio del Colegio Técnico Agrícola Don “Fabián Cáceres”, ubicado en la 8va. Compañía de Tarumandy. Los funcionarios municipales que participaron activamente en este proyecto fueron:

- Dr. Cesar Ramón Meza Bria, Intendente Municipal
- Arq. Gladys Huespe de Battilana, Directora de Obras Públicas Municipales
- Lic. Miguel Angel Carballo, Director de RRHH.
- Lic. Richard Torres, Coordinador del Proyecto
- Ing. Civil Oscar Coronel,
- Lic, Carlos Niz.

- 2) Proyecto de iniciación de científicos 14-INV-307: “Estudio de factibilidad para uso agrícola del compostaje por pilas con volteo de RSU en el Departamento Central de Paraguay”,



financiado por el CONACYT – Prociencia, que permitió realizar el seguimiento de la producción de compost en el Centro Piloto de Compostaje y realizar el seguimiento de la producción de compost y la presente sistematización de los resultados y dificultades encontradas. El responsable técnico fue el Ingeniero Civil Oscar Coronel y los funcionarios municipales que permitieron la ejecución de este proyecto fueron:

- Abog. Carlos Echeverría Estigarribia, Intendente Municipal
- Lic. Leticia Céspedes, Directora de Gestión Ambiental
- Lic. Christian Samaniego
- Ing. Rosaly Aguilera,
- Srs. Cesar Torres y José Brítez, operadores del Centro de Compostaje

También fue importante la participación del Personal del Colegio Técnico Agrícola Don “Fabián Cáceres”, quienes llevaron a cabo las experiencias comparativas del uso de compost como abono y determinaciones a campo con los alumnos del Colegio.

- Ing. Porfirio Pérez
- Lic. Félix López
- Ing. Elvio Vega



Entidades Asociadas:



MUNICIPALIDAD DE LUQUE



INST. NAC. DE TECNOLOGIA NORMALIZACIÓN y METROLOGIA

Experiencia de Compostaje Municipal en Luque, Paraguay



Relato del desarrollo de un proyecto de compostaje municipal: Lecciones aprendidas.

RESUMEN EJECUTIVO

Oscar Coronel y Adelina Giménez Galeano

AUSPICIA:



Resumen Ejecutivo

La Naturaleza mezcla la materia orgánica de plantas y animales en el suelo, descomponiéndose. Una vez alcanzado el máximo grado de descomposición, todas estas sustancias que quedan en el suelo, inician la formación de complejos de carbono, altamente estables y de lenta degradación. Este nuevo material es el humus, que aporta sus nutrientes a la tierra de la que se alimentan de nuevo las plantas.

El **compost** se define como un material estable, higienizado y semejante al humus, rico en materia orgánica y sin olores desagradables, **resultante del proceso de compostaje** de bio-residuos recogidos selectivamente.

Los beneficios del compost son:

- Producción de abono orgánico (compost) que permita el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, la producción de cultivos de calidad y la conservación del entorno
- Reducción del volumen de la materia original (residuos) debido a la reducción del contenido de agua y a la pérdida de materia seca, principalmente en forma de CO₂.
- Facilitar la gestión de los residuos orgánicos procedentes de distintas actividades, reduciendo su peso y volumen, a la vez que estabilizarlos y generar un producto útil
- Higienización de la materia orgánica: se consigue la destrucción o reducción de los microorganismos patógenos y la inhibición de la capacidad germinativa de las semillas presentes en los residuos.

Materiales compostables

La gran mayoría de los materiales orgánicos son compostables. En la siguiente lista se hace una relación de materiales que se pueden compostar:

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

Materiales no compostables

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

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

- Restos de alimentos cocinados, carne.

Obtención de materiales compostables.

La obtención de materiales compostables en el caso de servicios municipales es proveniente de la recogida de residuos. Esta recogida se puede hacer de dos formas:

- Unificada: un único camión (tumba o compactador) recoge los residuos sin que estos sean separados en origen (casas y comercios)
- Selectiva:
 - Un camión especial realiza un circuito de recogida de materiales reciclables (papel, cartón, plásticos, vidrio, metales), o la recogida de los materiales reciclables se organiza mediante carriteros (personas provistas con carros). Para ello, se debe realizar una campaña de separación de los residuos en origen.
 - Otro camión recoge los residuos orgánicos (restos de cocina, servilletas, pañuelos de papel, papel higiénico, papel y cartón, césped o pasto cortado)
 - Otro camión recoge los restos de poda de árboles en la vía pública.
 -

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• ES IMPORTANTE ESTABLECER UN SERVICIO DE RECOGIDA EFICIENTE, QUE LLEGUE A TODA LA COMUNIDAD, CON HORARIOS CONOCIDOS POR LA COMUNIDAD. |
|---|

Si se opta por un sistema de recogida selectivo, ya sea mediante camión o carriteros, debe ser un Servicio público, que llegue a toda la comunidad, con horarios establecidos y que logre la retirada de TODO el material separado por la comunidad en casas, comercios e instituciones. No debe circunscribirse solo a la zona comercial, o a ciertos barrios. Como se solicita la participación de la comunidad con la separación en sus hogares y puestos de trabajo, se debe respetar y valorizar su aporte a la mejoría del sistema de recolección de residuos, tomando especial cuenta que son las mujeres las encargadas de esta separación.

Sistemas de obtención de compost

La obtención de compost por fermentación aerobia de los residuos sólidos urbanos consta de tres fases:

- i. Recepción de los residuos orgánicos, separación y reducción del tamaño. El material a compostar se pica manual o mecánicamente de preferencia en fragmentos de 10-15 cm.
- ii. Fermentación de los residuos orgánicos
- iii. Proceso de afinado o afino mediante su cribado o cernido en zarandas. La porción fina es el compost Digestión anaerobia en reactores de flujo continuo cuyo contenido se mezcla completamente.

Se puede realizar mediante sistemas abiertos (Pilas estáticas, pilas con volteo, pilas con aireación forzada) o sistemas cerrados (sistemas de tipo industrial, sometidos a patentes y marcas).

Proceso de compostaje:

El proceso de compostaje es la sumatoria de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso,

adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost. Las fases de este proceso son:

1. Fase Mesófila. El material en pocos días (e incluso en horas), aumenta su temperatura hasta los 45°C. debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor, durante pocos días (entre dos y ocho días).

2. Fase Termófila o de Higienización. El material alcanza temperaturas mayores que los 45°C. Las bacterias termófilas actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. El calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.* Igualmente, las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

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

Control del proceso de compostaje

Los **parámetros que afectan el crecimiento y reproducción de los microorganismos** responsables de la descomposición de la materia orgánica éstos **deben estar bajo vigilancia constante para que siempre estén siempre dentro de un rango óptimo.** Estos factores incluyen

- La aireación,
- La humedad
- La temperatura,
- El pH y
- La relación C : N.

Fertilización

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta provienen del aire, del agua y del suelo, siendo la solución del suelo el medio de transporte de los nutrientes.

Los nutrientes en el suelo, se dividen en macro- y micro- nutrientes, en función de las cantidades que la planta necesite.

El contenido en nutrientes del compost tiene una gran variabilidad, ya que depende de los materiales de origen:

Macronutrientes

Los macronutrientes primarios son Nitrógeno, Fósforo y Potasio, y los secundarios son Magnesio, Azufre y Calcio.

Micronutrientes

Los micronutrientes son requeridos en cantidades muy pequeñas, pero generalmente son importantes para el metabolismo vegetal y animal. Estos son el hierro, el zinc, el manganeso, el boro, el cobre, el molibdeno y el cloro.

Planta de compostaje municipal:

Una planta de compostaje municipal está compuesta de los siguientes elementos básicos:

Rampa de acceso y tolva de alimentación: La rampa de acceso permite que un camión pueda descargar el material a ser compostado directamente a la tolva de alimentación.

Mesa de segregación se utiliza para abrir las bolsas de residuos, separar los residuos compostables de los no compostables, eliminar elementos que podrían dañar la trituradora. Puede tener una cinta transportadora o no, según la cantidad de residuos a segregar.

La trituradora que permite la reducción del tamaño, que influye en la velocidad de fermentación, en la aireación y el contenido de humedad de la pila.

El patio de compostaje es donde se arman las pilas para la fermentación del material.

El tamiz rotativo o zaranda se utiliza para tareas de afino del compost: cuando una pila está terminada (porque ya no desarrolla temperatura), se tamiza y los materiales de mayor tamaño del permitido por las normas, que no fueron fermentados, se trituran nuevamente y se retornan a otra pila para su fermentación.

Todos los elementos mencionados deben estar bajo techo, por lo cual es necesario contar con un tinglado dotado de adecuada seguridad

En el caso de la municipalidad de Luque, el costo por licitación para la ejecución del tinglado de 108 m2 con muros perimetrales, portones, puertas, instalación eléctrica, sanitaria, oficina, etc. fue de \$186.000.000 Gs

El equipamiento adquirido tuvo un costo de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 1 Costos equipamiento adquirido

Concepto	Unidad	Cant	Precio unit	Precio total Gs	Precio total \$
Mesa segregación	Un	1	Gs 19.300.000	Gs 19.300.000	\$ 4.288,89
Triturador	Un	1	Gs 58.960.000	Gs 58.960.000	\$ 13.102,22
Tamiz rotativo	Un	1	Gs 32.480.000	Gs 32.480.000	\$ 7.217,78
Carretillas	Un	3	Gs 850.000	Gs 2.550.000	\$ 566,67
				Gs 113.290.000	\$ 25.175,56

En el Paraguay no existen empresas dedicadas a la producción de máquinas y herramienta especializadas en la gestión de residuos, como existe en Argentina y Brasil, a excepción de Zappy S.A. de Santa Rita. En los proyectos donde el autor de este libro tuvo experiencia, se recurrió a metalúrgicas locales que debieron diseñar los equipamientos en cada ocasión. Las metalúrgicas que proveyeron el equipamiento fueron:

- Para el centro de reciclado de Pedro Juan Caballero GA Ingeniería SRL, San Lorenzo
- Para el centro de reciclado y compostaje de Luque Engineering S.A., Luque.

En general, se debe recurrir a metalúrgicas locales, pero el hecho de tener que diseñar el equipamiento en cada ocasión produce que no se acumulen las experiencias y siempre existan inconvenientes a ser resueltos sobre la marcha.

Resultados obtenidos

- La **climatología no influye en la composición del compost**.
- El volteo y el control de las condiciones de humedad y temperatura de las pilas es necesario y **la falta de estas labores se refleja en composiciones desfavorables del compost**.
- Las pilas estáticas tienen un proceso más largo, de 4 meses, y producen mayor rechazo en el proceso de afino. Las pilas sin volteo y sin riego, en dos semanas estaban con humedades inferiores al 30%, con lo cual el proceso de fermentación se detenía rápidamente.
- Las pilas con volteo y riego, controlando la humedad tienen un periodo más corto, de 3 meses, pero necesitan de más espacio en el patio de compostaje para el volteo de las pilas.
- Como la composición del compost se conoce una vez finalizado el proceso, es decir, a los 6 meses de haberse iniciado una pila, no es posible saber si el proceso que se sigue es correcto, por lo que es importante llevar un control de los elementos que es factible medir a campo, (temperatura y humedad) y realizar los volteos y riegos necesarios para mantener estos parámetros en los rangos óptimos. La gestión más cuidadosa o más deficiente se ve reflejada en los resultados analíticos.
- Se observó durante todo el proceso que **no se alcanzaban las relaciones C/N recomendadas en las norma (C/N < 20)**.
- El **contenido de micronutrientes era el esperado** de acuerdo a la bibliografía
- Los ensayos con cultivos (tomate, zapallito, pimiento y acelga comparando la producción en parcelas con compost, abono químico, ambos y sin ninguna clase de abono, determinan que a pesar de la baja relación carbono nitrógeno, que puede explicarse porque el compost aporta además de NPK (abono químico) macro y micronutrientes y materia orgánica al suelo. Se debe destacar que la aplicación de compost es el factor principal de mejoría de la producción, dado que los resultados con compost solo son mejores que con abono químico solo.

Costos de producción

Una localidad de 10.000 habitantes, a 1 kg de residuos por habitante por día, genera 10.000 kg o 10 tn de residuos al día. Estas 10 toneladas están conformadas aproximadamente por:

Reciclable	15%	1,5	ton/día
Compostable	65%	6,5	ton/día
Residuos	20%	2	ton/día

Las 6,5 tn de materiales compostables equivalen a unas 4 camionadas de 7 m³ de residuos al día.

Estas pueden tratarse en un turno contando con 4 operarios y un encargado, o en dos turnos con dos operarios.

Se determinó que contando con una trituradora, la máxima cantidad de camiones de residuos que se puede procesar por turno es de 4 cargas al día por turno, contando con 4 empleados en turnos de 6 horas, más un encargado de realizar el seguimiento de las pilas, su volteo humedad, etc., si el encargado realiza algunas tareas de procesamiento.

Para tratar 4 cargas por días, el cálculo de tiempo por cada tarea del personal es el siguiente:

Tabla 2 Cálculo de tiempos por tarea

Nº	Calculo de personal para la produccion de 4			cargas por día un turno de 6 horas				Nº personal jornada 6 hs
	Horas hombre por carga promedio recibida	Mano de obra	Unidad	Cargas por día	Pilas por mes	Dias por mes	Hs/hombre por mes	
1	Separacion y preparacion de leña	3	Hh / carga	4		21	252	4,37
2	Transporte del material compostable al molino y molido	1,5	Hh / carga	4		21	126	
3	Armado de pila	0,25	Hh / carga	4		21	21	
4	Volteo y riego de pila	2	Hh / pila		6		12	
5	Acarreo, afinado, remolido y re apilado	12	Hh / pila		6		72	
6	Embolsado	4	Hh / pila		6		24	
7	Seguimiento y administración	20	Hh / mes				20	
8	Limpieza y desmalezado del predio	24	Hh / mes				24	
							551	

Los costos mensuales para un turno con 4 personales y un encargado son:

Tabla 3 Costos e ingresos mensuales

Costos mensuales con un turno de 6 horas, 4 operarios y encargado					
Salario encargado (cumple funciones operativas)	3.000.000				
Salario operarios a 2.041.123 cada uno	8.164.492				
Electricidad	300.000				
Agua	90.000				
Guantes	83.333				
Botas	250.000				
Combustible y aceite motosierra	200.000				
Cadenas motosierra	220.000				
Reparaciones varias	400.000				
Reposicion de equipos	400.000				
Bolsas para venta	900.000				
TOTAL EGRESOS	14.007.825				
Ingresos mensuales con un turno de 6 horas, 4 operarios y encargado					
INGRESOS	Cantidad	Unidad	P.Unit		
Bolsas de compost	900	bolsas	10000	Gs/bolsa	9.000.000
Leña	60	m3	20000	Gs/m3	1.200.000
TOTAL Ingresos Directos					10.200.000
Ahorro de pago de tasa de vertedero	252	tn	45000	Gs/ton	11.340.000
Diferencia combustible Chaco'i versus Tarumandy (6 km)	504	km	1600	Gs/km	806.400
Total Ingresos Indirectos					12.146.400
TOTAL INGRESOS					22.346.400
TOTAL INGRESOS directos menos EGRESOS (Beneficio real)	- 3.807.825				
TOTAL INGRESOS menos EGRESOS (Beneficio total)	8.338.575				

Los ingresos mensuales por venta del compost al precio de venta al público en el departamento Central, de 10.000 Gs por bolsa de 5 kilos, determina que con los ingresos directos, no se cubre el costo de producción.

Se deben considerar beneficios indirectos, como por ejemplo, la reducción a un 30% del volumen del vertedero si la basura se enterrara sin compostar, el costo de disposición final en vertedero, la disminución de la contaminación causada por el vertedero en suelos y aguas, la disminución de la producción de lixiviados en el vertedero, para que existan beneficios en la producción de compost.

En Europa, las leyes vigentes establecen multas para los municipios que no realizan tareas de reciclaje, compostaje, recuperación térmica u alguna otra forma de reducción de volumen y

contaminación generada por vertederos de residuos, por lo que para los municipios es más rentable reciclar y compostar que pagar las multas.

Conclusiones del análisis de factibilidad económico

- La tarea que más tiempo lleva es la de separación de materiales compostables y no compostables. El mismo caso se dará si se compostan residuos sólidos urbanos, dado que hay que abrir las bolsas, separar los materiales no compostables y volver a disponer los materiales no compostables para ser enviados a un centro de reciclado (si son reciclables) o a vertedero.
- El servicio de compostaje no es rentable por si mismo, si no se considera la tasa de disposición final en vertedero, los beneficios de reducción del volumen en vertedero o reducción de la contaminación ambiental generada por la disposición de residuos que no han sido ni reciclados ni compostados.
- Las posibilidades de vender grandes cantidades de compost en bolsas a 10.000 Gs/bolsa (precio al público) son reducidas.
- Al vender compost a revendedores, (viveros, ventas de productos agrícolas, etc.) el precio debe ser menor, con lo cual el análisis económico será más desfavorable.
- La producción de compost compite con la venta de mantillo natural que se extrae de los montes naturales. En este caso, los únicos costos que tienen los vendedores de mantillo son los de recolección, transporte y embolsado, que representan un 10% como máximo del tiempo necesario para producir compost y por lo tanto, un costo similar, es decir, que los vendedores de mantillo tienen un costo máximo de 1.000 Gs por la recolección, transporte y embolsado, más el costo de la bolsa que utilicen. En estas condiciones, es difícil competir. Sin embargo, debe observarse que la explotación de mantillo natural va en detrimento de los bosques naturales, por lo cual esta actividad debería estar prohibida y controlada.
- Se puede vender compost por camionadas, con lo cual una camionada de 4 m³ (con una densidad aparente húmeda de 0,3 tn/m³, se tiene 4 m³ * 0,3 Tn/m³ = 1,2 tn) equivale a 240 bolsas, o sea 2.400.000 Gs menos el precio de las 240 bolsas, (240.000 Gs a 1.000 Gs la bolsa), se debería vender a 2.160.000 Gs lo que a priori parece demasiado.
- Si se transfieren los costos de construcción y equipamiento del centro de compostaje, se tiene que se debería cobrar a los usuarios (suponiendo 2.500 usuarios en una ciudad de 10.000 habitantes) 122.196 Gs, y 5.618 Gs por mes por los costos de operación del centro de compostaje.

Tabla 4 costos de construcción y equipamiento

Concepto	Unidad	Cant	Precio unit	Precio total	Precio total
Constr. Infraestr.	gl	1	Gs 186.200.000	Gs 186.200.000	\$ 41.377,78
Equipamiento	gl	1	Gs 113.290.000	Gs 113.290.000	\$ 25.175,56
Herramientas	gl	1	Gs 5.000.000	Gs 5.000.000	\$ 1.111,11
Elem. Seguridad	gl	1	Gs 1.000.000	Gs 1.000.000	\$ 222,22
TOTAL				Gs 305.490.000	\$ 67.886,67
TOTAL por usuario, suponiendo		2500	usuarios	Gs 122.196	\$ 27,15
TOTAL ANUAL por usuario para 10 años de vida util				Gs 12.220	\$ 2,72

Tabla 5 costos de operación mensual para 6500 kg/día (ciudad de 10.000 habitantes)

Concepto	Unidad	Cant	Precio unit	Precio total	Precio total
Amort. Equipos	mes	1	Gs 944.083	Gs 944.083	\$ 171,65
Salarios	mes	5	Gs 2.000.000	Gs 10.000.000	\$ 1.818,18
Servicios y mant	mes	1	Gs 700.000	Gs 700.000	\$ 127,27
Transp. Residuos	mes	4	Gs 600.000	Gs 2.400.000	\$ 436,36
TOTAL	mes			Gs 14.044.083	\$ 2.553,47
TOTAL por usuario, suponiendo		2500	usuarios	Gs 5.618	\$ 1,02
TOTAL ANUAL por usuario				Gs 67.412	\$ 12,26

Estos valores pueden reducirse para usuarios domiciliarios si se transfiere una mayor proporción a grandes usuarios (Supermercados, mercados, instituciones, comercios, etc).

Normativa aplicable:

Del análisis de diversas normas (española, mexicana, chilena), se observan los siguientes criterios recurrentes:

- Clasificación en diferentes niveles de calidad
- Determinadas **características físicas**: humedad, pH, conductividad eléctrica, granulometría, contenido de impurezas, etc.
- Determinadas **características químicas**: relación carbono nitrógeno, contenido de metales pesados,
- Determinadas características microbiológicas: contenido de coliformes fecales, salmonellas, huevos de helmintos
- Cada norma tiene relacionados métodos de ensayo a ser aplicados. Los métodos establecidos por las diferentes normas no siempre permiten la comparación de los resultados obtenidos.

Es necesario formular una norma paraguaya que establezca:

- Requerimientos mínimos para la producción de compost
- y
- Especificaciones mínimas de calidad del compost

1. Introducción general al compostaje

1.1 Antecedentes

Desde que la agricultura se inventó, hace cerca de 5.000 años, los campesinos aseguraron la fertilidad de sus campos mediante materiales orgánicos descompuestos de los residuos animales y vegetales de sus granjas.

Esta técnica estaba basada en lo que ocurría en la Naturaleza sin la ayuda del ser humano, donde la materia orgánica de plantas y animales, se mezcla en el suelo, descomponiéndose y aportando sus nutrientes a la tierra de la que se alimentan de nuevo las plantas.

Después de la II Guerra Mundial, esta práctica fue abandonada en los países desarrollados siendo sustituida por fertilizantes químicos, producidos a bajo coste a partir de la energía derivada del petróleo.



Pero hace 10 o 15 años se observó un gradual pero constante descenso en la fertilidad de los campos, debido a que la carencia de materia orgánica en los suelos ha alterado el ciclo natural, haciendo desaparecer los organismos conocidos como descomponedores, encargados de fabricar humus. (MMAMRM, 2008). Además los suelos se desestructuran porque no hay aportes de fibras, produciéndose compactación severa que dificulta la absorción y permite la escorrentía del agua en un alto porcentaje.

1.2 Importancia de la Materia orgánica en el suelo

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

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

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

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

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

Este proceso de humificación ocurre tanto en el suelo como en una pila de compostaje: la materia orgánica compuesta por azúcares complejos (lignina, celulosa, hemicelulosa, almidón, presentes en los residuos vegetales especialmente) y proteínas (presentes en los residuos animales especialmente), es atacada por microorganismos, quienes la descomponen para formar más microorganismos. En esta transformación, se genera también biomasa, calor, agua, y materia orgánica más descompuesta.

La aplicación de materia orgánica en suelos debe ser una práctica permanente, pensando no solamente en incrementar el porcentaje de materia orgánica o en alimentar a los microorganismos del suelo, sino también en los diversos beneficios que aporta al suelo:

Mejora las propiedades físicas:

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

Mejora las propiedades químicas:

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

Mejora la actividad biológica:

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

La materia orgánica puede ser aplicada al suelo en las siguientes formas:

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

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

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

Las sustancias húmicas que hacen parte de la materia orgánica se forman por degradación química y biológica de los residuos vegetales y animales, y por actividades de síntesis llevadas a cabo por microorganismos del suelo (FAO, 2013).

1.3 El compost

El segundo borrador sobre residuos Biodegradables, UE, 12/2/2001, define el compost como un material estable, higienizado y semejante al humus, rico en materia orgánica y sin olores desagradables, resultante del proceso de compostaje de bio-residuos recogidos selectivamente.

Vemos que en el suelo, el proceso de humificación no es un proceso de compostaje, pues el proceso puede darse en condiciones aeróbicas o anaeróbicas (como los cultivos de arroz bajo inundación), y no se presentan las fases características de calentamiento (o termófila o de higienización). Esto quiere decir que los microorganismos que estén presentes, por ejemplo en el estiércol vacuno (al ser aplicado fresco a campo o al dejar el mojón sin remover) quedan los huevos y quistes de parásitos.

1.4 Beneficios del compost

Obtención de abono orgánico (compost) que permita el mantenimiento de la fertilidad de los suelos, la producción de cultivos de calidad y la conservación del entorno.

■ Conseguiremos cultivos de mejor calidad: los tomates serán mejores...

- Producir materiales alternativos a los sustratos tradicionales, utilizados en horticultura y jardinería, en particular reemplazar el uso de mantillo que se extrae sin control de bosques, dañando el proceso natural de aporte de materia orgánica en los mismos.

- Reducción del volumen de la materia original (residuos): reducción de masa y volumen, debido a la reducción del contenido de agua y a la pérdida de materia seca, principalmente en forma de CO₂. Para residuos sólidos urbanos, esta reducción se estima en un 30%.

■ Cada una de estas pilas proviene de seis (6) camiones de poda

- Facilitar la gestión de los residuos orgánicos procedentes de distintas actividades, reduciendo su peso y volumen, a la vez que estabilizarlos y generar un producto útil.

Si estas pilas no van a vertedero, el vertedero:

- durará un poco más,
- costará menos en mantenimiento (desgasificación),
- contaminará menos (lixiviados),



- Higienización de la materia orgánica: se consigue la destrucción o reducción de los microorganismos patógenos y la inhibición de la capacidad germinativa de las semillas presentes en los residuos.

- Fertilización: el compost contiene elementos fertilizantes para las plantas, aunque en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis. Una de las mayores ventajas del uso de compost como aporte de materia orgánica es que en él se encuentran presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, útiles para la nutrición de las plantas.

1.5 Materiales compostables (FAO, 2013).

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

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

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

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

Un aspecto importante aquí es la mezcla de material para alcanzar una relación relación C/N adecuada. (Más adelante se indican valores adecuados a conseguir). Según la Universidad de Cornell (Cornell,2018), la fórmula a seguir es:

$$R = \frac{Q_1 \times (C_1 \times (100 - M_1)) + Q_2 \times (C_2 \times (100 - M_2)) + Q_3 \times (C_3 \times (100 - M_3)) + \dots}{Q_1 \times (N_1 \times (100 - M_1)) + Q_2 \times (N_2 \times (100 - M_2)) + Q_3 \times (N_3 \times (100 - M_3)) + \dots}$$

Donde R = relación C/N

Q_n = masa del material n (peso húmedo)

C_n = carbono (%)

N_n = nitrógeno (%)

M_n = contenido de humedad (%) del material n

Para una cantidad Q₁ (ejemplo: paja), se debe calcular qué cantidad de Q₂ necesito (ejemplo: estiércol). Esto puede estimarse de la siguiente manera:

$$Q_2 = \frac{Q_1 \times N_1 \times (R - C_1/N_1) \times (100 - M_1)}{N_2 \times (C_2/N_2 - R) \times (100 - M_2)}$$

Existe una calculadora on line para tres materiales (Cornell, 2018) en <http://compost.css.cornell.edu/calc/2.html>

Tabla 1-1 Relación C: N de algunos materiales usados en compostaje

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

1.6 Sistemas de obtención de compost (UPM e ICA, 2005)

La obtención de compost por fermentación aerobia de los residuos sólidos urbanos consta de tres fases:

- iv. Recepción de los residuos orgánicos, separación y reducción del tamaño. El material a compostar se pica manual o mecánicamente de preferencia en fragmentos de 10-15 cm.
- v. Fermentación de los residuos orgánicos
- vi. Proceso de afinado o afino mediante su cribado o cernido en zarandas. La porción fina es el compost. Digestión anaerobia en reactores de flujo continuo cuyo contenido se mezcla completamente.

1.6.1 Sistemas abiertos

Estos sistemas, son los sistemas tradicionales de compostaje. El material a compostar se dispone en montones o pilas que pueden estar al aire libre o bajo techo. La aireación de las pilas que se van fermentando puede hacerse por volteo de la pila o mediante ventilación forzada. Son los más usados en América. Se toma normalmente como unidad de tiempo la semana para amontonar material en una misma pila, antes que empiece la fase termofílica o de higienización, y así evitar la re-contaminación del material con material fresco.

1.6.1.1 Pilas estáticas

Es el sistema más antiguo que se conoce. Se realiza en pilas de 1,5 metros de altura, con una base de 2,5 a 3 metros, de la longitud deseada y de frente triangular, con lados en pendiente para permitir el escurrimiento de la lluvia. La ventilación es natural a través de los espacios de la masa a compostar. Este sistema no permite el control ni de la aireación ni del contenido de humedad de la pila.

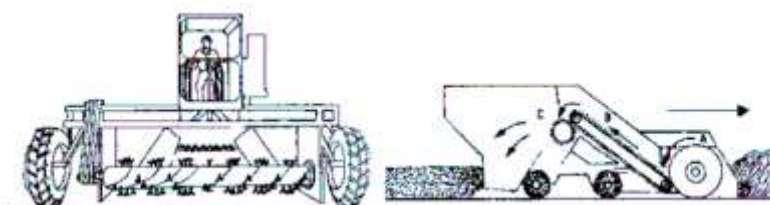
1.6.1.2 Pilas con volteo

En este caso, las pilas se voltean manualmente o mecánicamente y en ocasión del volteo se riegan para mantener la humedad óptima para que ocurra la fermentación.



Alumnos del Colegio. Técnico. Agropecuario. Don Fabián Cáceres de Tarumandy volteando y regando una pila de compostaje

Volteo de pila con pala cargadora



Maquina volteadora

Ilustración 1-1 Maquinarias y herramientas para volteo de pilas

1.6.1.3 Pilas con aireación forzada

En este caso, las pilas son estáticas y al formarlas se ha dispuesto un sistema mecánico de ventilación mediante tuberías perforadas o por canales en el suelo.



Las tuberías se conectan con un ventilador que asegura la entrada de oxígeno y la salida de CO₂. Esta ventilación se puede hacer por sistemas de inyección o succión de aire, o por sistemas que pueden alternar succión e inyección de aire. Con la aireación forzada se puede controlar la temperatura que permite obtener dos ventajas:



- i. El control de temperatura es bueno durante un tiempo inicial, para lograr la reducción de patógenos, pero también inhibe la población microbiana, por lo que si es posible se debe evitar periodos prolongados con alta temperatura
- ii. Ocasiona evaporación, con lo cual se obtiene un producto de baja humedad, que es más estable.

1.6.2 Sistemas cerrados

Son sistemas de tipo industrial, sometidos a patentes y marcas, en los cuales la fase inicial de la fermentación se realiza en reactores horizontales o verticales, mientras que la fase final de maduración se realiza al aire libre o bajo techo. Estos sistemas son desarrollados para reducir considerablemente las superficies de compostaje y lograr un mejor control de los parámetros de fermentación y control de olores. Son los más usados en Europa.

1.7 Proceso de compostaje (FAO,2013)

1.7.1 Fases del compostaje

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

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

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

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

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

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

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

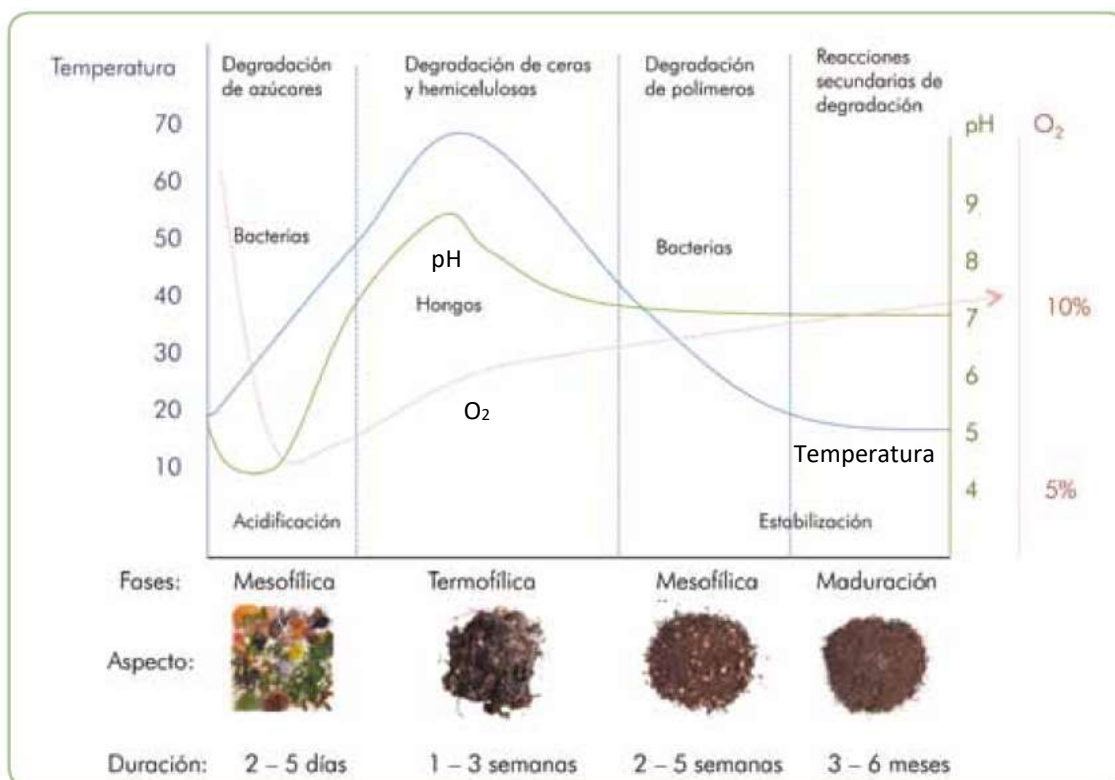


Ilustración 1-2 Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje Fuente: P. Roman, (FAO, 2013)

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

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

1.7.2 Monitoreo durante el compostaje

Ya que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen

- La aireación,
- La humedad
- La temperatura,
- El pH y
- La relación C:N.

Externamente, el proceso de compostaje dependerá en gran medida de las condiciones ambientales, el método utilizado, las materias primas empleadas, y otros elementos, por lo que algunos parámetros pueden variar. No obstante, éstos deben estar bajo vigilancia constante

para que siempre estén siempre dentro de un rango óptimo. A continuación se señalan los parámetros y sus rangos óptimos.

Aireación

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica

Si el proceso de fermentación es aerobio, es fundamental garantizar la llegada de oxígeno a todos los microorganismos para permitir que los mismos respiren, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO_2) a la atmósfera.

Unas condiciones aerobias adecuadas evitan la generación de malos olores, y también evita que el material se compacte o se encharque. La aireación puede lograrse de forma natural, por volteos, o por aireación artificial.

Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos.

Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H_2S) o metano (CH_4) en exceso.

Humedad

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

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje

Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable.

Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material y no permitirá la elevación de la temperatura

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

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

Una manera sencilla de monitorear la humedad del compost, es aplicar la “técnica del puño”, que consiste en introducir la mano en la pila, sacar un puñado de material y abrir la mano. El material debe quedar apelmazado pero sin escurrir agua. Si corre agua, se debe voltear y/o

añadir material secante (aserrín o paja). Si el material queda suelto en la mano, entonces se debe añadir agua y/o añadir material fresco (restos de hortalizas o césped).

Temperatura

La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso. El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente.

Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización.

Para un compostaje aerobio es conveniente mantener, en los tres primeros días una temperatura entre los 50 y los 55 °C, y posteriormente entre los 55 y los 60°C. Para la eliminación de microorganismos patógenos, semillas y de hierbas debe mantenerse, al menos durante un día, una temperatura superior a los 60°C.

1

Debe considerarse que un volteo puede hacer descender la temperatura de una pila de residuos entre 15'6 y 40°C.

En una aireación forzada puede incorporarse aire caliente para mantener o elevar la temperatura.

pH

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

El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0- 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2.

Relación Carbono-Nitrógeno (C:N)

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

Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1.

Tabla 1-2 Parámetros del compostaje

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2 a 5 días)	Rango ideal para compost en fase termófila II (2 a 5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3 a 6 meses)
C:N	25:1 - 35:1	15/20	10:1 - 15:1
Humedad	50% - 60%	45% - 55%	30% - 40%
Concentración de Oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~ 15 cm	< 1,6 cm

pH	6,5 – 8,0	6,0 - 8,5	6,5 - 8,5
Temperatura	45°C	45°C - Temperatura ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250 – 400 kg/m ³	< 700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica (base seca)	50% - 70%	>20%	>20%
Nitrógeno total (base seca)	2,5% - 3%	1% - 2%	~1%

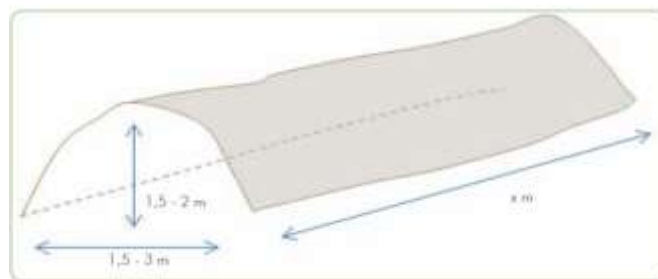
Tamaño de partícula

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, esto es, con la de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie específica, lo cual facilita el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm.

La densidad del material, y por lo tanto la aireación de la pila o la retención de humedad, están estrechamente relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 -250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600-700 kg/m³.

Tamaño de la pila

El tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Normalmente, se hacen pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo.



1.7.3 Problemas que pueden generar el compost

- **Fitotoxicidad.** En un material que no haya terminado el proceso de compostaje correctamente, el nitrógeno está más en forma de amonio en lugar de nitrato. El amonio en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta y dando lugar a malos olores. Igualmente, un material sin terminar de compostar contiene compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para las semillas y plantas.

- **Bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como "hambre de nitrógeno".** Ocurre en materiales que no han llegado a una relación Carbono / Nitrógeno equilibrada, y que tienen material mucho más rico en carbono que en nitrógeno. Cuando se aplica al suelo, los microorganismos consumen el C presente en el material, y rápidamente incrementan el consumo de N, agotando las reservas de N en el suelo.

- **Reducción de oxígeno radicular.** Cuando se aplica al suelo un material que aún está en fase de descomposición, los microorganismos utilizarán el oxígeno presente en el suelo para continuar con el proceso, agotándolo y no dejándolo disponible para las plantas.

- **Exceso de amonio y nitratos en las plantas y contaminación de fuentes de agua.** Un material con exceso de nitrógeno en forma de amonio, tiende a perderlo por infiltración en el suelo o volatilización y contribuye a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Igualmente, puede ser extraído por las plantas del cultivo, generando una acumulación excesiva de nitratos, con consecuencias negativas sobre la calidad del fruto (ablandamiento, bajo tiempo postcosecha) y la salud humana (sobre todo en las hortalizas de hoja).

Generación de Dióxido de Carbono (CO₂): Como en todo proceso aerobio o aeróbico, ya sea en el compostaje o aun en la respiración humana, el oxígeno sirve para transformar (oxidar) el C presente en las materias primas (substrato o alimentos) en combustible. A través del proceso de oxidación, el C se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de carbono (CO₂), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis. Sin embargo, el CO₂ también es un gas de efecto invernadero, es decir, contribuye al cambio climático.

Durante el compostaje, el CO₂ se libera por acción de la respiración de los microorganismos y, por tanto, la concentración varía con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kilos de CO₂ por cada tonelada, diariamente. El CO₂ producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, por cuanto es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis.

1.8 Fertilización (FAO, 2013)

Se recomienda, antes de hacer aplicaciones tanto de compost o materia orgánica, como de fertilizantes minerales, realizar un análisis de suelo para controlar los niveles de nutrientes y ajustar la fertilización en función de la liberación que se produzca y de las necesidades del cultivo.

Los nutrientes necesarios para el crecimiento de la planta provienen del aire, del agua y del suelo, siendo la solución del suelo el medio de transporte de los nutrientes.

Los nutrientes en el suelo, se dividen en macro- y micro- nutrientes, en función de las cantidades que la planta necesite.

Macronutrientes: Los macronutrientes primarios son Nitrógeno, Fósforo y Potasio, y los secundarios son Magnesio, Azufre y Calcio.

Micronutrientes: Los micronutrientes son requeridos en cantidades muy pequeñas, pero generalmente son importantes para el metabolismo vegetal y animal. Estos son el hierro, el zinc, el manganeso, el boro, el cobre, el molibdeno y el cloro.

El Nitrógeno, N (1%-4% del extracto seco de la planta) es el motor del crecimiento de la planta ya que está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas. Un buen aporte de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes.

El Fósforo, P (0,1% - 0,4% del extracto seco de la planta) juega un papel importante en la transferencia de energía, por lo que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde el pH limita su disponibilidad, favoreciendo la fijación.

El Potasio, K (1%-4% del extracto seco de la planta) juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas, y por ende en la estructura de la planta. El potasio mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades.

El contenido en nutrientes del compost tiene una gran variabilidad, ya que depende de los materiales de origen:

Tabla 1-3 Contenido de N, P, K en el compost

Nutriente	% en compost
Nitrógeno	0,3% – 1,5% (3g a 15g por Kg de compost)
Fósforo	0,1% – 1,0% (1g a 10g por Kg de compost)
Potasio	0,3% – 1,0% (3g a 10g por Kg de compost)

Tabla 1-4 Comparaciones del costo del compost y del abono químico: (FAO, 2013)

Fertilizante	Costo 1 tn	Nutrientes kg/tn		
Fertilizante	USD	N	P	K
Compost	52	14,7	5,3	4,6
Urea	400	450		
Superfosfato	300		38	
CIK	450			600

(*) de acuerdo al contenido promedio según análisis

Costo unitario de nutrientes				
	Compost	Urea	Superfosfato	CIK
	USD/kg	USD/kg	USD/kg	USD/kg
N	3,54	0,89		
P	9,81		7,89	
K	11,30			0,75
TOTAL	24,65		9,53	

La fertilización con compost es 2,5 veces más cara que la incorporación del mismo contenido de macronutrientes con abono químico. Sin embargo, la aplicación de compost en los ensayos de cultivos es más beneficiosa, dado que también aporta micronutrientes y materia orgánica al suelo.

2 Experiencia de producción de compost en Luque

2.1 Planta de compostaje

La planta piloto de compostaje de la Municipalidad de Luque se encuentra en el predio del Colegio Técnico Agropecuario Don Fabián Cáceres de la Compañía Tarumandy de Luque.

La misma fue construida en el marco del proyecto “Sistema de Reciclado de Residuos Sólidos Urbanos para una ciudad de Luque más saludable” ejecutado por la Municipalidad de Luque y cofinanciado por la Unión Europea mediante contrato de subvención DCI-NSAPVD/2012/307-069

Fue inaugurada el 24 de julio de 2015. Está conformada por un tinglado de 18m x 6m., una rampa de acceso y una tolva de recepción de materiales, una cinta transportadora manual, una mesa de segregación, una trituradora, carretillas para transporte del material hasta el patio de compostaje y un tamiz rotativo ortogonal alimentada por un tornillo de Arquímedes para el afino del mismo una vez terminada la fermentación.

La **rampa de acceso** permite que un camión pueda descargar el material a ser compostado directamente a la tolva.

La **cinta transportadora manual** permite recoger el material de la parte inferior de la tolva y llevarlo a la mesa de segregación

La **mesa de segregación** se utiliza para abrir las bolsas de residuos, separar los residuos compostables de los no compostables, eliminar elementos que podrían dañar la trituradora.

La **trituradora** permite la reducción del tamaño, que influye en la velocidad de fermentación, en la aireación y el contenido de humedad de la pila.

El **patio de compostaje** es donde se arman las pilas para la fermentación del material.

El **tamiz rotativo ortogonal** se utiliza para tareas de afino del compost: cuando una pila está terminada (porque ya no desarrolla temperatura), se tamiza y los materiales de mayor tamaño del permitido por normas que no fueron fermentados se trituran nuevamente y se retornan a otra pila para su fermentación. El tornillo de Arquímedes permite la elevación del material a la zaranda.



Rampa de acceso y tinglado



Tolva, cinta transportadora manual y mesa de segregación



Trituradora con elevador para carga



Cinta transportadora manual y mesa de segregación



Patio de compostaje



Tornillo de Arquímedes y Tamiz rotativo ortogonal

Ilustración 2-1 Fotografías Inauguración Centro Piloto de Compostaje Municipalidad de Luque Julio 2015

2.2 Costos de construcción

De acuerdo a los costos de construcción resultantes de la licitación pública convocada por la Municipalidad de Luque en diciembre de 2013 y la cotización del dólar según la Secretaría de Tributación (SET, 2018) los costos de construcción en guaraníes y dólares fueron:

Tabla 2-1 Costo de infraestructura centro de compostaje 3250 kg/día (5000 habitantes)

Concepto	Unidad	Cant	Precio unit	Precio total	Precio total
----------	--------	------	-------------	--------------	--------------

Tinglado	m2	108	Gs 150.000	Gs 16.200.000	\$ 3.600,00
Rampa, Tolva, Cerramientos perimetrales, Instalación eléctrica y sanitaria, carpintería metálica, piso alisado	gl	1	Gs 170.000.000	Gs 170.000.000	\$ 37.777,78
				Gs 186.200.000	\$ 41.377,78

2.3 Equipamiento

De acuerdo a los costos de construcción resultantes de la licitación pública convocada por la Municipalidad de Luque en diciembre de 2013 y la cotización del dólar según la Secretaria de Tributación (SET, 2018) los costos de construcción en guaraníes y dólares fueron:

Tabla 2-2 Costos de construcción

Concepto	Unidad	Cant	Precio unit	Precio total Gs	Precio total \$
Mesa segregación	un	1	Gs 19.300.000	Gs 19.300.000	\$ 4.288,89
Triturador	un	1	Gs 58.960.000	Gs 58.960.000	\$ 13.102,22
Tamiz rotativo	un	1	Gs 32.480.000	Gs 32.480.000	\$ 7.217,78
Carretillas	un	3	Gs 850.000	Gs 2.550.000	\$ 566,67
				Gs 113.290.000	\$ 25.175,56

2.4 Obtención de materiales compostables

La obtención de materiales compostables en el caso de servicios municipales es proveniente de la recogida de residuos.

Esta recogida se puede hacer de dos formas:

- Unificada: un único camión (tumba o compactador) recoge los residuos sin que estos sean separados en origen (casas y comercios)
- Selectiva:
 - un camión especial realiza un circuito de recogida de materiales reciclables (papel, cartón, plásticos, vidrio, metales), o la recogida de los materiales reciclables se organiza mediante carriteros. Para ello, se debe realizar una campaña de separación de los residuos en origen.
 - Otro camión recoge los residuos orgánicos (restos de cocina, servilletas, pañuelos de papel, papel higiénico, papel y cartón, césped o pasto cortado)
 - Otro camión recoge los restos de poda de árboles en la vía pública.

ES IMPORTANTE ESTABLECER UN SERVICIO DE RECOGIDA EFICIENTE CON HORARIOS CONOCIDOS POR LA COMUNIDAD.

Si se opta por un sistema de recogida selectivo, ya sea mediante camión o carriteros, debe ser un Servicio que llegue a toda la comunidad, con horarios establecidos y que logre la retirada de TODO el material separado por la comunidad en casas, comercios e instituciones. No debe circunscribirse solo a la zona comercial, o a ciertos barrios. Como se solicita la participación de la comunidad con la separación en sus hogares y puestos de trabajo, se debe respetar y

valorizar su aporte a la mejoría del sistema de recolección de residuos, con especial énfasis en el trabajo de las mujeres.

En el caso de la ciudad de Luque, la recolección de residuos sólidos municipales esta tercerizada a una empresa privada, por lo cual se decidió que se llevaría al Centro Piloto de Compostaje restos de poda y restos de frutas y verduras del mercado municipal.

En la práctica, solo se llevó en cantidades significativas todo el producto de la poda de árboles de la vía pública, limpieza de predios baldíos y plazas.

2.5 Procesamiento

Recepción y descarga

Los camiones tumba (o volquete) de 14 m³ de la Municipalidad de Luque transportan aproximadamente 3 (tres) toneladas de residuos de poda, que muchas veces son acompañados con cierta cantidad de residuos sólidos urbanos.

Se debe proceder primero a la separación de residuos compostables y no compostables (residuos no orgánicos como plásticos, metales, papeles y cartones impresos a color, ramas que no pueden ser troceadas por el molino, etc.

Se observan dos clases de cargas:

- a) Las cargas de limpiezas de predios y plazas, que contienen una gran cantidad (en promedio 30%) de residuos no compostables
- b) Las cargas de poda que a su vez se pueden clasificar en:
 - a. Podas de especies compostables
 - b. Podas de especies no compostables, como Taji (muy dura) o secas (no son molinables)

Las cargas de poda constituyen un 60% de las cargas recibidas, y las de limpieza un 40%

El porcentaje final de material compostable, quitando las ramas secas, duras o muy grandes para el molino es un 50% del total transportado al centro.

Las ramas no molinables se usan para trocear y vender como leña por metro cubico. En consecuencia, del 100 % recibido, se tiene:

- 50% de material compostable
- 10% de leña
- 30% de ramas que o no pueden molinarse o no se pueden vender como leña
- 10% de residuos no compostables

Un viaje promedio			
	Volumen m ³	Peso toneladas	Composición %
TOTAL	14	3	100%
Material compostable	7	1,5	50%
Leña	1,4	0,3	10%
Ramas no molinables	4,2	0,9	30%
Basura	1,4	0,3	10%



Descarga del camión



Materiales no compostables

Separación y preparación de leña

Los dos operarios proceden a la separación de los residuos molinables y no molinables. Los restos de poda más gruesos se venden como leña por metro cubico, para ello se cortan en una longitud de 1 metro y se acomodan en pilas de un metro de alto, por lo que cada metro de pila tiene un metro cubico de leña. Esta actividad les toma entre una y dos horas (3 horas hombre en promedio).

Se utilizan guantes, machete, rastrillo, bolsas plásticas de residuos. Para la preparación de la leña, se utiliza una motosierra que requiere cambio de cadena cada 2 meses por un costo de 110. 000 Gs. y combustible o un electro sierra, que también necesita de cambio de cadena.

Los residuos no compostables y las ramas que no pueden ser molidas y no se pueden vender como leña deben ser retirados del predio, pues se acumulan y en la actualidad se queman, lo cual no es correcto ambientalmente. La ceniza se agrega al compost.

Tarea 1:	Separación de no compostables y preparación de leña para la venta
Herramientas:	Guantes, machete, motosierra, rastrillo, bolsas descartables
3	Horas hombre por carga promedio recibida





Separación de materiales no compostables



Leña preparada para su venta



Pila de ramas no compostables que no pueden venderse como leña.

Transporte al Molino y Molido

Los residuos molinables se transportan mediante carga manual hasta la mesa de alimentación del molino. Se deben ir pasando por el molino, y luego se llevan en carretilla para el armado de las pilas

El tiempo que se demora en molinar es de dos operarios durante 3 horas.

Tarea 2:	Transporte del material compostable al molino y molido
Herramientas:	Guantes, rastrillo, Molino
1,5	Horas hombre por carga promedio recibida



Transporte de material compostable al molino



Transporte a la mesa de alimentación

Molido del material compostable



Molido del material compostable

Pila de material molido

Armado de pila

Las dimensiones de las pilas son de 3 metros de largo, 1.5 metros de ancho y 1 metro de altura. Para determinar el tamaño a alcanzar se usan 4 estacas marcadas en cada vértice de la pila que se arma.

Una pila está formada por el material compostable de 15 camionadas.

Se traslada el material compostable picado de una camionada hasta la pila, usando dos operarios durante 10 a 20 minutos. Los materiales utilizados son carretillas, y tridente.

Tarea 3:	Armado de pila
Herramientas:	Guantes, rastrillo, carretilla
0,25	Horas hombre por carga promedio recibida



Estacas para preparar la pila



Pilas terminadas.

Volteo

Las pilas deben voltearse y si es necesario regarse para homogenizar la temperatura y la humedad.

El tiempo para voltear y regar una pila entera es de 4 horas, se requiere de una persona para esta labor y se realiza cada 7 días el primer mes y luego cada 15 días.

Tarea 4:	Volteo y riego de pila
Herramientas:	Guantes, rastrillo, manguera
2	Horas hombre por pila

Afinado

Cuando pasa un cierto tiempo (entre tres y seis meses), que el compost al ser volteado ya no levanta temperatura, el compost de la pila es trasladado con carretilla para afinar, es decir, para eliminar el material de tamaño mayor a 1,5 cm, (en general trozos de ramas) mediante el uso de una zaranda giratoria.

En este proceso el 50 % es material fino, y el otro 50% partículas grandes que se vuelven a picar y se lleva a una nueva pila para terminar su compostaje.

El proceso de acarreo, afino, molido y vuelta a apilar lleva 6 horas a dos operarios.

Tarea 5:	Acarreo, afinado, remolido y re apilado
----------	---

Herramientas:	Guantes, rastrillo, pala, carretillas, zaranda giratoria, molino
12	Horas hombre por pila



Material terminado antes del afino

Zaranda giratoria para afino. En primer plano tornillo sinfín para alimentación de la zaranda



Material fino terminado

Material de rechazo a ser re-molido



Rechazo del afino molido

Pila de compost terminado.

Embolsado

El compost afinado, una vez verificado que no aumenta temperatura, se puede embolsar para la venta.

Se necesitan en promedio 14 cargas de material para una pila de compost terminado (aproximadamente 700 a 800 kilos). Es decir que cada carga recibida se convierte en 50 kilos de compost terminado. Una pila de 800 kg se debe embolsar en bolsas de 5 kg, es decir 160 bolsas, y son necesarios dos operarios 2 horas para embolsar, cerrar, transportar y almacenar las 160 bolsas en el centro de reciclado.

Tarea 6:	Embolsado
Herramientas:	Guantes, pala, embudo, carretilla, bolsas plásticas, presilladora
4	Horas hombre por pila



Embudo para llenar las bolsas



Llenado de bosas



Bolsas llenas



Bolsa cerrada

Seguimiento y administración

Se debe tomar diariamente la temperatura a todas las pilas, y cuando el material está listo, se debe verificar el contenido de humedad. Se deben registrar todos los datos relevados, y los datos de gastos y ventas. Se requiere una hora por día para medir la temperatura de todas las pilas (unas 12 pilas por día)

Tarea 7:	Seguimiento y administración
Herramientas:	Termómetro, pluviómetro, pH metro, higrómetro, balanza, picnómetro, computadora.
20	Horas hombre por mes



Toma de temperatura



Determinaciones físicas con alumnos de la escuela tecnica

Limpieza y desmalezado del predio

Cada 15 días se debe realizar una limpieza general del predio, cortando la maleza de los alrededores del patio de compostaje y alrededores.

2.6 Seguimiento analítico

Se realizaron análisis del compost obtenido, para determinar su composición química y evaluar su adecuación a las normas.

Se deben tener en cuenta dos etapas en la producción del compost de la planta.

- A) Hasta julio de 2016
- B) Posteriormente a julio de 2016

Hasta julio de 2016 se llevaba un máximo de 4 camiones por día para ser atendidos por los 2 operarios y el seguimiento del material se hacía en forma ordenada.

A partir de agosto de 2016 se discontinua el contrato con el encargado del centro, y se empieza a llevar más cantidad de restos de poda que lo que los dos operarios podían procesar. Se incorpora más personal con características inadecuadas que generan problemas disciplinarios con el personal original. Como resultado, las pilas ya no se voltean por falta de tiempo, con lo cual el proceso en las pilas se ralentiza.

Relación Carbono Nitrógeno:

Como resultado, se observa que a partir de julio las relaciones C/N suben, lo cual indica que el compost no llega a una relación Carbono / Nitrógeno equilibrada, y que tienen material mucho más rico en carbono que en nitrógeno, lo cual general el bloqueo biológico del nitrógeno, también conocido como “hambre de nitrógeno”. El compost producido en la segunda mitad del año cuando se aplique al suelo, producirá que los microorganismos consuman el C presente en el material, y rápidamente incrementen el consumo de N, agotando las reservas de N en el suelo, con lo cual el efecto de uso del compost será contraproducente.

Tabla 2-3 Seguimiento de condiciones meteorológicas y composición C/N durante un año

Mes de inicio	Nov-15	Dec-15	Jan-16	Feb-16	Mar-16	Apr-16	May-16	Jun-16	Jul-16	Aug-16	Sep-16	Oct-16	Nov-16	Dec-16	Jan-17	Feb-17	Mar-17
PERIODOS DE PRODUCCION DEL COMPOST																	
N	1,25	1,00	2,42	2,42	1,61	2,16	1,54	1,54	1,38	1,12	1,02	0,98	0,63				
C	33,89	38,98	46,88	48,52	49,17	42,08	45,45	51,25	46,26	47,16	52,38	43,36	42,13				
C/N	27,11	38,98	18,96	20,05	30,54	19,48	29,51	33,28	33,52	42,11	51,35	44,24	66,87				
Precip mm	175,01	405,90	224,79	316,49	93,20	148,34	85,35	2,53	21,33	31,75	28,95	181,61	123,18	168,91	170,44	127,25	69,09
Temp med °C	25,10	27,00	28,80	28,30	24,50	25,20	17,50	14,60	18,10	20,20	19,70	23,90	24,60	26,70	28,60	27,40	26,40
Humedad %	74,70	77,40	70,90	77,90	75,80	75,00	80,80	71,60	67,80	63,30	56,30	64,00	63,30	71,50	65,90	72,10	71,10

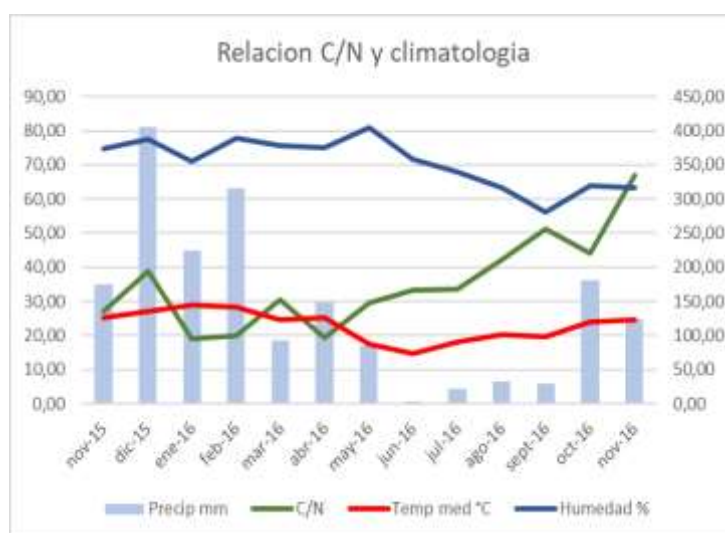


Ilustración 2-2 Relación C/N y condiciones meteorológicas

Tabla 2-4 Influencia del seguimiento de parámetros en la composición final del compost

	Promedio 6 meses Nov/ 15 a Abril/16	Promedio periodo mejor gestionado Nov 15 a Jul de 2016	Promedio 6 meses Mayo a Nov/16	Promedio periodo peor gestionado Agos a Nov de 2016
N	1,81	1,70	1,17	0,94
C	43,09	44,61	46,86	46,26
C/N	25,85	27,94	42,98	51,14

Conclusiones:

- La climatología no influye en la composición del compost.

- El volteo y el control de las condiciones de humedad y temperatura de las pilas es necesario y la falta de estas labores se refleja en composiciones desfavorables del compost.
- Se observó durante todo el proceso que no se alcanzaban las relaciones C/N recomendadas en la norma (C/N < 20).
- Como la composición del compost se conoce una vez finalizado el proceso, es decir, a los 6 meses de haberse iniciado una pila, no es posible saber si el proceso que se sigue es correcto, por lo que es importante llevar un control de los elementos que es factible medir a campo, (temperatura y humedad) y realizar los volteos y riegos necesarios para mantener estos parámetros en los rangos óptimos. La gestión más cuidadosa o más deficiente se ve reflejada en los resultados analíticos.

Determinaciones especiales:

A) En el mes de enero 2016, se comparó la relación C/N inicial y final

La bibliografía dice que la

- El material de poda tiene una relación C/N 47/1 inicial
- La relación C/N varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1.

Mes de inicio	Enero 2016 INICIAL	Enero 2016 FINAL
N	1,89	2,42
C	53,36	45,88
C/N	28,23	18,96

Los valores determinados dicen que la relación inicial era de 28,23 y que se redujo al final del proceso a 18,96. Casualmente, el compost producido en el mes de Enero de 2016 fue el único que dio resultados aceptables para las normas (C/N < 20)

Relación C/N de pilas con materiales diferenciados.

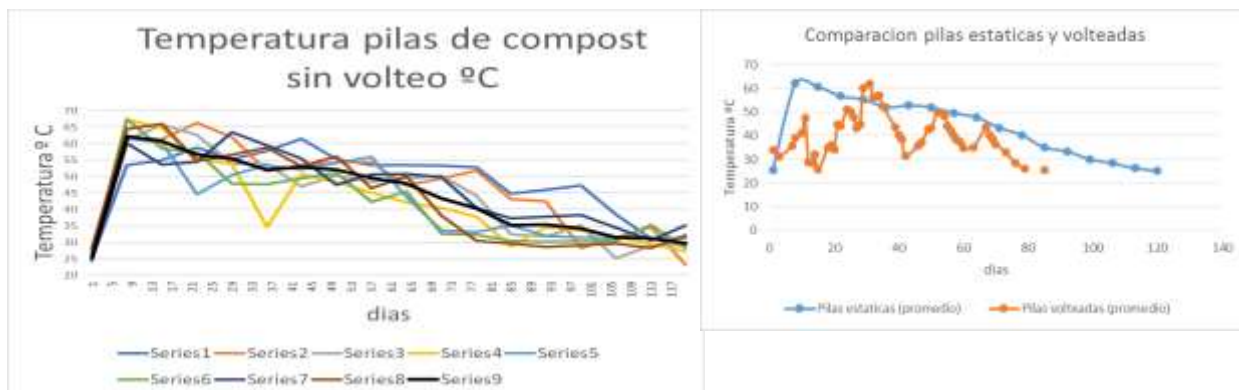
	Enero 2017 100% restos de choclo	Enero 2016 50% RS mercado 50% poda	Enero 2016 50% Estiercol 50% poda
N	1,56	0,98	0,81
C	39,44	23,56	19,47
C/N	25,28	24,04	24,04

Conclusiones:

El uso de materiales con diferente contenido de nitrógeno que el resto de poda (C/N 44:1) no se ve reflejado en los resultados obtenidos. Como son :

- Mazorca de maíz 117:1, Paja de maíz 312:1
- Estiércol vacuno 25:1
- Restos de hortalizas 37:1

Temperatura:



Las pilas estáticas tienen un proceso más largo, de 4 meses, y producen mayor rechazo en el proceso de la humedad tienen un periodo mas corto, de 3 meses afino.

Ilustración 2-3 Comportamiento de pilas estáticas y volteadas

Se observa que las pilas sin volteo, el periodo en el cual el proceso de fermentación del material es de 120 días, y en las pilas con volteo y riego, se reduce a 90 días

En ambos casos se llega a superar la temperatura de 60 °C durante más de un día, lo cual asegura la higienización del producto final.

Humedad

Las pilas sin volteo y sin riego, en dos semanas estaban con humedades inferiores al 30%, con lo cual el proceso de fermentación se detenía rápidamente.

Tabla 2-5 Macronutrientes y Micronutrientes

Componente	UNA						INTN	Referencia	
	Nov-15	Dec-15	Jan-16	Feb-16	RSU	Estiercol	Jul-16	Min	Max
N %	3,73	4,2	4,49	0,29	0,58	0,29	1,38	0,5	5
P %	0,05	1,66	0,31	0,8	0,11	0,25	0,37	0,08	1,5
Ca ⁺² %	1,05	2	1,24	1,65	3,85	0,3	3,85	0,05	2,5
Mg ⁺² %	0,28	0,24	0,2	0,4	0,08	0,14	0,3	0,02	1,5
K ⁺ %	0,16	0,57	0,4	1,33	0,15	0,17	1,07	0,2	10
Na ⁺ mg/kg	0,04	0	0,01	0,16	0,01	0,01		10	200
Cu mg/kg	22,68	2,34	11,5	24,54	2,34	2,34	15,36	10	30
Zn mg/kg	71,73	105,79	17,63	34,64	34,64	34,64	35,57	10	100
Fe mg/kg	1035,15	1677,38	402,06	441,04	1863,27	1242,18	900	20	1000
Mn mg/kg	562,50	551,63	352,64	142,86	70,1	280,41	800	20	1000

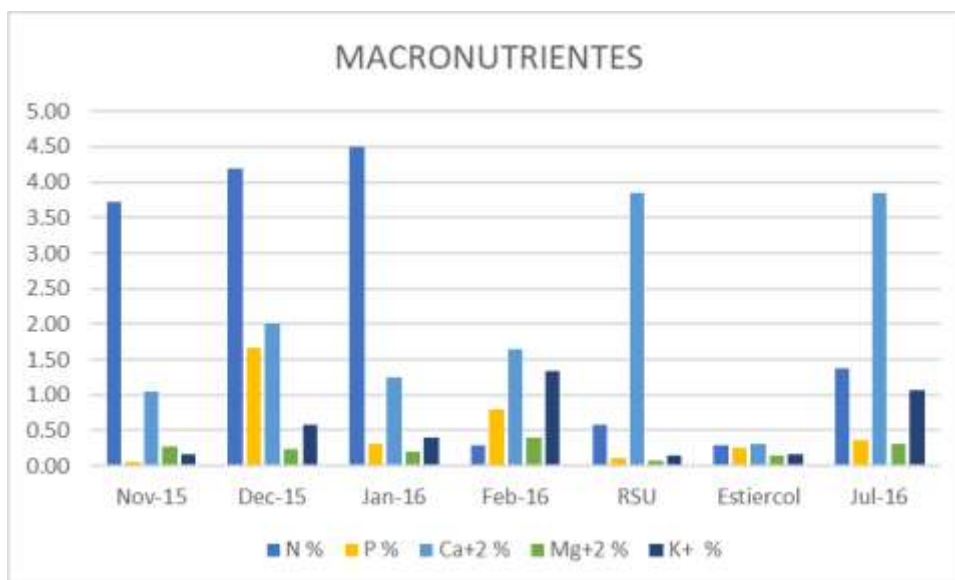


Ilustración 2-4 Contenido de Macronutrientes

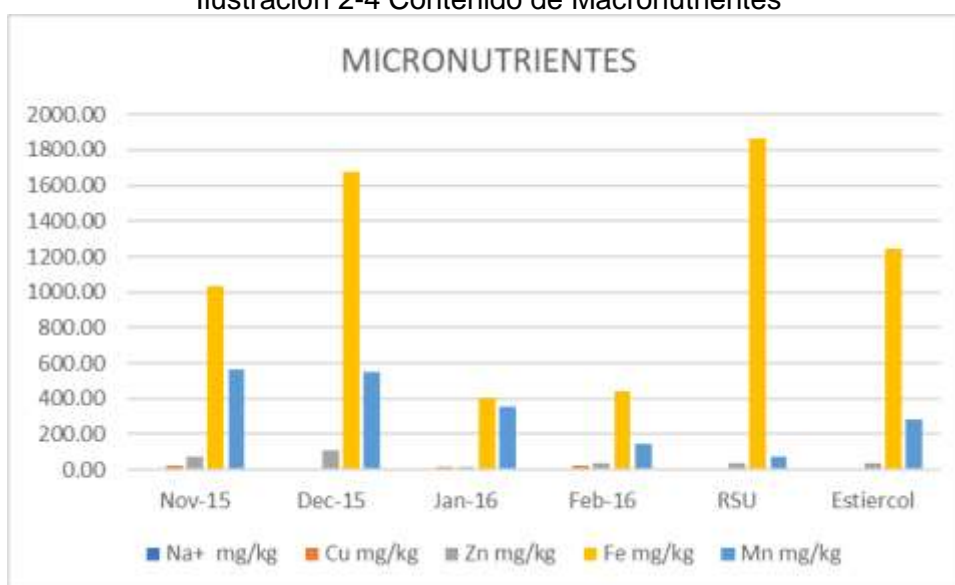


Ilustración 2-5 Contenido de micronutrientes

Tabla 2-6 Propiedades físicas del compost

	DETERMINACIONES A CAMPO					
	Nov-15	Dec-15	Jan-16	Feb-16	RSU	Estiercol
H%	58,80%	53,60%	60,40%	31,60%	40,80%	31,20%
Dap hum gr/cm3	0,36	0,33	0,32	0,15	0,39	0,56
Dap sec gr/cm3		0,28	0,25			
Dr gr/cm3	1,07	0,50	0,47	0,60	0,89	0,93
Ph	6,70	8,7	8,37	7,7	6,80	7,50

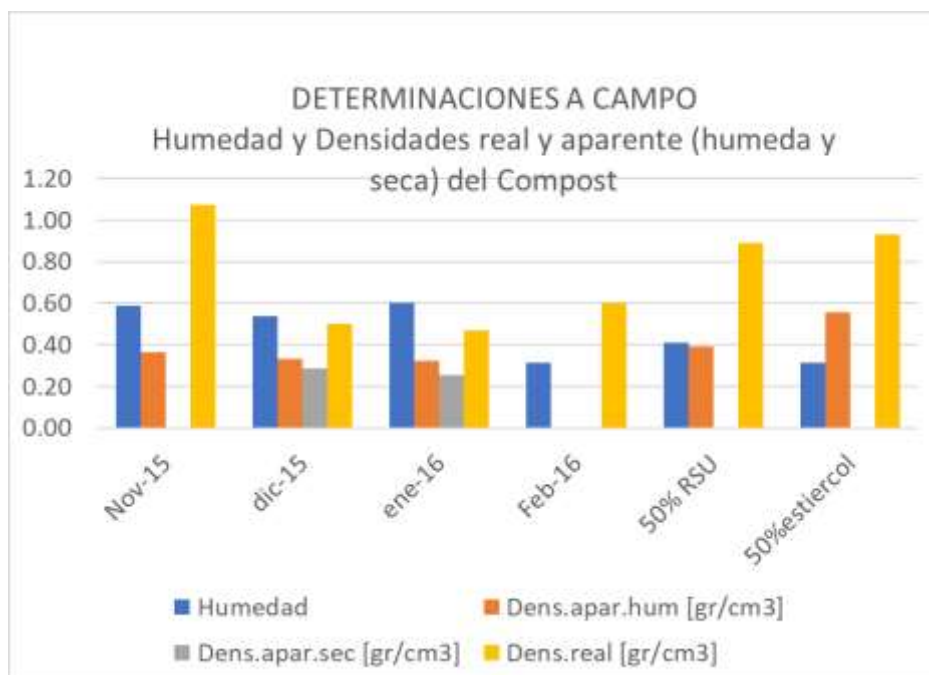


Ilustración 2-6 Propiedades físicas del compost

Humedad:

No es posible controlar la humedad del compost que está acopiado a la intemperie. En periodos lluviosos y en los días posteriores a una lluvia, la humedad es superior al 60%, y en periodos secos (julio) baja casi hasta 30%, lo cual implica un problema para adecuarse a la norma, que de momento no existe en Paraguay.

Esto indica que si las normas solicitan una humedad inferior en el producto terminado, lo cual es deseable por razones de estabilidad, se debe acopiar el compost terminado bajo techo, y buscar maneras de reducir su humedad para el embolsado. Las normas también limitan el contenido de humedad, por una cuestión de honestidad comercial, dado que si se vende el compost por kilo, (bolsa de 5 kg) o por volumen (la misma bolsa llena):

- Si la humedad es del 60%, 60% del peso es AGUA, se está vendiendo más agua que compost.
- Si la humedad es del 30%, se está vendiendo 70% de compost y 30% de agua.

Las densidades permiten tener una idea del peso del compost en dados volúmenes, para tareas de transporte como de venta. La densidad aparente húmeda (en condiciones de humedad tal como se encontraban en el patio de acopio) varía entre 0,3 a 0,5 g/cm³ o tn/m³

Esto indica que un camión de 4 m³ cargado de compost lleva un peso de 1,2 a 1,5 tn de compost.

Granulometría

Tabla 2-7 Granulometría

	Nov-15		Dec-15		Jan-16		Feb-16		RSU		Estiercol	
	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%
> 5 mm	174,00	10,55%	106,00	10,95%	252,00	27,27%	242,00	25,69%	98,00	10,08%	142	14,31%
3-5 mm	150,00	9,09%	228,00	23,55%	254,00	27,49%	234,00	24,84%	148,00	15,23%	158	15,93%
2-3 mm	66,00	4,00%	78,00	8,06%	96,00	10,39%	82,00	8,70%	70,00	7,20%	86	8,67%
1-2 mm	302,00	18,30%	154,00	15,91%	146,00	15,80%	96,00	10,19%	86,00	8,85%	124	12,50%
< 1 mm	958,00	58,06%	402,00	41,53%	176,00	19,05%	288,00	30,57%	570,00	58,64%	482	48,59%
Total	1650,00	100%	968,00	100%	924,00	100%	942,00	100%	972,00	100%	992,00	100%

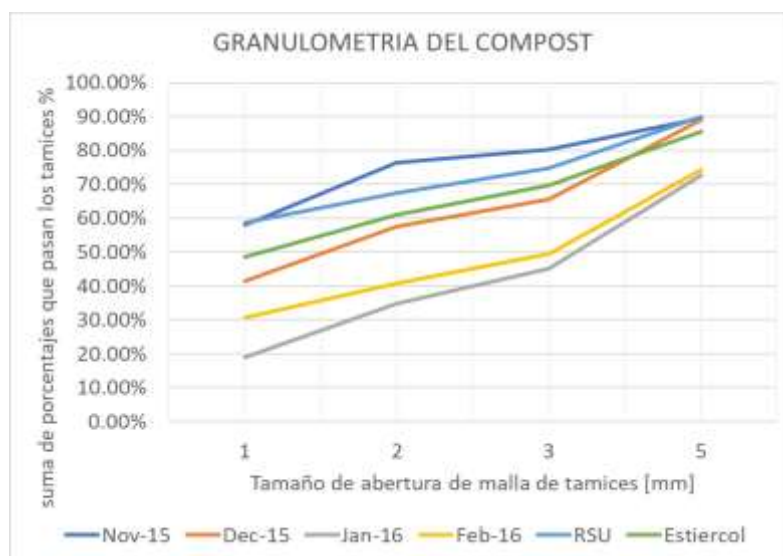


Ilustración 2-7 Granulometría del compost

2.7 Ensayos con cultivos

2.7.1 Cultivo de tomate año 2016

Tabla 2-8 Estudio comparativo cultivo tomate

	Testigo (sin abono ni compost)	Con compost	% variación respecto a testigo	Con abono químico	% variación respecto a testigo	% variación entre compost y abono químico
Altura de la planta [m]	1,48	1,75	18%	1,4	-5%	24%
Largo de hoja prom. [cm]	37	41	11%	36	-3%	14%
Diámetro del tallo [mm]	9	17	89%	11	22%	67%
Cantidad de hojas	16	16	0%	19	19%	-19%
Cantidad de frutos	20	29	45%	26	30%	15%
Peso de frutos [gr]	610	850	39%	632	4%	36%
Peso del tallo [gr]	106	450	325%	182	72%	253%
Peso de hojas [gr]	116	450	288%	130	12%	276%



El ensayo de cultivo de tomate en suelo natural, con compost y con abono químico muestra en general un mejor comportamiento del compost que el abono, a pesar de la baja relación carbono nitrógeno, que puede explicarse porque el compost aporta además de NPK (abono químico) macro y micronutrientes y materia orgánica al suelo.

2.7.2 Cultivo de pimiento, zapallito y acelga año 2017

Estos cultivos se eligieron como hortalizas de fruto para comparar la efectividad de los abonos y sus diferentes técnicas de aplicación y porque además son de las hortalizas de mayor comercialización en el país.

Se procedió a comparar una sola variedad en diferentes parcelas; una parcela como testigo sin aplicación de abonos, otra con aplicación de compost, otra con abono químico y la última con abono orgánico y químico, de tal manera a diferenciar el comportamiento de la planta y la cantidad producida.

El método utilizado fue el ensayo a campo comparando en cuatro parcelas.

- Parcela 1: consistió en parcela “testigo”, es decir la parcela que no tiene aplicación de ningún tipo de abono
- Parcela 2: en esta parcela se aplicó 4 kg/m² de abono orgánico (compost) durante la preparación del terreno antes del trasplante.
- Parcela 3: se utilizó 40 g/m² de abono químico de la fórmula 15-15-15, después del trasplante y 40 g/m² de urea, 20 días después de la primera aplicación
- Parcela 4: en esta parcela se aplicó 4 kg/m² de abono orgánico (compost) durante la preparación del terreno antes del trasplante; luego 40 g/m² de abono químico de la fórmula 15-15-15, después del trasplante y 40 g/m² de urea, 20 días después de la primera aplicación.

Vista comparativa de las parcelas del 1 al 4

Los cuidados culturales fueron los mismos en las distintas parcelas en cuanto a riego, sanitación, aporque, etc.



RESULTADOS

A) Pimiento



La parcela 1: tuvo muy poco desarrollo. Su rendimiento fue de 5.100 Kg. En promedio 127,5 gramos por planta, en la primera cosecha.



La parcela 2: tuvo buen desarrollo de la planta y frutos de mayor tamaño. Su rendimiento fue de 9.200 Kg. En promedio 230 gramos por planta en la primera cosecha.



La parcela 3: tuvo buen desarrollo pero no uniforme. Su rendimiento fue de 8.400 Kg. En promedio 210 gramos por planta en la primera cosecha



La parcela 4: tuvo buen desarrollo y hojas y frutos. Su rendimiento fue de 5.400 Kg. En promedio 270 gramos por planta en la primera cosecha. La cantidad de plantas seleccionadas para el experimento fueron 20 ya que el resto fue perjudicado por animales.

Tabla 2-9 Cuadro comparativo de producción

Parcelas	Cantidad producida en kilogramos
Testigo	5,100 kg. (127 gr/planta)
Con compost	9,200 kg (230 gr/planta)
Con abono químico	8.400 kg.(210 gr/planta)
Con abono químico y compost	5.400 kg. (*) (270 gr/planta) (*) perjudicada por animales

Se ha notado que el pimiento si se trabaja con una buena práctica, se obtiene buenos rendimientos y si se planifican bien los trabajos puede dejar buenos ingresos.

Se pudo visualizar que el terreno que sirvió de experimento fue bastante pobre y que:
En la parcela testigo el desarrollo de la planta fue mínima y por la tanto la producción también.
En la parcela con aplicación de abono orgánico el desarrollo de la planta fue muy notorio en cuanto a tamaño y producción
La parcela en la cual se aplicó solamente abono químico el crecimiento fue irregular
La parcela con abono orgánico y con aplicación de abono químico, fue lo que experimentó mejor desarrollo y rendimiento.

Podemos concluir que para el cultivo de pimiento la aplicación de abono orgánico, en especial el compost es indispensable en suelos pobres, además siempre se debe tener un análisis de suelo para la fertilización química, de tal modo a utilizar la cantidad recomendada.
Con estos resultados podemos obtener buena producción y por ende los ingresos esperados en la producción, ya que esta hortaliza es muy preferida por el mercado consumidor.

B) Zapallito

Tabla 2-10 Cuadro comparativo de producción

Parcelas	Cantidad producida en kilogramos
Testigo	5,950 kg.
Con compost	17,200 kg
Con abono químico	22 kg.
Con abono químico y compost	20,600 kg.

El cultivo de zapallito es relativamente sencillo y de rápida obtención de la cosecha, se obtienen buenos rendimientos y si se planifican bien los trabajos puede dejar buenos ingresos dado que su consumo va en aumento.

Se pudo visualizar que el terreno que sirvió de experimento fue bastante pobre y que en la parcela testigo el desarrollo de la planta fue mínimo y por la tanto la producción también.
En la parcela con aplicación de abono orgánico el desarrollo de la planta fue muy notorio en cuanto a tamaño y producción

El cultivo de zapallito responde muy bien a la aplicación del abono químico, obteniéndose cantidad superior a los de otras parcelas.

La parcela con abono orgánico y con aplicación de abono químico, experimentó mejor desarrollo y rendimiento.

Podemos concluir que para el cultivo de zapallito la aplicación de abono orgánico, en especial el compost es indispensable en suelos pobres, además siempre se debe tener un análisis de suelo para la fertilización química, de tal modo a utilizar la cantidad recomendada.

Con estos resultados podemos obtener buena producción y por ende los ingresos esperados en la producción, ya que esta hortaliza es cada vez más consumida en nuestro país

Plantas con 20 días después de la germinación



Testigo



Con compost

Plantas con 20 días después de la germinación

C) Acelga



Tabla 2-11 Cuadro comparativo de producción

Parcelas	Cantidad producida en mazos
Testigo	2 mazos
Con compost	21 mazos

Con abono químico	15 mazos.
Con abono químico y compost	32 mazos.



Parcela testigo



Parcela con compost



Parcela con abono químico



Parcela con abono químico y compost



Comparación cosecha de 4 parcelas (Testigo, compost, abono químico y Ab.q.+compost)

La parcela con mejor producción fue la cuarta, que tenía abono químico y compost. Se debe destacar que la aplicación de compost es el factor principal de mejoría de la producción, dado que los resultados con compost solo son mejores que con abono químico solo.

2.8 Costos de obtención, procesamiento y seguimiento

En el primer semestre, se recibieron las siguientes cargas:

MES	Cargas/mes	Cargas/día
Enero	41	1,95
Febrero	42	2,00
Marzo	34	1,62
Abril	24	1,14
Mayo	46	2,19
Junio	46	2,19
Julio	71	3,38
Promedio	43,43	2,07

De acuerdo a los valores promedio de horas hombres por carga, pila y mes, se obtiene una dotación de 2,36 empleados por mes, de acuerdo al siguiente cuadro.

Tabla 2-12 Calculo del personal para la producción de compost

Nº	Horas hombre por carga promedio recibida	Calculo de personal para la producción de 2		cargas por día un turno de 6 horas				Nº personal jornada 6 hs	
		Mano de obra	Unidad	Cargas por día	Pilas por mes	Dias por mes	Hs/hombre por mes		
1	Separacion y preparacion de leña	3	Hh / carga	2		21		126	
2	Transporte del material compostable al molino y molido	1,5	Hh / carga	2		21		63	
3	Armado de pila	0,25	Hh / carga	2		21		10,5	
4	Volteo y riego de pila	2	Hh / pila		3			6	
5	Acarreo, afinado, remolido y re apilado	12	Hh / pila		3			36	
6	Embolsado	4	Hh / pila		3			12	
7	Seguimiento y administración	20	Hh / mes					20	
8	Limpieza y desmalezado del predio	24	Hh / mes					24	
								297,5	2,36

Durante el primer semestre, se observa que los 2 empleados y el encargado, que también realizan algunas tareas de procesamiento además de las de seguimiento de la producción, administración y venta, pueden procesar en buenas condiciones 2 cargas por día. El grado de ocupación registrado en el primer semestre es

MES	Cargas/mes	Cargas/día	Cargas factibles de procesar con 3 empleados 2,36	Carga trabajo.
Enero	41	1,95		Adecuada
Febrero	42	2,00		Adecuada
Marzo	34	1,62		Subocupado
Abril	24	1,14		Subocupado
Mayo	46	2,19		Adecuada
Junio	46	2,19		Adecuada
Julio	71	3,38		Sobrecarga
Promedio	43,43	2,07		

Es decir que en los meses de marzo y abril el personal estuvo subocupado, y en julio no pudo procesar todo el material recibido, lo cual se manifestó por la cantidad de material acumulado en la playa de recepción y que el mismo haya sido apilado con un tractor, lo cual no implica solución racional al problema.

Determinación de la carga admisible con una trituradora con la capacidad de la disponible.

En base al equipamiento disponible, se estima que la máxima cantidad de cargas que se puede procesar por turno es de 4 cargas al día, contando con 4 empleados en turnos de 6 horas, si el encargado realiza algunas tareas de procesamiento.

Considerando 21 días al mes, se obtienen 84 cargas por mes, de las cuales se formarán 6 pilas de compost por mes, equivalentes a una producción promedio estimada de 4.500 kg por mes, o 900 bolsas de 5 kg por mes.

Tabla 2-13 Cálculo del personal para la producción de compost

Nº	Horas hombre por carga promedio recibida	Cálculo de personal para la producción de 4		cargas por día un turno de 6 horas				Nº personal jornada 6 hs
		Mano de obra	Unidad	Cargas por día	Pilas por mes	Días por mes	Hs/hombre por mes	
1	Separación y preparación de leña	3	Hh / carga	4		21		252
2	Transporte del material compostable al molino y molido	1,5	Hh / carga	4		21		126
3	Armado de pila	0,25	Hh / carga	4		21		21
4	Volteo y riego de pila	2	Hh / pila		6			12
5	Acarreo, afinado, remolido y re apilado	12	Hh / pila		6			72
6	Embolsado	4	Hh / pila		6			24
7	Seguimiento y administración	20	Hh / mes					20
8	Limpieza y desmalezado del predio	24	Hh / mes					24
								551
								4,37

Si se utilizan dos turnos diarios, uno por la mañana de 7 a 13 horas y otro de 13 a 19 horas, se podrían procesar el doble, 8 cargas por día, 168 cargas al mes, 12 pilas de compost por mes, equivalentes a una producción promedio estimada de 9.000 kg por mes, o 1800 bolsas de 5 kg por mes.

Estimación de egresos e ingresos en cuatro escenarios:

- 2 cargas por día, con el personal actual
- 3 cargas por día, aumentando un personal operativo
- 4 cargas por día, aumentando dos personales operativos
- 8 cargas por día, aumentando seis personales operativos.

Estimación de egresos e ingresos en el escenario 2 cargas por día, con el personal actual (el encargado cubre los 0,36 faltantes)

Tabla 2-14 Egresos e ingresos para dos cargas por día

Nº	Calculo de personal para la produccion de 2			cargas por día un turno de 6 horas				Nº personal jornada 6 hs
	Horas hombre por carga promedio recibida	Mano de obra	Unidad	Cargas por día	Pilas por mes	Dias por mes	Hs/hombre por mes	
1	Separacion y preparacion de leña	3	Hh / carga	2		21	126	
2	Transporte del material compostable al molino y molido	1,5	Hh / carga	2		21	63	
3	Armado de pila	0,25	Hh / carga	2		21	10,5	
4	Volteo y riego de pila	2	Hh / pila		3		6	
5	Acarreo, afinado, remolido y re apilado	12	Hh / pila		3		36	
6	Embolsado	4	Hh / pila		3		12	
7	Seguimiento y administración	20	Hh / mes				20	
8	Limpieza y desmalezado del predio	24	Hh / mes				24	
							297,5	2,36
Costos mensuales con un turno de 6 horas, 2 operarios y encargado								
	Salario encargado (cumple funciones operativas)	3.000.000						
	Salario operarios a 2.041.123 cada uno	4.082.246						
	Electricidad	150.000						
	Agua	45.000						
	Guantes	30.000						
	Botas	90.000						
	Combustible y aceite motosierra	100.000						
	Cadenas motosierra	110.000						
	Reparaciones varias	200.000						
	Reposicion de equipos	200.000						
	Bolsas para venta	450.000						
	TOTAL EGRESOS	8.457.246						
Ingresos mensuales con un turno de 6 horas, 2 operarios y encargado								
	INGRESOS	Cantidad	Unidad	P.Unit				
	Bolsas de compost	450	bolsas	10000	Gs/bolsa		4.500.000	
	Leña	30	m3	20000	Gs/m3		600.000	
	TOTAL Ingresos Directos						5.100.000	
	Ahorro de pago de tasa de vertedero	126	tn	45000	Gs/ton		5.670.000	
	Diferencia combustible Chaco'i versus Tarumandy (6 km)	252	km	1600	Gs/km		403.200	
	Total Ingresos Indirectos						6.073.200	
	TOTAL INGRESOS						11.173.200	
	TOTAL INGRESOS directos menos EGRESOS (Beneficio real)	- 3.357.246						
	TOTAL INGRESOS menos EGRESOS (Beneficio total)	2.715.954						

Si se consideran solo los beneficios directos por la venta de 450 bolsas de compost y 30 m3 de leña, los resultados son negativos, de -3.357.246 Gs por mes.

La empresa adjudicataria del servicio de recolección y disposición final de basura exime a la Municipalidad de Luque de la tasa por disposición final en vertedero. Sin embargo, los camiones que llevan residuos al vertedero son pesados, y la cantidad facturable a la Municipalidad por parte de la empresa en la actualidad supera los quinientos millones de Guaraníes. Si la empresa decide no eximir a los municipios, se debe considerar dos ingresos indirectos debido al funcionamiento del centro de compostaje:

- el no pagar la tasa de disposición de 45.000 Gs por tonelada, en el caso de poda 135.000 Gs por carga en promedio, y
- la diferencia del costo de transporte, por encontrarse Tarumandy más cerca que el vertedero de Chaco'i.

Si se consideran los beneficios totales, incorporando a los ingresos las tasas y costo de transporte ahorrados, el beneficio total es de 2.715.954 Gs.

Estimación de egresos e ingresos en el escenario 3 cargas por día, con tres operarios (un personal operativo más que en la actualidad). El encargado cubre los 0,37 faltantes.

Tabla 2-15 Egresos e ingresos para tres cargas por día

Calculo de personal para la produccion de 3				cargas por día un turno de 6 horas				Nº personal jornada 6 hs
Nº	Horas hombre por carga promedio recibida	Mano de obra	Unidad	Cargas por día	Pilas por mes	Dias por mes	Hs/hombre por mes	
1	Separacion y preparacion de leña	3	Hh / carga	3		21	189	3,37
2	Transporte del material compostable al molino y molido	1,5	Hh / carga	3		21	94,5	
3	Armado de pila	0,25	Hh / carga	3		21	15,75	
4	Volteo y riego de pila	2	Hh / pila		4,5		9	
5	Acarreo, afinado, remolido y re apilado	12	Hh / pila		4,5		54	
6	Embolsado	4	Hh / pila		4,5		18	
7	Seguimiento y administración	20	Hh / mes				20	
8	Limpieza y desmalezado del predio	24	Hh / mes				24	
							424,25	
Costos mensuales con un turno de 6 horas, 3 operarios y encargado								
	Salario encargado (cumple funciones operativas)	3.000.000						
	Salario operarios a 2.041.123 cada uno	6.123.369						
	Electricidad	225.000						
	Agua	67.500						
	Guantes	53.333						
	Botas	160.000						
	Combustible y aceite motosierra	150.000						
	Cadenas motosierra	165.000						
	Reparaciones varias	300.000						
	Reposicion de equipos	300.000						
	Bolsas para venta	675.000						
	TOTAL EGRESOS	11.219.202						
Ingresos mensuales con un turno de 6 horas, 3 operarios y encargado								
	INGRESOS	Cantidad	Unidad	P.Unit				
	Bolsas de compost	675	bolsas	10000	Gs/bolsa	6.750.000		
	Leña	45	m3	20000	Gs/m3	900.000		
	TOTAL Ingresos Directos					7.650.000		
	Ahorro de pago de tasa de vertedero	189	tn	45000	Gs/ton	8.505.000		
	Diferencia combustible Chaco'i versus Tarumandy (6 km)	378	km	1600	Gs/km	604.800		
	Total Ingresos Indirectos					9.109.800		
	TOTAL INGRESOS					16.759.800		
	TOTAL INGRESOS directos menos EGRESOS (Beneficio real)	- 3.569.202						
	TOTAL INGRESOS menos EGRESOS (Beneficio total)	5.540.598						

Si se consideran solo los beneficios directos por la venta de 675 bolsas de compost y 45 m³ de leña, los resultados son negativos de – 3.569.202 Gs por mes.

Si se consideran los beneficios totales, incorporando a los ingresos las tasas y costo de transporte ahorrados, el beneficio total es de 5.540.598 Gs por mes.

Estimación de egresos e ingresos en el escenario 4 cargas por día, (máxima capacidad operativa del equipo existente) con cuatro operarios (dos personales operativos más que en la actualidad). El encargado cubre los 0,37 faltantes.

Tabla 2-16 Egresos e ingresos para cuatro cargas por día

Calculo de personal para la produccion de 4				cargas por día un turno de 6 horas				Nº personal jornada 6 hs
Nº	Horas hombre por carga promedio recibida	Mano de obra	Unidad	Cargas por día	Pilas por mes	Dias por mes	Hs/hombre por mes	
1	Separacion y preparacion de leña	3	Hh / carga	4		21	252	4,37
2	Transporte del material compostable al molino y molido	1,5	Hh / carga	4		21	126	
3	Armado de pila	0,25	Hh / carga	4		21	21	
4	Volteo y riego de pila	2	Hh / pila		6		12	
5	Acarreo, afinado, remolido y re apilado	12	Hh / pila		6		72	
6	Embolsado	4	Hh / pila		6		24	
7	Seguimiento y administración	20	Hh / mes				20	
8	Limpieza y desmalezado del predio	24	Hh / mes				24	
							551	

Costos mensuales con un turno de 6 horas, 4 operarios y encargado					
Salario encargado (cumple funciones operativas)	3.000.000				
Salario operarios a 2.041.123 cada uno	8.164.492				
Electricidad	300.000				
Agua	90.000				
Guantes	83.333				
Botas	250.000				
Combustible y aceite motosierra	200.000				
Cadenas motosierra	220.000				
Reparaciones varias	400.000				
Reposicion de equipos	400.000				
Bolsas para venta	900.000				
TOTAL EGRESOS	14.007.825				
Ingresos mensuales con un turno de 6 horas, 4 operarios y encargado					
INGRESOS	Cantidad	Unidad	P.Unit		
Bolsas de compost	900	bolsas	10000	Gs/bolsa	9.000.000
Leña	60	m3	20000	Gs/m3	1.200.000
TOTAL Ingresos Directos					10.200.000
Ahorro de pago de tasa de vertedero	252	tn	45000	Gs/ton	11.340.000
Diferencia combustible Chaco'í versus Tarumandy (6 km)	504	km	1600	Gs/km	806.400
Total Ingresos Indirectos					12.146.400
TOTAL INGRESOS					22.346.400
TOTAL INGRESOS directos menos EGRESOS (Beneficio real)	- 3.807.825				
TOTAL INGRESOS menos EGRESOS (Beneficio total)	8.338.575				

Si se consideran solo los beneficios directos por la venta de 900 bolsas de compost y 60 m³ de leña, los resultados son negativos de -3.807.825 Gs por mes.

Si se consideran los beneficios totales, incorporando a los ingresos las tasas y costo de transporte ahorrados, el beneficio total es de 8.338.575 Gs por mes.

Estimación de egresos e ingresos en el escenario 8 cargas por día, (máxima capacidad operativa del equipo existente) con ocho operarios en dos turnos, mañana y tarde (seis personales operativos más que en la actualidad). El encargado cubre los 0,40 faltantes.

Tabla 2-17 Egresos e ingresos para ocho cargas por día

Nº	Horas hombre por carga promedio recibida	Calculo de personal para la produccion de 8		cargas por dia un turno de 6 horas				Nº personal jornada 6 hs
		Mano de obra	Unidad	Cargas por dia	Pilas por mes	Dias por mes	Hs/hombre por mes	
1	Separacion y preparacion de leña	3	Hh / carga	8		21	504	8,40
2	Transporte del material compostable al molino y molido	1,5	Hh / carga	8		21	252	
3	Armado de pila	0,25	Hh / carga	8		21	42	
4	Volteo y riego de pila	2	Hh / pila		12		24	
5	Acarreo, afinado, remolido y re apilado	12	Hh / pila		12		144	
6	Embolsado	4	Hh / pila		12		48	
7	Seguimiento y administración	20	Hh / mes				20	
8	Limpieza y desmalezado del predio	24	Hh / mes				24	
							1058	

Costos mensuales con un turno de 6 horas, 8 operarios y encargado					
Salario encargado (cumple funciones operativas)	3.000.000				
Salario operarios a 2.041.123 cada uno	16.328.984				
Electricidad	600.000				
Agua	180.000				
Guantes	270.000				
Botas	810.000				
Combustible y aceite motosierra	400.000				
Cadenas motosierra	440.000				
Reparaciones varias	800.000				
Reposicion de equipos	800.000				
Bolsas para venta	1.800.000				
TOTAL EGRESOS	25.428.984				
Ingresos mensuales con un turno de 6 horas, 8 operarios y encargado					
INGRESOS	Cantidad	Unidad	P.Unit		
Bolsas de compost	1800	bolsas	10000	Gs/bolsa	18.000.000
Leña	120	m3	20000	Gs/m3	2.400.000
TOTAL Ingresos Directos					20.400.000
Ahorro de pago de tasa de vertedero	504	tn	45000	Gs/ton	22.680.000
Diferencia combustible Chaco'í versus Tarumandy (6 km)	1008	km	1600	Gs/km	1.612.800
Total Ingresos Indirectos					24.292.800
TOTAL INGRESOS					44.692.800
TOTAL INGRESOS directos menos EGRESOS (Beneficio real)	- 5.028.984				
TOTAL INGRESOS menos EGRESOS (Beneficio total)	19.263.816				

Si se consideran solo los beneficios directos por la venta de 1.800 bolsas de compost y 120 m³ de leña, los resultados son negativos de -5.028,984 Gs por mes.

Si se consideran los beneficios totales, incorporando a los ingresos las tasas y costo de transporte ahorrados, el beneficio total es de 19.263.816 Gs por mes.

RESUMEN

Cargas/día	Operarios	Encargado	Egresos	Ingreso real	Ingreso total	Benef. Real	Benef. Total
2	2	1	8.457.246	5.100.000	11.173.200	(3.357.246)	2.715.954
3	3	1	11.219.202	7.650.000	13.924.800	(3.569.202)	2.705.598
4	4	1	14.007.825	10.200.000	22.346.400	(3.807.825)	8.338.575
6	6	1	19.665.071	15.300.000	33.519.600	(4.365.071)	13.854.529
8	8	1	25.428.984	20.400.000	44.692.800	(5.028.984)	19.263.816

COSTO DE PRODUCCION DEL COMPOST.

Si consideramos los gastos directos para la producción de compost, tenemos que

Cargas/día	días / mes	Cargas/mes	Pilas/mes	Tn/mes	Operarios	Encargado	Egresos	Costo Gs/tn	Costo Usd/tn
2	21	42	28	21	2	1	8.457.246	402.726	73,22
3	21	63	49	36,75	3	1	11.219.202	305.284	55,51
4	21	84	70	52,5	4	1	14.007.825	266.816	48,51
6	21	126	112	84	6	1	19.665.071	234.108	42,57
8	21	168	154	115,5	8	1	25.428.984	220.164	40,03
							Promedio:	285.820	51,97

El precio promedio de producción de compost es de 285.820 Gs/tn, o 52 USD/tn., valor que coincide con el propuesto por (FAO, 2013) de 50 USD/tn para América Latina.

Este precio se puede mejorar con una trituradora de boca más ancha, como por ejemplo esta usada para Residuos Sólidos Urbanos:

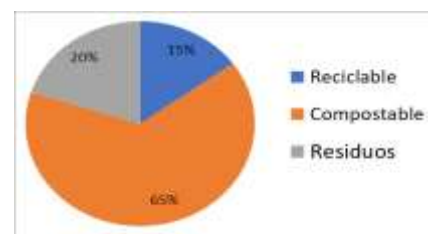


Ilustración 2-8 Picador rotativo Foto: Zappy, 2018

Producción de compost de residuos sólidos urbanos para una ciudad de 10.000 habitantes en Paraguay

Una localidad de 10.000 habitantes, a 1 kg de residuos por habitante por día, genera 10.000 kg o 10 tn de residuos al día. Estas 10 toneladas están conformadas aproximadamente por:

Reciclables	15%	1,5	ton/día
Compostables	65%	6,5	ton/día
Residuos	20%	2	ton/día



Las 6,5 tn de materiales compostables equivalen a unas 4 camionadas de 7 m³ de residuos al día. Se observa que la mayor parte de los residuos municipales son compostables, de ahí la importancia de su compostaje para la reducción del volumen a enterrar en vertedero y la contaminación de suelos y aguas producidas por el mismo.

Estas pueden tratarse en un turno contando con 4 operarios y un encargado, o en dos turnos con dos operarios.

Conclusiones del análisis de factibilidad económico

- La tarea que más tiempo lleva es la de separación de materiales compostables y no compostables. El mismo caso se dará si se llevan residuos sólidos urbanos, dado que hay que abrir las bolsas, separar los materiales no compostables y volver a disponer los materiales no compostables para ser enviados a un centro de reciclado (si son reciclables) o a vertedero.

Horas hombre por mes para dos cargas por día	Hs/hombre/mes	
Separación y preparación de leña	126,0	42,4%
Transporte del material compostable al molino y molido	63,0	21,2%
Armado de pila	10,5	3,5%
Volteo y riego de pila	6,0	2,0%
Acarreo, afinado, remolido y re apilado	36,0	12,1%
Embolsado	12,0	4,0%
Seguimiento y administración	20,0	6,7%
Limpieza y desmalezado del predio	24,0	8,1%
	297,5	100%

- El servicio de compostaje no es rentable por sí mismo, si no se considera la tasa de disposición final en vertedero.
- Las posibilidades de vender grandes cantidades de compost en bolsas a 10.000 Gs/bolsa (precio al público) son reducidas.
- Al vender compost a revendedores, (viveros, ventas de productos agrícolas, etc.) el precio debe ser menor, con lo cual el análisis económico será más desfavorable.
- La producción de compost compite con la venta de mantillo natural que se extrae de los montes naturales. En este caso, los únicos costos que tienen los vendedores de mantillo son los de recolección, transporte y embolsado, que representan un 10% como máximo del tiempo necesario para producir compost y por lo tanto, un costo similar, es decir, que los vendedores de mantillo tienen un costo máximo de 1.000 Gs por la recolección, transporte y embolsado, más el costo de la bolsa que utilicen. En estas condiciones, es difícil competir. Sin embargo, debe observarse que la explotación de mantillo natural va en detrimento de los bosques naturales, por lo cual esta actividad debería estar prohibida y controlada.
- Se puede vender compost por camionadas, con lo cual una camionada de 4 m³ (con una densidad aparente húmeda de 0,3 tn/m³, se tiene 4 m³ * 0,3 tn/m³ = 1,2 tn) equivale a 240 bolsas, o sea 2.400.000 Gs menos el precio de las 240 bolsas, (240.000 Gs a 1.000 Gs la bolsa), se debería vender a 2.160.000 Gs lo que también a priori parece demasiado.
- No se debe enviar al centro de compostaje más cargas de las que puede tratar por día de acuerdo a la cantidad de trituradoras con que se cuente, pues al superarse la capacidad de tratamiento, se comienza a amontonar residuos no se realizan las tareas de volteo y riego, y en general la calidad del compost obtenido es peor a una producción racional de acuerdo al equipamiento y personal disponible.
- Si se transfieren los costos de construcción y equipamiento del centro de compostaje, se tiene que se debería cobrar a los usuarios (suponiendo 2.500 usuarios en una ciudad de 10.000 habitantes) 122.196 Gs, y 5.618 Gs por mes por los costos de operación del centro de compostaje.

Tabla 2-18 Costos de construcción y equipamiento

Concepto	Unidad	Cant	Precio unit	Precio total	Precio total
Constr. Infraestr.	gl	1	Gs 186.200.000	Gs 186.200.000	\$ 41.377,78
Equipamiento	gl	1	Gs 113.290.000	Gs 113.290.000	\$ 25.175,56
Herramientas	gl	1	Gs 5.000.000	Gs 5.000.000	\$ 1.111,11
Elem. Seguridad	gl	1	Gs 1.000.000	Gs 1.000.000	\$ 222,22
TOTAL				Gs 305.490.000	\$ 67.886,67
TOTAL por usuario, suponiendo		2500	usuarios	Gs 122.196	\$ 27,15
TOTAL ANUAL por usuario para 10 años de vida util				Gs 12.220	\$ 2,72

Tabla 2-19 Costos de operación mensual para una ciudad de 10.000 habitantes

Concepto	Unidad	Cant	Precio unit	Precio total	Precio total
Amort. Equipos	mes	1	Gs 944.083	Gs 944.083	\$ 171,65
Salarios	mes	5	Gs 2.000.000	Gs 10.000.000	\$ 1.818,18
Servicios y mant	mes	1	Gs 700.000	Gs 700.000	\$ 127,27
Transp. Residuos	mes	4	Gs 600.000	Gs 2.400.000	\$ 436,36
TOTAL	mes			Gs 14.044.083	\$ 2.553,47
TOTAL por usuario, suponiendo		2500	usuarios	Gs 5.618	\$ 1,02
TOTAL ANUAL por usuario				Gs 67.412	\$ 12,26

Estos valores pueden reducirse para usuarios domiciliarios si se transfiere una mayor proporción a grandes usuarios (Supermercados, mercados, instituciones, comercios, etc.).

3 Normativa aplicable

3.1 Norma Española

Real Decreto 506/2013, sobre productos fertilizantes: se lo considera una enmienda orgánica, es decir materia orgánica procedente de materiales carbonados de origen vegetal o animal, utilizada fundamentalmente para mantener o aumentar el contenido en materia orgánica del suelo, mejorar sus propiedades físicas y mejorar también sus propiedades o actividad química o biológica.

Real Decreto 865/2010 sobre sustratos de cultivo: es decir, los materiales distintos de los suelos, que permiten el crecimiento del sistema radicular de las plantas, Normalmente, los sustratos se emplean para el cultivo de plantas en planteras, macetas, jardineras o cualquier otro tipo de contenedor.

Tabla 3-1 Resumen normativa española

	R.D. 506/2013	R.D.865/2010
Definición y ámbito de aplicación	Grupo 6 :Enmienda orgánica	Grupo 1: Componente de sustratos de cultivo.
Requisitos y especificaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Mínimo del 35% de materia orgánica total - Contenido de humedad máximo del 40%. - Relación C/N < 20 - <5% piedra y grava>5mm - <3% impurezas > 2mm - >90% de partículas de tamaño < 25mm. 	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica sobre materia seca > 20%. - No plagas ni patógenos. - No semillas ni propágulos de malas hierbas.
Declaraciones obligatorias	<ul style="list-style-type: none"> -Porcentaje en masa de cada ingrediente. -Materia orgánica total. - C. orgánico. -N total, orgánico y amoniacal. P₂O₅, K₂O* -Ácidos húmicos -Granulometría. 	<ul style="list-style-type: none"> - Principales componentes (más del 10% v/v). - Materia orgánica sobre materia seca. - Conductividad eléctrica. -PH. -Cantidad en volumen.
Identificación y etiquetado según contenido en metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> - Tres clases de enmienda (A. B. C.). - No detectable según el método oficial para el Cromo (VI). -Máximo 5 toneladas de materia seca por hectárea y año en suelos agrícolas para la clase C. 	<ul style="list-style-type: none"> -Dos clases de sustrato (A.B.) -Límite máximo de 0.5 para el Cromo (VI) en las dos clases. -Productos de la clase B no aplicables en cultivos hortícolas comestibles.
Nivel máximo de microorganismos	<ul style="list-style-type: none"> -Salmonella ausente en 25 g. -Escherichia coli < 1000 NMP/g 	<ul style="list-style-type: none"> -Salmonella ausente en 25 g. - Escherichia coli < 1000 NMP/g. -Listeria monocytogenes ausente en 1 g.** -Enterococcaceae entre 10⁴ y 10⁵ NMP/g. -Clostridium perfringens entre 10² - 10³.
Puesta en el mercado***	<ul style="list-style-type: none"> -Control de calidad periodicidad trimestral. -Inscripción previa en el Registro de productos fertilizantes, dos meses antes de su comercialización. -Certificado de cumplimiento de la legislación SANDACH. 	<ul style="list-style-type: none"> -Control de calidad periodicidad anual y responsable con titulación universitaria de grado. -No inscripción en el registro, suficiente documento de acompañamiento. -Disponer de las licencias y permisos necesarios.
Registro	<ul style="list-style-type: none"> -Inscripción en el registro de productos fertilizantes. 	<ul style="list-style-type: none"> - No registro.
*Si superan el 1%		
**Únicamente para cultivos cuya producción se consume en bruto		
***Entrada en vigor : diciembre de 2012 para sustratos		

Como enmienda orgánica, se establecen las siguientes condiciones:

- Una relación C/N < 20.
- Contenido mínimo de 35% de materia orgánica total
- Contenido de humedad máximo 40%
- Condiciones granulométricas y contenido de impurezas.

Además, el Real Decreto 506/2013 establece límites máximos de contenidos de metales pesados, clasificando tres clases de enmienda:

Tabla 3-2 Límite máximo metales pesados R 506/2013

Metal pesado	Límites de concentración.		
	Sólidos: mg/kg de materia seca		
	Líquidos: mg/kg		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio	0,7	2	3
Cobre	70	300	400
Níquel	25	90	100
Plomo	45	150	200
Zinc	200	500	1000
Mercurio	0,4	1,5	2,5
Cromo (total)	70	250	300
Cromo (VI)*	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial	No detectable según método oficial

Relación Carbono Nitrógeno

La relación C/N indica la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total).

El requisito de que la C/N <20 se debe a que por encima de este valor puede producirse la inmovilización del nitrógeno. Una relación C/N del compost alta, indica que no se ha producido una descomposición completa. Los microorganismos del suelo deben consumir el exceso de nitrógeno soluble disponible en el suelo mediante una descomposición adicional. Esta inmovilización de N disponible puede dañar los rendimientos de los cultivos agrícolas. Inclusive los estándares australianos han publicado un procedimiento de prueba para "extracción de nitrógeno" (AU-99), habiendo descartado la prueba de relación C: N por no ser satisfactoria para indicar el potencial de inmovilización. (Brinton, 2000).

Prácticamente la totalidad del nitrógeno orgánico presente en un residuo orgánico es biodegradable y, por tanto disponible.

Con el carbono orgánico ocurre lo contrario ya que una gran parte se engloba en compuestos no biodegradables que impiden su disponibilidad en la agricultura. Si el material final obtenido, tras la fermentación, tiene un valor C/N < 12(bajo), puede deberse a una excesiva mineralización del carbono. Esta no favorece la formación de complejos de carbono, altamente estables y de lenta degradación (proceso de humificación), y el nitrógeno presente se lava.

La relación C:N varía en función del material de partida y varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1.

El rango óptimo en los residuos orgánicos para un correcto compostaje se encuentra entre 20 y 50 a 1. Los excesos de cualquiera de los dos componentes conllevan a una situación de carencia. Si el residuo de partida es rico en carbono y pobre en nitrógeno, la fermentación será

lenta, las temperaturas no serán altas y el carbono se perderá en forma de dióxido de carbono. Para el caso contrario, en altas concentraciones relativas de nitrógeno, éste se transformará en amoníaco, impidiendo la correcta actividad biológica.

En tabla adjunta se muestran valores de relación C/N para diversos residuos orgánicos.

Tabla 3-3 Relación C:N de algunos materiales compostables (datos de N y C total de la fracción seca) (FAO 2013)

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

Según el tipo de residuo orgánico, el cálculo de la relación C/N no es muy fiable ya que, aunque todo el Nitrógeno esté disponible, o sea biodegradable, solamente una fracción de Carbono puede serlo. De este modo, la relación C/N puede variar (incluso duplicarse) según se considere el Carbono Orgánico Total o el Carbono Orgánico Disponible.

Lo correcto es que la materia orgánica a compostar tenga un índice C/N entre 25 y 35.

Para valores menores, deben agregarse materiales ricos en carbono (paja, virutas de madera, etc...), y en el caso contrario, materiales ricos en nitrógeno (estiércoles, lodos de depuradora, etc...)

Durante el proceso de fermentación, la relación C/N disminuye hasta valores entre 12 y 18 por pérdidas de carbono como dióxido de carbono.

3.2 Norma Chilena

De acuerdo a su nivel de calidad, la norma chilena NCh2880 el compost se clasifica en las Clases siguientes:

a) **Compost Clase A:** producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase A. Debe cumplir con las concentraciones máximas de metales pesados de Tabla 3. Su conductividad eléctrica debe ser menor a tres decisiemens por metro (3dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 25. Este producto no presenta restricciones de uso.

b) Compost Clase B: producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase B. Debe cumplir con las concentraciones máximas de metales pesados de Tabla 4. Su conductibilidad eléctrica debe ser menor a ocho decisiemens por metro (8dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 30. Este producto puede presentar algunas restricciones de uso si su conductividad eléctrica es mayor de tres decisiemens por metro (3dS/m).

Además, establece los siguientes niveles máximos, entre otros:

Tipo de microorganismo	Tolerancia
1. Coliformes fecales	< a 1.000 NMP por gramo de compost, en base seca
2. Salmonella sp.	3 NMP en 4 g de compost, en base seca
3. Huevos de helmintos viables 1)	1 en 4 g de compost, en base seca
NMP = Numero Más Probable	
El análisis solo será exigible a requerimiento expreso de la Autoridad Competente.	

Tabla 3-4 Concentraciones máximas de metales pesados en compost.

Metal pesado	Concentración Máxima en mg/kg de compost (base seca) ¹⁾
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Niquel	20
Plomo	100
Zinc	200
1) Concentraciones expresadas como contenidos totales	

Tabla 3-5 Contenido máximo de materiales inertes de tamaño menor o igual a 16mm en compost

Material	Dimensión (mm)	Cantidad(%masa en base seca)
Plásticos flexibles y /o películas	Mayor a 4	Menor o igual a 5
Piedras y/o terrones de barro	Mayor a 4	Menor o igual a 5
Vidrios y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos.	Mayor o igual a 2	Menor o igual a 0.5

3.3 Norma del Distrito Federal de México

Norma ambiental para el DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal.

Tabla 3-6 Características generales que deben cumplir los tipos de compost

Parámetro	TIPO DE COMPOSTA		
	A	B	C

Uso recomendando	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para macetas	Agricultura ecológica y reforestación.	Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación.
Humedad	25-35% en peso		25-45% en peso
pH	6,7 - 7,5	6,5 - 8	
Conductividad eléctrica	<4 dS/m	<8 dS/m	<12 dS/m
Materia orgánica	>20% MS		>25% MS
Carbono total.	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total % MS			
Relación C/N	<15	<20	<25
Macronutrientes (NPK) en % MS	De 1 a 3 % en cualquiera de ellos y su suma ≤ 7% portará la leyenda: "Composta-mejorador de suelos." Si cualquier excede al 3% o la suma es mayor a 7% debe portar la leyenda: "Composta para nutrición vegetal", y se indicaran las cantidades para cada macronutriente.		
Granulometría	≤ 10	≤ 30	
Fitotoxicidad (IG)	IG ≥ 85	IG ≥ 75	IG ≥ 60
Diferencia de temperatura con el ambiente medida a una profundidad ≥ 50 cm.	≤ 10°C		≤ 15 °C

Tabla 3-7 Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg⁻¹ en base seca que deben cumplir los tipos de compost.

Nivel-tipo	As	Cd	Cr total	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Nivel 1-tipo A	0.1	0.7	70	70	0.4	25	45	200
Nivel 2-tipo B	0,7	1	70	150	0,7	60	120	500
Nivel 3-tipo C	2,0	3	250	400-500	3	100	200	1200-1800

Tabla 3-8 valores máximos permisibles para especificaciones microbiológicas.

Microorganismos	Tolerancia
Coliformes fecales	<1000NMP*/g (en base seca)
Salmonella	<3NMP en 4g (en base seca)
Huevos de Helminthos viables	1 en 4 g (en base seca)
	*Número mas probable

Tabla 3-9 Máximos permitidos de materias inertes, en% de MS para partículas mayores a 5mm.

Tipo de material	Tipo A	Tipo B	Tipo C*
Roca	Ausente	<3%	<5%*
Plástico	Ausente	<0,5%	<1%*
Vidrio y metal	Ausente	<1%	<2%*

*La suma de los porcentajes de impurezas físicas debe ser menor al 5%.

Comentarios generales sobre las normas tomadas de ejemplo

De la lectura del resumen de las normas previas, se observan los siguientes criterios recurrentes:

- Clasificación en diferentes niveles de calidad
- Determinadas **características físicas**: humedad, pH, conductividad eléctrica, granulometría, contenido de impurezas, etc.
- Determinadas **características químicas**: relación carbono nitrógeno, contenido de metales pesados,
- Determinadas características microbiológicas: contenido de coliformes fecales, salmonellas, huevos de helmintos

Sobre las mismas, se cree conveniente realizar las siguientes aclaraciones:

Humedad: Si el compost se vende por unidad de peso, a mayor humedad se estará vendiendo agua y no compost.

pH: el Ph de un sustrato es una medida de la acidez (pH bajo = ácido) o alcalinidad (pH alto = básico o alcalino) del medio. El pH del medio de cultivo controla las reacciones químicas que determinan si los nutrientes van a estar o no disponibles (solubles o insolubles) para su absorción. Por tal motivo, los problemas nutritivos más comunes ocurren en los cultivos cuando el pH se encuentra fuera del rango óptimo.

Conductividad eléctrica (CE) La concentración de sales solubles presentes en la solución del sustrato se mide mediante la CE. La CE es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que a mayor CE, mayor es la concentración de sales. Se recomienda que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1dS m⁻¹ (1+5 v/v). Una CE baja facilita el manejo de la fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en el cultivo.

Granulometría: ya se explicó que la actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, la aireación de la pila y la retención de humedad

Relación Carbono Nitrógeno: la relación C/N indica la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total)

El requisito de que la C/N <20 se debe a que por encima de este valor puede producirse la inmovilización del nitrógeno. Una relación C/N del compost alta, indica que no se ha producido una descomposición completa. Los microorganismos del suelo deben consumir el exceso de nitrógeno soluble disponible en el suelo mediante una descomposición adicional. Esta inmovilización de N disponible puede dañar los rendimientos de los cultivos agrícolas. Inclusive los estándares australianos han publicado un procedimiento de prueba para "extracción de nitrógeno" (AU- 99), habiendo descartado la prueba de relación C: N por no ser satisfactoria para indicar el potencial de inmovilización. (Brinton, 2000).

Prácticamente la totalidad del nitrógeno orgánico presente en un residuo orgánico es biodegradable y, por tanto disponible.

Con el carbono orgánico ocurre lo contrario ya que una gran parte se engloba en compuestos no biodegradables que impiden su disponibilidad en la agricultura. Si el material final obtenido, tras la fermentación, tiene un valor C/N < 12(bajo), puede deberse a una excesiva mineralización del carbono. Esta no favorece la formación de complejos de carbono, altamente estables y de lenta degradación (proceso de humificación), y el nitrógeno presente se lava.

La relación C: N varía en función del material de partida y varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1.

El rango óptimo en los residuos orgánicos para un correcto compostaje se encuentra entre 20 y 50 a 1. Los excesos de cualquiera de los dos componentes conllevan a una situación de carencia. Si el residuo de partida es rico en carbono y pobre en nitrógeno, la fermentación será lenta, las temperaturas no serán altas y el carbono se perderá en forma de dióxido de carbono. Para el caso contrario, en altas concentraciones relativas de nitrógeno, éste se transformará en amoníaco, impidiendo la correcta actividad biológica.

Según el tipo de residuo orgánico, el cálculo de la relación C/N no es muy fiable ya que, aunque todo el Nitrógeno esté disponible, o sea biodegradable, solamente una fracción de Carbono puede serlo. De este modo, la relación C/N puede variar (incluso duplicarse) según se considere el Carbono Orgánico Total o el Carbono Orgánico Disponible.

Lo correcto es que la materia orgánica a compostar tenga un índice C/N entre 25 y 35.

Para valores menores, deben agregarse materiales ricos en carbono (paja, virutas de madera, etc.), y en el caso contrario, materiales ricos en nitrógeno (estiércoles, lodos de depuradora, etc.)

Durante el proceso de fermentación, la relación C/N disminuye hasta valores entre 12 y 18 por pérdidas de carbono como dióxido de carbono.

Contenido de metales pesados: los metales pesados pueden acumularse en los suelos y sustratos, alterar el equilibrio biológico de los mismos y afectar al rendimiento de los cultivos y la salud animal, inclusive la del hombre.

Contenido de microorganismos: Los microorganismos representa un peligro para el medio ambiente y para la salud pública, debido al movimiento y supervivencia en el suelo de bacterias patógenas presentes en estos biofertilizantes

3.4 Métodos de ensayo según diferentes normas:

Cada norma tiene relacionados métodos de ensayo a ser aplicados:

3.4.1 Norma Española

Tabla 3-10 métodos de ensayo según norma española

NORMA		TITULO
EN	12579:2000	Toma de muestras
EN	12580:2000	Determinación de cantidad
EN	13037:2012	Determinación de pH
EN	13038:2012	Determinación de conductividad eléctrica
EN	13039:2012	Determinación de contenido de materia orgánica y ceniza
EN	13041:2012	Determinación de las propiedades físicas, densidad aparente seca, volumen de aire, volumen de agua, valor de contracción y porosidad total.
CR	13455	Guía para la seguridad de los usuarios, el medio ambiente y las plantas.
EN	13650:2002	Extracción de elementos solubles en agua regia
EN	13651:2002	Extracción de nutrientes solubles en cloruro de calcio /DTPA(CAT).
EN	13652:2002	Extracción de nutrientes y elementos solubles en agua.
EN	13654-1:2002	Determinación de nitrógeno Parte 1 método Kjeldahal.
EN	13654-2:2002	Determinación de nitrógeno Parte 2 método Dumas.
CR	13456:2003	Etiquetado, especificaciones y clasificaciones de productos.
EN	15238:2007	Determinación de la cantidad para materiales con tamaños de partículas mayores a 60mm.
EN	16086-1:2012	Determinación de la respuesta de las plantas Parte 1 Ensayo de crecimiento en macetas de la col china.
EN	16086-2:2012	Determinación de la respuesta de las plantas Parte 2 Ensayo en placa de Petri utilizando berro.
EN	16087-1:2012	Determinación de la actividad biológica Parte 1 Grado de absorción de oxígeno (GAO)
EN	16087-2:2012	Determinación de la actividad biológica Parte 2 Ensayo de auto-calentamiento para compost
EN	15428:2008	Determinación de la granulometría de las partículas.
EN	13040:2008	Determinación del contenido de materia seca, del contenido de humedad y de la densidad aparente compactada en laboratorio.
EN	15671:2010	Sustratos de cultivos preformados. Determinación de longitud, anchura, altura, volumen y densidad aparente
TS	16201:2013 ¹	Sludge , treated biowaste and soil- determination of viable plant seeds and propagules.
TS	16202:2013 ¹	Sludge , treated biowaste and soil -determination of impurities and stones.
Especificaciones técnicas de adopción voluntaria aprobadas por CEN, pero no traducidas por AENOR		

La norma española se basa fundamentalmente en metodologías europeas, (**UNE**=UNA NORMA ESPAÑOLA. Normas AENOR, y **UNE-EN**=UNA NORMA ESPAÑOLA-EUROPEAN NORM. Normas AENOR que son estándares europeos.

3.4.2 Norma Chilena

Tabla 3-11 Métodos de ensayo norma chilena

Determinación de microorganismos contaminantes	
Ensayo	Métodos a utilizar
Coliformes fecales	TMECC 07.01-8
Salmonella sp.	TMECC 07.02
Huevos viables de Helmintos	US EPA modificado Instituto Pasteur de Lille

Determinación de parámetros químicos	
Ensayo	Métodos a utilizar
Compuestos volátiles para determinación de olores	TMECC 05.06-A
Conductividad eléctrica	TMECC 04.10
pH	TMECC 04.11
Contenido de materia orgánica	TMECC 05.07-A
Nitrógeno total	TMECC 04.02-D

Determinación de parámetros químicos	
Relación c/n	TMECC 05.07-A ¹⁾ TMECC 05.07- A ²⁾
Metales pesados	TMECC 04.06
Ácidos y volátiles	TMECC 05.10- A

Determinación de parámetros físicos	
Ensayo	Método a utilizar
Capacidad de retención de humedad	TMECC 03.01-B
Partículas y material inerte	AS 4454
Tamaño de partículas	TMECC 02.02-C modificado ³⁾
Densidad aparente	TMECC 03.01 A-B-C
Espacio poroso	TMECC 03.01 A-B-C
Contenido de humedad	TMECC 03.09

Determinación de parámetros de madurez del compost	
Ensayo	Método a utilizar
Evolución de CO ₂	TMECC 05.08-B ⁴⁾
Absorción de oxígeno	TMECC 05.08-A
Auto calentamiento	TMECC 05.08-D
Germinación de semillas de rabanito	TMECC 05.05-A
Ensayo de Solvita [®]	TMECC 05.08-E

- 1) Este ensayo se debe emplear en forma obligatoria para ratificar resultados
- 2) Este método se puede utilizar como alternativa para la determinación de carbono orgánico, considerando un factor de conversión de 1.8
- 3) Se debe reemplazar tamiz de 15mm por tamiz de 16mm y tamiz de 5 mm por tamiz de 4mm.
- 4) Se expresa como C-CO₂/g de materia orgánica por día.

La norma chilena se basa fundamentalmente en los procedimientos establecidos por Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC), publicado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos - US Department of Agriculture (USDA) y la Fundación de Educación e Investigación del Consejo de Compostaje - Composting Council Research and Education Foundation (CCREF).

3.4.3 Norma DF México

Los métodos válidos para realizar los análisis según la norma **NADF-020-AMBT-2011** son los siguientes:

A1.1. Humedad

- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (7.1.5)
- Método AS-05: Contenido de humedad del suelo.
- SÓLIDOS TOTALES Y AGUA, Secado a $70\pm 5^{\circ}\text{C}$ (Sadzawka et al., 2005)
- TMECC, Method 03.09

A1.2. pH

- Norma Mexicana NMX-AA-025-1984: Determinación del pH – Método potenciométrico
- Suspensión en agua 1:5 (Sadzawka et al., 2005)
- TMECC, Method 04.11

A1.3. Conductividad eléctrica

- Método AS-18, Medición de la conductividad eléctrica.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (7.2.5)
- Extracto 1:5 (Sadzawka et al., 2005)
- TMECC, Method 04.10.

A1.4. Materia orgánica

- Método AS-07, Contenido de materia orgánica.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (7.1.7)
- Pérdida por calcinación a 550°C (Sadzawka et al., 2005)
- TMECC, Method 05.07. 82 GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL 30 de noviembre de 2012

A1.5. Carbono total

- Cálculo a partir de la materia orgánica (Sadzawka et al., 2005)

A1.6. Nitrógeno total

- Método AS-25, Nitrógeno total por procedimiento de digestado
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis (7.3.17)
- Digestión Kjeldahl, destilación de NH_3 y titulación (Sadzawka et al., 2005)
- TMECC, Method 04.02

A1.7. Relación C/N

- Norma Mexicana NMX-AA-067-1985.-Protección al Ambiente-Contaminación del suelo-Residuos Sólidos Municipales- Determinación de la relación Carbono/Nitrógeno.
- Relación carbono/nitrógeno (Sadzawka et al., 2005)
- TMECC, Method 05.07 y 05.02

A1.8. Macronutrientes (NPK)

- Nitrógeno (ver nitrógeno total)
- Fósforo:
 - AS-10, procedimiento de Olsen y colaboradores, Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis
 - Espectrofotometría de absorción o emisión atómica o colorimétrico (Sadzawka et al., 2005)
- Potasio: - AS-12, CIC, con acetato de amonio, Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis
- Espectrofotometría de absorción o emisión atómica (Sadzawka et al., 2005)

A1.9. Elementos traza

- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.-

Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (Anexo VI).

- Espectrofotometría de absorción atómica (Sadzawka et al., 2005)
- TMECC, Method 04.06

A1.10. Coliformes fecales

- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.-

Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, (Anexo III)

- TMECC, Method 07.01

A1.11. Salmonella

- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.-

Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, (Anexo IV)

- TMECC, Method 07.02

A1.12. Huevos de Helmintos viables

- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección Ambiental.- Lodos y biosólidos.-

Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final, (Anexo V)

- US EPA Modificado, Instituto Pasteur Lille

30 de Noviembre de 2012 GACETA OFICIAL DEL DISTRITO FEDERAL 83

A1.13. Estabilidad

- Método en campo: Diferencia de la medición de temperatura a una profundidad ≥ 50 cm en 5 intervalos de 24 h

- Auto calentamiento: TMECC, Method 05.08-D

A1.14. Madurez evaluada por Fitotoxicidad.

- TMECC, Method 05.05-A

- Método propio con base en: Zucconi et al 1985 y Tiquia 2000. Anexo II de la presente Norma

3.5 Comentarios generales sobre los métodos de ensayo de las diferentes normas

Los métodos establecidos por las diferentes normas **no siempre permiten la comparación de los resultados obtenidos.**

Tenemos por ejemplo que la norma australiana han publicado un procedimiento de prueba para "extracción de nitrógeno" (AU- 99), habiendo descartado la prueba de relación C: N por no ser satisfactoria para indicar el potencial de inmovilización. (Brinton, 2000).

El laboratorio de fertilizantes del departamento de Ensayos Inorgánicos del Organismo de Investigación y Asistencia Tecnológica (OIAT) del Instituto Nacional de Tecnología Normalización y Metrología (INTN), ha utilizado para la determinación de nitrógeno en el compost la Norma Técnica Colombiana- NTC y para la determinación de carbono orgánico la Norma IBRT debido a que no se dispone de una norma paraguaya para dichas determinaciones.

Tabla 3-12 Determinación de relación C/N según distintos laboratorios

	Nov-15	Dec-15	Jan-16	Feb-16	50% RSU	50% estierc.	Promedios
N %	3,73	4,2	4,49	0,29	0,58	0,29	2,3
C %	6,8	16,6	11,8	19,7	7,6	7,9	11,8
C/N	1,83	3,96	2,62	68,04	13,06	27,41	19,5
N %	1,25	1,00	2,42	1,32	0,98	0,81	1,3
C %	33,89	38,98	45,88	48,52	23,56	19,47	35,1
C/N	27,11	38,98	18,96	36,76	24,04	24,04	28,3
Cociente N	3,0	4,2	1,9	0,2	0,6	0,4	1,7
Cociente C	5,0	2,3	3,9	2,5	3,1	2,4	3,0
Cociente C/N	14,8	9,8	7,2	0,5	1,8	0,9	1,5
	INTN			UNA			

3.6 Necesidad de la formulación de una norma paraguaya

Es necesario formular una norma paraguaya que establezca:

- Requerimientos mínimos para la producción de compost y
- Especificaciones mínimas de calidad del compost

De este modo, los generadores de residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales (municipios, establecimientos agrícolas ganaderos, industriales, empresas de saneamiento urbano, comunidades y hogares, etc.) Tendrán un guía sobre el procedimiento recomendado para producir el compost a partir de la amplísima gama de materiales compostables. Se reproduce la lista contenida en la norma española:

LISTA DE RESIDUOS ORGANICOS BIODEGRADABLES

Materiales relacionados en la lista europea de residuos. Decisión 2001/118/CE de 16 de enero de 2001, transpuesta por la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero.

02 RESIDUOS DE LA AGRICULTURA, HORTICULTURA, ACUICULTURA, SILVICULTURA, CAZA Y PESCA; RESIDUOS DE LA PREPARACION Y ELABORACION DE ALIMENTOS

02 01 Residuos de la agricultura, horticultura, acuicultura, silvicultura, caza y pesca

02 01 01 Lodos de lavado y limpieza

02 01 02 Residuos de tejidos animales (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009)

02 01 03 Residuos de tejidos vegetales

02.01.06 Deyecciones de animales, estiércoles y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan

02 01 07 Residuos de la silvicultura

02 02 Residuos de la preparación y elaboración de carne, pescado y otros alimentos de origen animal (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009)

02 02 01 Lodos de lavado y limpieza

02 02 02 Residuos de tejidos de animales

02 02 03 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 02 04 Lodos del tratamiento "in situ" de efluentes

02 03 Residuos de la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, aceites comestibles, cacao, café, té y tabaco; producción de conservas; producción de levadura y extracto de levadura, preparación y fermentación de melazas

02 03 01 Lodos de lavado, limpieza, pelado, centrifugado y separación

02 03 04 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración 02 03 05 Lodos de tratamiento "in situ" de efluentes

02 04 Residuos de la elaboración de azúcar

02 04 03 Lodos de tratamiento "in situ" de efluentes

02 05 Residuos de la industria de productos lácteos

02 05 01 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 05 02 Lodos de tratamiento "in situ" de efluentes

02 06 Residuos de la industria de panadería y pastelería

02 06 01 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 06 03 Lodos de tratamiento "in situ" de efluentes

02 07 Residuos de la producción de bebidas alcohólicas y no alcohólicas (excepto café, té y cacao)

02 07 01 Residuos de lavado, limpieza y separación mecánica de materias primas

02 07 02 Residuos de la destilación de alcoholes

02 07 04 Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración

02 07 05 Lodos de tratamiento "in situ" de efluentes

03 RESIDUOS DE LA TRANSFORMACION DE LA MADERA Y DE LA PRODUCCION DE TABLEROS Y MUEBLES, PASTA DE PAPEL, PAPEL Y CARTON

03 01 Residuos de la transformación de la madera y de la producción de tableros y muebles

03 01 01 Residuos de corteza y corcho

03 01 05 Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas que no contienen sustancias peligrosas.

03 03 Residuos de la producción y transformación de pasta de papel, papel y cartón 03 03 01 Residuos de corteza y madera

03 03 02 Lodos de lejías verdes (procedentes de la recuperación de lejías de cocción)

03 03 08 Residuos procedentes de la clasificación de papel y cartón destinados al reciclado 03

03 10 Desechos de fibras y lodos de fibras, de materiales de carga y de estucado, obtenidos por separación mecánica 03 03 11 Lodos del tratamiento "in situ" de efluentes, distintos de los especificados en el código 03 03 10

04 RESIDUOS DE LAS INDUSTRIAS DEL CUERO, DE LA PIEL Y TEXTIL

04 01 Residuos de las industrias del cuero y de la piel

04 01 01 Carnazas y serrajes del encalado

04 01 07 Lodos, en particular los procedentes del tratamiento in situ de efluentes, que no contienen cromo

04 01 99 Residuos no especificados en otra categoría: residuos del curtido vegetal de piel (virutas) que no contienen cromo.

04 02 Residuos de la industria textil

04 02 10 Materia orgánica de productos naturales (por ejemplo grasa, cera)

04 02 20 Lodos de tratamiento in situ de efluentes que no contienen sustancias peligrosas
04 02 21 Residuos de fibras textiles no procesadas

19 RESIDUOS DE LAS INSTALACIONES PARA EL TRATAMIENTO DE RESIDUOS

19 05 Residuos del tratamiento aeróbico de residuos sólidos

19 05 01 Fracción no compostada de residuos municipales y asimilados

19 05 02 Fracción no compostada de residuos de procedencia animal (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009) o vegetal

19 06 Residuos del tratamiento anaeróbico de residuos

19 06 03 Licores (“digestato”) del tratamiento anaeróbico de residuos municipales

19 06 04 Materiales de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos municipales

19 06 05 Licores (“digestato”) del tratamiento anaeróbico de residuos animales (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009) y vegetales

19 06 06 Materiales de digestión del tratamiento anaeróbico de residuos animales (salvo lo exceptuado en el Reglamento 1069/2009) y vegetales.

19 08 Residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales no especificadas en otra categoría

9 08 05 Lodos del tratamiento de aguas residuales urbanas, con contenidos en metales pesados inferiores a los establecidos en el real decreto 1310/1990.

19 08 12 Lodos procedentes del tratamiento biológico de aguas residuales industriales, que no contienen sustancias peligrosas

19 08 14 Lodos procedentes de otros tratamientos de aguas residuales industriales, que no contienen sustancias peligrosas

20 RESIDUOS MUNICIPALES (RESIDUOS DOMÉSTICOS Y RESIDUOS ASIMILABLES PROCEDENTES DE LOS COMERCIOS, INDUSTRIAS E INSTITUCIONES), INCLUIDAS LAS FRACCIONES RECOGIDAS SELECTIVAMENTE

20 01 Fracciones recogidas selectivamente

20 01 08 Residuos biodegradables de cocinas y restaurantes

20 01 25 Aceites y grasas comestibles

20 01 38 Madera que no contiene sustancias peligrosas

20 02 Residuos de parques y jardines

20 02 01 Residuos biodegradables

20 03 Otros residuos municipales

20 03 02 Residuos de mercados de origen vegetal y animal

20 03 04 Lodos de fosas sépticas

4 Referencias

- Barbaro et al, Lorena A. Barbaro, Mónica A. Karlanian y Diego A. Mata. Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria INTA
- BOE 2010 Real Decreto 865/2010, de 2 de julio, sobre sustratos de cultivo. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO núm. 170, de 14 de julio de 2010, páginas 61831 a 61859 (29 págs.)
- BOE, 2013 Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. BOLETÍN OFICIAL DEL ESTADO Núm. 164 miércoles 10 de julio de 2013 Sec. I. Pág. 51119
- Brinton, 2000 William F. Brinton, from Woods End Research Laboratory, Inc. COMPOST QUALITY STANDARDS & GUIDELINES Final Report. Prepared for New York State Association of Recyclers. December 2000
- Cornell,2018 Calculadora de Relación C/N para tres materiales. Universidad de Cornell. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR Experiencias en América Latina.
- FAO,2013 Autores Pilar Román María M. Martínez y Alberto Pantoja . Editor: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Oficina Regional para América Latina y el Caribe Santiago de Chile, 2013
- INN,2004 División de Normas del Instituto Nacional de Normalización NORMA CHILENA OFICIAL NCh2880.Of2004 Compost - Clasificación y requisitos. Santiago de Chile,. 2004
- MMAMRM,2008 MANUAL DE COMPOSTAJE. Amigos de la Tierra España - C/ Cadarso, 16 Bajo E - 28008 - Madrid
- SET,2018 Hazte amigo de la Tierra: 902 366 311 - www.tierra.org EDITA: GOBIERNO DE ESPAÑA MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones
- Secretaria de Tributación. Paraguay. Portal WEB. Cotizaciones históricas <http://www.set.gov.py/portal/PARAGUAY-SET/InformesPeriodicos?folder-id=repository:collaboration:/sites/PARAGUAY-SET/categories/SET/Informes%20Periodicos/cotizaciones-historicos>
- Secretaria del Medio Ambiente del Distrito .Federal. NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, QUE ESTABLECE LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, AGRÍCOLAS, PECUARIOS Y FORESTALES, ASÍ COMO LAS ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE CALIDAD DE LA COMPOSTA PRODUCIDA Y/O DISTRIBUIDA EN EL DISTRITO FEDERAL. DF, Mexico, 2011
- UPM e ICA, 2005 Universidad Politécnica de Madrid y Instituto de Ciencias Agrarias del Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España. Unidad Didáctica 9. Compostaje. Madrid 2005
- ZAPPY,2018 Catálogo de máquinas para gestión de residuos. Zappy S.A. Barrio Alejandrino, Santa Rita, Alto Paraná. zappyventas@gmail.com





Universidad Central del Paraguay

Avenida Brasilia N° 1.158
e/ Tte. 2° Benigno Villamayor c/ Insaurralde
Asunción – Paraguay
Código Postal 1429.
Teléfonos: +595 (021) 280 231, (021) 33 88 190,
0800116900.
<http://www.central.edu.py/publicaciones>



**UNIVERSIDAD
CENTRAL
DEL PARAGUAY**

Proyectando un futuro de excelencia

