

Universidad del Bío-Bío

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Profesor Patrocinante: Pedro Cisterna O.

EVALUACIÓN DEL EFECTO DIFERENCIAL DEL MEZCLADO MECÁNICO EN BIODEGRADACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN COMPOSTAJE AERÓBICO EN PILAS DE AIREACIÓN POR DIFUSORES.

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para
obtener el título de Ingeniero Civil

MAURICIO JAVIER RAMIREZ TORRES

Concepción Mayo 2013

EVALUACIÓN DEL EFECTO DIFERENCIAL DEL MEZCLADO MECÁNICO EN LA BIODEGRADACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL COMPOSTAJE AERÓBICO EN PILAS DE AIREACIÓN POR DIFUSORES.

Mauricio Ramírez Torres

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
mauramir@alumnos.ubiobio.cl

Pedro Cisterna Osorio

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío
pcisterna@ubiobio.cl

Resumen

El compostaje aeróbico como medio de solución para los residuos orgánicos es una solución utilizada ampliamente, sin embargo tiene limitantes como el área de disposición y el tiempo concurrido para obtener resultados, por ello es fundamental optimizar el proceso. Con este fin se propone incluir un mezclador mecánico en pilas de compostaje con aireación pasiva con el fin de evaluar el efecto sobre la biodegradación de materia orgánica en pilas de compostaje con aireación por difusores. En primera instancia se crea un dispositivo para ello, luego se ensayan tres pilas de compostaje aeróbico las aireación pasiva, la aireación pasiva incluyendo el mezclador y por último una pila de aireación por volteo que sirve como medio de comparación por su alta tasa de biodegradabilidad comprobada.

Los resultados obtenidos muestran un aumento en la biodegradabilidad del material compostado, en la pila de aireación pasiva incluido el mezclador mecánico en comparación con la pila de aireación por difusores de aire, no sucede de la misma forma con la aireación por volteo, sin embargo se acercan bastante los resultados de este método a los de volteo.

Palabras claves: compostaje aeróbico, mezclador mecánico, aireación pasiva y por volteo, biodegradabilidad.

5.448 Palabras Texto +18 Figuras/Tablas*250 = 9.948 Palabras totales

Abstract

The aerobic composting as a means of solution for organic wastes is a widely used solution, however it has limitations as the disposal area and lapsed time to get results, so it is essential to optimize the process and the resources invested in it. To this end, the solution of including a mechanical mixer in composting stack of passive ventilation is presented to evaluate this system in the biodegradation of organic matter compost piles ventilation diffusers. At the very beginning, a device is created for it, then, three aerobic composting stacks with passive ventilation are tested. The passive ventilation, including a mixer and finally, a tumbling ventilation stack that serves as a means of comparison for its proven high biodegradation rate.

The results show an increase in the biodegradability of the material composted in a passive ventilation stack including a mechanical mixer in comparison with the ventilation stack by tumbling, it does not happen in the same way with the ventilation by tumbling, however the results are very close to the tumbling method.

Keywords: aerobic composting, mechanical mixer, passive ventilation and by tumbling, biodegradability.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	Objetivos.....	7
1.1.1	Objetivo General:	7
1.1.2	Objetivos Específicos:	7
2	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	8
2.1	Etapas del Compostaje.....	8
2.1.1	Etapa Mesófila.....	9
2.1.2	Etapa Termófila	9
2.1.3	Etapa de Enfriamiento	10
2.1.4	Etapa de Maduración	10
2.2	Factores que Afectan el Proceso de Compostaje	10
2.2.1	Temperatura.....	10
2.2.2	Humedad.....	11
2.2.3	Relación Carbono-Nitrógeno.....	11
2.2.4	pH	12
2.2.5	Microbiología	12
2.2.6	Consumidores Primarios	12
2.2.7	Consumidores Secundarios	13
2.2.8	Consumidores Terciarios	13
2.3	Reacciones Químicas del Proceso	13
2.4	Alcances.....	14
3	METODOLOGÍA	15
3.1	Aparatos y Equipo	15

3.2	Emplazamiento del Proyecto	15
3.3	Métodos de Aireación	16
3.3.1	Compostaje por Volteo	16
3.3.2	Compostaje de Aireación Pasiva	17
3.3.3	Compostaje de Aireación Forzada.....	18
3.4	Metodología General	18
3.4.1	Diseño del Mezclador.....	19
3.4.2	Implementación de las Pilas	22
3.4.3	Residuos Utilizados	22
3.4.4	Cálculo de la Relación de Nutrientes	23
3.4.5	Instalación Experimental	23
3.4.6	Características de los Materiales a Compostar	25
3.4.7	Cálculo de Variables en las Pilas.....	25
3.5	Procedimiento de Trabajo en las Pilas.....	27
3.5.1	Composición de la Mezcla	27
3.5.2	Reducción de Tamaño	27
3.5.3	Humectación.....	27
3.5.4	Aireación	28
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
4.1	Resultados en el Diseño del Mezclador	29
4.2	Composición de los Residuos En las Pilas	29
4.3	Análisis Comparativo en las Pilas de Compostaje.....	30
4.3.1	Humedad.....	30
4.3.2	Temperatura Interna	31
4.3.3	pH Interno de la Pila.....	32
4.3.4	Sólidos Volátiles.....	33

4.3.5	Sólidos Minerales	33
4.3.6	Análisis Comparativos de Biodegradabilidad y Constante Endógena	34
5	CONCLUSIONES	36

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.....	39
ANEXO B.....	40
ANEXO C.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas del compostaje.....	9
Figura 2. Maquinaria de volteo.....	17
Figura 3. Pilas de aireación pasiva y forzada.	18
Figura 4. Biotractor Animal.	20
Figura 5. Sistemas de aireación por mezcla mecánica con giro de eje vertical.....	20
Figura 6. Esquema Diseño del mezclador.	21
Figura 7. Mezclador mecánico.	22
Figura 8. Esquema de difusores pila estática.....	24
Figura 9. Esquema pila con mezclador mecánico.	25
Figura 10. Gráfico de humedades en las pilas compostaje en el tiempo.	31
Figura 11. Gráfico de temperaturas en las pilas compostaje en el tiempo.	32
Figura 12. Gráfico de pH de la pila de aireación pasiva en el tiempo.....	32
Figura 13. Gráfico de sólidos minerales y volátiles en pilas de compostaje en el tiempo.	33
Figura 14. Gráfico de Constante endógena de las pilas de compostaje en el tiempo.....	34

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos y la Relación Carbono-Nitrógeno.....	23
Tabla 2. Resultados Prueba de Eficiencia de Paletas.	29
Tabla 3. Combinación de Material en las Pilas.	30
Tabla 4. Resumen variables.....	35

1 INTRODUCCIÓN

El compostaje resulta una de las soluciones más efectivas y económicas para el tratamiento de todos los residuos de tipo orgánico por el amplio rango de elementos a los cuales se aplica, además de generar un material útil en más de un aspecto, como en la aplicación de suelos degradados y su uso agrícola, sin embargo la extensión en terreno y el tiempo necesario junto con los distintos parámetros a controlar que llevan a cabo este proceso, son unas de las problemáticas a solucionar para hacer más efectivo y generar un compost de mejor calidad que lo logrado actualmente.

En este contexto es vital la mejora del proceso de compostaje, por esto se estudiará la variable de mezclado en la aireación en pilas de compostaje como nivelador de la temperatura y aumento de la oxigenación, para ello se dispondrá de pilas con aireación pasiva a una de las cuales se incluirá el mezclado mecánico para aproximarse a la situación de volteo mejorando las condiciones de aireación.

1.1 Objetivos

1.1.1 *Objetivo General:*

Evaluar el efecto diferencial del mezclado mecánico en la biodegradación de la materia orgánica en el compostaje aeróbico en pilas de aireación por difusores.

1.1.2 *Objetivos Específicos:*

- a) Diseñar el dispositivo de mezclado.
- b) Evaluar la disminución de material volátil bajo los distintos escenarios.
- c) Estudiar el comportamiento térmico interno de las distintas pilas estudiadas.
- d) Comparar los resultados de los sistemas de aireación pasiva con y sin mezcla, con el sistema de aireación por volteo.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El proceso de compostaje es una estabilización, de la materia orgánica biodegradable, descomponiendo las moléculas orgánicas a través de microorganismos que liberan energía elevando la temperatura, además de agua en forma de vapor y CO₂, resultando un desecho denominado compost que es utilizado principalmente como fertilizante en la agricultura, por su alto contenido de nutrientes, aunque es posible su utilización en el mejoramiento de suelos degradados, evitando la erosión, esto se debe al efecto de absorción de agua, en suelos arenosos, y la disminución de la impermeabilidad en suelos arcillosos.

El buen funcionamiento en el proceso de compostaje se debe al control de varios factores, que inciden directamente en el buen desarrollo de los microorganismos, estos son una correcta humedad, temperatura, PH, aireación y una relación de sustratos que son base de la alimentación de los organismos encargados de degradar la materia.

En el proceso de compostaje participan tanto bacterias, hongos, levaduras y otros organismos que se clasifican en el periodo de acción de estos y la función que desempeñan, ya que el compostaje en su proceso exotérmico por lo que puede aumentar la temperatura hasta niveles muy elevados, se recomienda como nivel máximo los 70°C, ya que sobre este nivel los agentes degradantes mueren por el alto nivel de la temperatura y aquellos que sobreviven no trabajan en condiciones óptimas para este fin.

2.1 Etapas del Compostaje

En este proceso se describen cuatro etapas delimitadas principalmente por las temperaturas internas de las pilas y los procesos biológicos sucedidos. A continuación se presenta la figura 1 respecto de la temperatura y las etapas.



Figura 1. Etapas del compostaje.

2.1.1 Etapa Mesófila

En esta primera etapa comienza la biodegradación por parte de microorganismos, bacterias y hongos principalmente, que se multiplican rápidamente sin embargo el proceso empieza a temperatura ambiente y llega hasta los 40°C (Sztern y Pravia, 1999). Los organismos participantes en este proceso se denominan mesófilos y son los encargados de degradar la materia orgánica en su estado original en este proceso, sin embargo no alcanzan a degradar las moléculas complejas o poco biodegradables, ejemplo de estos son lípidos.

2.1.2 Etapa Termófila

Los microorganismos activos de este proceso son denominados termófilos y se encargan de degradar moléculas de grasas, azúcares, proteínas etc. En este proceso podemos estabilizar la materia orgánica eliminando agentes patógenos presentes en la materia prima alcanzando, para este fin, temperaturas sobre los 55°C, estas mismas pueden sobrepasar los 70°C por eso se debe controlar esta variable ventilando o humectando la pila ya que estas temperaturas podrían pasteurizar el compost y este quedaría estéril por la muerte de toda actividad microbiana y se frena el compostaje.

2.1.3 Etapa de Enfriamiento

En esta etapa la temperatura va desde los 40°C hasta la temperatura ambiente reapareciendo los microorganismos mesófilos que terminan de descomponer la materia biodegradable restante, efecto de la división de moléculas complejas en la etapa anterior, la baja de temperatura marca el final de la biodegradación en la pila.

2.1.4 Etapa de Maduración

En esta etapa el compost tiene requerimientos mínimos de aireación y humectación ya que la actividad microbiana decae rápidamente llegando casi a la desaparición de las grandes masas de microorganismos detallados en las etapas anteriores. También en este punto se producen antibióticos y otros microorganismos que estabilizan la materia orgánica. Es importante destacar que la temperatura a la cual funciona esta etapa es la ambiental.

2.2 Factores que Afectan el Proceso de Compostaje

Puesto que el compostaje es un proceso natural los factores que afectan su comportamiento son muchos y variados, también puede llegar a afectar en gran medida la biodegradación que se produzca en la materia. Los factores que más influyen en el proceso son: la temperatura, la humedad, la relación carbono-nitrógeno, el PH y aireación.

2.2.1 Temperatura

Esta variable, en el proceso de compostaje, se ve reflejada por la acumulación de calor, debido a procesos aerobios en las primeras etapas partiendo por microorganismos mesófilos que retienen calor en el mismo material de compost que sirve de cobertura, alcanzando un nivel de temperatura medio, hasta los 40°C, para que luego actúen los microorganismos termófilos, la temperatura alcanzada puede eliminar agentes patógenos por este efecto, desde los 55°C (Pérez, 2008) en adelante. Es importante su control por que indica los niveles alcanzados por el compost en cuanto a biodegradación y puede llegar a niveles de temperatura donde elimina a los microorganismos termófilos neutralizando el proceso de biodegradación, los incrementos de temperatura también indican el aumento de actividad microbiana desarrollada en niveles controlados.

2.2.2 Humedad

El contenido de humedad en el material a compostar es de gran importancia gracias a que los microorganismos dan cabida a la biodegradación sintetizando las moléculas orgánicas disueltas en el agua y utilizan este medio como transporte para las colonias.

Los niveles de humedad óptimos están entre el 50% a 60% para mezclas de compost se recomienda este límite superior ya que el compostaje es un proceso de secado, aunque depende del material utilizado por el tamaño de la partícula que genera los intersticios. Es necesario tomar control de esta variable ya que un exceso de humedad puede conducir a una condición anaeróbica y generar malos olores. Por el contrario bajar el nivel de humedad de 35% a 40% de humedad reduce la tasa de descomposición y bajo el 30% está prácticamente parada (Richard y Trautmann, 1996).

La cantidad de humedad a lo largo del compostaje es importante y se puede disminuir fácilmente volteando el material facilitando la evaporación, pero por otra parte es necesaria una humedad mínima que puede restablecerse humectando directamente con agua la pila.

2.2.3 Relación Carbono-Nitrógeno

Los microorganismos que hacen posible la biodegradación del material a compostar consumen diferentes nutrientes en los distintos procesos metabólicos que desarrollan. La materia orgánica utilizada se convierte en las nuevas células y la energía requerida es obtenida de las moléculas de carbono disponibles y el exceso de este se desprende en forma de dióxido de carbono.

Para el compostaje aeróbico la relación carbono-Nitrógeno debe de ser 25:1 a 35:1 (Ahumada, 2005), esto debido a que el consumo de carbono esta por sobre el consumo de nitrógeno que se encuentra generalmente en forma orgánica en el material a compostar donde es modificado para que los microorganismos puedan utilizar.

, ya que los distintos materiales o desechos tienen distinta relación de nutrientes, una simple forma de calcular una correcta relación Carbono-Nitrógeno es a través de la ecuación 1. En el compost, por ser una mezcla heterogénea, la relación de Carbono-Nitrógeno depende del material que lo compone

$$C:N = \frac{C:N_n * \gamma_n}{\gamma_n} \quad \text{Ec. (1)}$$

$C:N$ = Relación Carbono-nitrógeno de la mezcla.

$C:N_n$ = Relación carbono nitrógeno del material n.

γ_n = Peso seco del material n.

2.2.4 *pH*

Esta variable condiciona los grupos de microorganismos a desarrollarse en el compost, por esto es importante manejar valores de PH cercanos al neutro en la composición del material o pilas a compostar. Esto asegurará una cinética favorable en el desarrollo del compostaje, ya que valores bajos de pH inhiben el crecimiento de ciertos grupos de microorganismos y lo mismo sucede con valores alcalinos.

En el desarrollo del proceso se observa una acidificación de la mezcla en los primeros días debido al crecimiento bacteriano y el consumo de Oxígeno, para luego en la etapa termofílica subir el PH a valores cercanos a 8 para continuar en la fase final con valores cercanos al neutro.

2.2.5 *Microbiología*

En el proceso de compostaje, trabajan distintos grupos de microorganismos los cuales cumplen funciones específicas a lo largo de todas las etapas que lo componen.

Se distinguen claramente tres grupos consumidores primarios, secundarios y terciarios, estos se pueden subdividir según origen orgánico y función en el proceso.

2.2.6 *Consumidores Primarios*

La principal característica de estos consumidores es que son capaces de ingerir la materia orgánica a descomponer directamente, sin ningún proceso previo, entre estos organismos se distinguen:

a) Bacterias

Organismos unicelulares numerosos en el interior de pila, son los más pequeños y están presente a lo largo de todo el proceso. Son capaces de degradar moléculas complejas como proteínas, lípidos y grasas en otras más simples, su fase de actividad principal es la etapa termófila desde los 40°C en adelante aunque igualmente se pueden ver en las etapas mesófila y enfriamiento.

b) Actinomicetos

Estos son un grupo de bacterias específico dentro del compost, son menores en número comparado con las anteriores, pero tiene la capacidad de degradar moléculas complejas como celulosa, lignina, quitina y proteínas, también se caracterizan por producir antibióticos y el humus como resultado final. La etapa que más caracteriza a estas bacterias es la de enfriamiento, por la temperatura de desarrollo y la estabilización a la materia orgánica, sin embargo se encuentran en las etapas anteriores para la degradación de los compuestos mencionados.

c) Hongos

Son organismos multicelulares presentes con una gran masa, sin embargo son escasos en número, viven en la superficie de la pila, debido a la sensibilidad de la temperatura, su principal aporte de biodegradación son polímeros complejos como celulosa, la etapa de formación es la mesófila.

d) Protozoos

Organismos unicelulares, que pueden ser primarios y secundarios consumiendo hongos y bacterias, también son capaces de degradar polímeros simples a lo largo del proceso.

Dentro de los consumidores primarios podemos distinguir organismos mayores como lombrices, moscas, ácaros, cochinillas, caracoles, etc. que se presentan al final de proceso.

2.2.7 *Consumidores Secundarios*

Son macroorganismos presentes en la biodegradación y se distinguen de los anteriores ya que su principal fuente de alimento son los consumidores primarios, de los cuales podemos distinguir a protozoos, tijeretas, ácaros de molde, rotíferos, etc. se presentan principalmente entre las etapas de enfriamiento y maduración.

La función específica de estos consumidores es el control de la materia orgánica muerta en el compost, ya que el aumento de los microorganismos en el compost no refleja una disminución de la materia en el compost, sino más bien una transformación de ella.

2.2.8 *Consumidores Terciarios*

Al igual que los anteriores son macroorganismos, diferenciándose ya que se alimentan de materia orgánica viva, su fuente principal de alimento son los consumidores primarios y secundarios, esto produce el efecto de limpieza del compost estabilizando su actividad orgánica. Los organismos que lo componen son arañas, alacranes, ácaros predadores, ciempiés y escarabajos, al igual que los consumidores secundarios se presentan al final del proceso.

2.3 **Reacciones Químicas del Proceso**

En el compostaje se producen muchas reacciones químicas complejas, debido a los microorganismos que participan en él, este proceso se puede simplificar de buena forma en el siguiente balance.

3 METODOLOGÍA

En este capítulo se describe la metodología aplicada, para poder lograr los objetivos de este Proyecto de Título.

3.1 Aparatos y Equipo

Los materiales a utilizar serán los siguientes:

- Balanza con precisión de 0,01g.
- Crisoles.
- Desecador.
- Mufla.
- Laboratorio de Química Aplicada Facultad de Ciencias.
- Base y cubierta de polietileno para cada pila.
- Mezclador mecánico.
- Termómetro de alcohol de -10 a 110 °C.
- Papel pH.
- Pala y tridente para realizar el volteo.
- Papel filtro.
- Probeta.
- Horno de secado Laboratorio de Ciencias de la Construcción.

3.2 Emplazamiento del Proyecto

El estudio se realizó en las dependencias del Centro Cultural Küme Mongen ubicado en km 4,5 Camino Nonguén. En él se emplazó en un espacio determinado para el compostaje, en el cual se realizó un escarpe para luego emplazar las pilas.

Para la mantención de la humedad se instaló una capa de polietileno en la base de la pila, esta capa también cumple la función de aislar los lixiviados generados en cada pila. Junto con ello se instaló una capa de polietileno de cobertura para aislar de la lluvia a las pilas de compostaje. Se observa en el Anexo I, el plano de emplazamiento del lugar.

3.3 Métodos de Aireación

Sin duda unos de los factores más importantes a la hora de un buen compostaje es la aireación, debido que el proceso de compostaje aeróbico tiene la necesidad de Oxígeno para la sintetización de la materia orgánica a compostar.

Cuando la aireación no cubre la necesidad del compost pasa de un estado aeróbico a anaeróbico desprendiendo nutrientes, principalmente Nitrógeno, en forma de amoniaco, forma otros productos como ácidos orgánicos y genera olores desagradables. Cuando la aireación es limitada genera una tasa de biodegradación muy lenta por lo que se recomienda un 15% a un 20% de oxigenación del volumen de los poros (Pérez, 2008), ya que los microorganismos en el proceso consumen Oxígeno que debe ser repuesto a través de distintos métodos descritos más adelante.

Además de integrar Oxígeno a la mezcla, las funciones de la aireación, cualquiera sea este el método, son la regularización de la temperatura y limitar el exceso de humedad a través de la evaporación.

Las principales técnicas de compostajes estudiadas, son el compostaje por volteo, el compostaje por aireación pasiva y el compostaje por aireación forzada. Estas técnicas toman como principal variable de control la aireación, que incide directamente en otras variables como la temperatura y la humedad.

3.3.1 *Compostaje por Volteo*

Esta técnica de aireación de compostaje trata de airear en su mayoría el compost dejando expuesto la totalidad del material mezclando en forma alzada y generando una interacción directa con el medio exterior. Esta técnica expone el material y por lo tanto genera un intercambio de gases y la incorporación de oxígeno al interior de la pila, pero a su vez produce un intercambio de temperatura con el medio, dejando prácticamente a niveles ambientales la temperatura de la pila una vez efectuado el volteo. Esta técnica puede llevarse a cabo en grandes pilas de compostaje por maquinaria pesada u otras especializadas en ello, como se muestra a continuación.



Figura 2. Maquinaria de volteo.

Fuente Montero, 2006

3.3.2 Compostaje de Aireación Pasiva

Esta técnica trata de intercambiar lo menos posible la temperatura con el medio exterior generando circuitos de aireación a través de conductos tubulares, generalmente de fierro u otro material como PVC. Por acción de la temperatura al interior de la pila y la generación de vapor de agua, los gases generan una corriente ascendente que se libera por las capas superiores en contacto con el medio ambiente, esto produce un pequeño vacío al interior de la pila que es suplido por el aire rico en oxígeno que circula por los conductos de aireación mencionados. Esta técnica provoca una estabilidad en la temperatura de la pila, pero a su vez una mala ventilación ya que no todo el material queda en contacto directo con los difusores además del material bajo ellos, lo que genera una biodegradación menor a la de otras técnicas aplicadas, (estudio realizado por Claudia Pérez, 2008, Evaluación de los efectos de la aireación en pilas de compostaje de biosólidos).

3.3.3 Compostaje de Aireación Forzada

Este tipo de compostaje permite tener los niveles de aireación controlados, 15 a 20%, y los niveles de temperatura a un máximo controlado impidiendo que suba a niveles críticos para los microorganismos que participan en el proceso activando el sistema de aireación. Este sistema se puede realizar en forma continua o en intervalos hasta que la etapa activa de compostaje se complete. Trata de difusores de aireación que inyectan el aire a través de bombas u otro método mecánico forzando la inclusión del oxígeno por lugares a los cuales la simple ventilación no llega. El método a probado ser uno de los más efectivos sin embargo el costo energético y económico resultante hace disminuir el interés en el público.

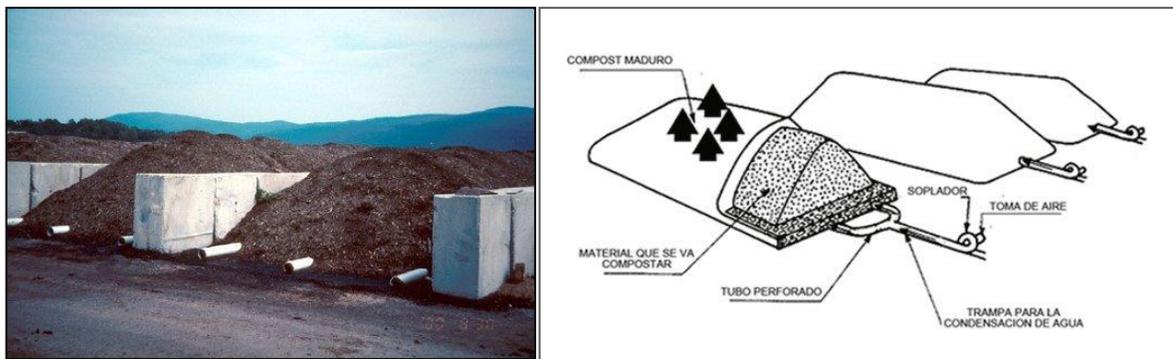


Figura 3. Pilas de aireación pasiva y forzada.

Fuente Pérez, 2008, Moral y Moreno, 2007

3.4 Metodología General

En esta investigación se estudia el comportamiento de tres pilas de compostaje, en base a distintos sistemas de aireación, la primera en base a aireación por volteo, la segunda a través de aireación pasiva y la última con un sistema de mezcla mecánica y difusión de aire, para lo cual se estudia el Proyecto de Título de Ninoska Navarrete, Biotractor Animal, proyecto para la obtención del título de Diseñador Industrial de la Universidad del Bío-Bío, maquinaria especializada en el volteo del compost.

Como base de la investigación se busca un movimiento giratorio de eje vertical para facilitar la aireación al interior de la pila, para ello se modifica el movimiento de eje horizontal estudiado, esto responde a un objetivo específico, el cual es impedir el escape de energía (calor) de la pila de compostaje por efecto del mezclado, clara diferencia con el volteo.

Luego se procede a evaluar los sistemas creados tomando como parámetro de control la deformación de la pila expuesta a la mezcla mecánica (deformación del alto y radio de la pila), evaluación requerida para la elección del sistema a evaluar.

Finalmente se procede a evaluar el sistema creado biodegradando residuos sólidos orgánicos, con dos sistemas de aireación, pasiva y el sistema por volteo, como sistemas de control para la aireación por mezclado descrito anteriormente. Para el monitoreo de los distintos sistemas de compostaje se registran distintos parámetros: temperatura, humedad, PH, sólidos volátiles y minerales, para finalmente calcular la biodegradación producida.

3.4.1 Diseño del Mezclador

Como fuente de investigación se tomo de referencia del proyecto Biotractor Animal, (Navarrete, 2007), proyecto desarrollado e instalado en CET de Yumbel (Centro de educación y tecnología), este proyecto se presenta como una solución innovadora para los problemas actuales de nuestro país y nuestra zona, ya que toma todas las ventajas de los diseños extranjeros de un volteador de compostaje, todos estos diseños en base a tracción de maquinaria pesada o maquinaria adaptada para este fin, que con este sistema de compostaje hacen un encarecimiento en su funcionamiento, por lo que se realiza en base a tracción animal.

El proyecto se desarrolla como un volteador de compostaje para pilas de residuos orgánicos agrícolas con dimensiones de 1,2 m de ancho por 0,8 m de altura por el largo definido por el usuario, como en la mayoría de los volteadores mecánicos que existen estos van volteando sobre la misma pila de compostaje por medio de aspas instaladas a un eje horizontal que gira por arrastre de la fuerza animal. Esta máquina cuenta con once filas de palas de volteo que se sitúan en espiral para que el material no se estanque o quede en la maquinaria, las palas son curvas para facilitar el giro de estas y la recolección del material al voltear, también cuenta con ruedas laterales que facilitan el desplazamiento y una estructura metálica que le da la envergadura necesaria para el ajeteo de su funcionamiento, el giro de las palas se hace a través de un sistema de engranaje que emite el giro desde las ruedas.



Figura 4. Biotractor Animal.

Fuente Navarrete, 2007

Este estudio sirve para comprender las dimensiones necesarias para generar un buen sistema de compostaje y de lo robusto que deben ser los sistemas para que no colapsen en funcionamiento.

Los giros en este sistema se generan por eje horizontal lo que lleva a un inevitable volteo y en consecuencia una aireación de casi la totalidad del material dispuesto, en perjuicio de la disminución de la temperatura.

Para el diseño del mezclador se toma el giro de la maquina y se coloca verticalmente para disminuir el intercambio de temperatura con el ambiente, también se generan dos modelos de para ensayar y trabajar el más conveniente para el caso de estudio.

En el diseño del mezclador se generan dos prototipos en base a giro de eje vertical, el primero de forma básica con paletas verticales que se ingresa al interior de la pila completamente y gira para revolver el compost y formar la circulación del aire, la segunda en forma de doble espiral descendente en dos partes para generar una circulación del aire y con un movimiento contrario al espiral con el fin de dispersar la menor cantidad de material de la pila a su alrededor.



Figura 5. Sistemas de aireación por mezcla mecánica con giro de eje vertical.

Fuente Propia

Luego de ello se crea una base de soporte para los instrumentos creados, mesa de soporte para las palas giratorias previamente descritas.

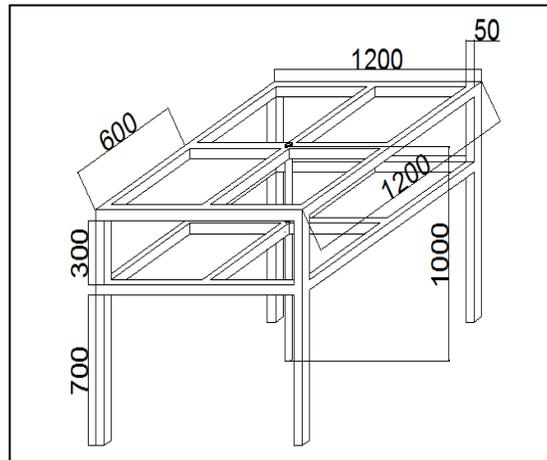


Figura 6. Esquema Diseño del mezclador.

Fuente propia

En la elección del artefacto más adecuado se ensayaron, de acuerdo a deformación provocada por el mezclado, giro de estas, dentro de los residuos, en este caso se tomarán medidas comparativas de la altura y el diámetro de la pila antes y después de la mezcla.

La pila de ensayo se generó con residuos situado en una compostera del lugar para registrar el giro con residuos en proceso y no con residuos en la fase inicial, lo que puede llevar a errores en la toma de decisión. Las dimensiones de la pila utilizadas fueron 50 cm de altura y 80 cm de diámetro para asegurar una completa inmersión del artefacto en el material a mezclar.

Las piezas son hechas de acero reciclado, tubulares cuadrados 1"X 1" y acero de construcción de 12 mm, con soldadura de unión. El marco de la estructura es hecho en acero tubular de 1,5" con soldadura de unión para las dimensiones son 1,2 x 1,2 m de sección transversal y 1 m de altura.



Figura 7. Mezclador mecánico.

Fuente Propia

3.4.2 Implementación de las Pilas

El estudio persigue determinar el comportamiento de una aireación por medio de una mezcla mecánica en el compost, para lo cual se implementa una pila con la aireación provista por un mezclador mecánico y tubos difusores de aire en la base de la pila con el fin de inyectar aire, también se implementan otras dos pilas de compostaje con métodos estudiados ampliamente, una con aireación por volteo y la otra por aireación pasiva.

Las tres pilas de iguales dimensiones y condiciones iniciales, todo el material utilizado a compostar fue de desechos orgánicos, de tipo agrícola-rural que cuenta con fecas de ganado, restos de manzana, hojas de repollo, lechuga, resto de cebolla (hojas) y cascaras de diverso tipo, esto con el fin de igualar los desechos comunes en las áreas rurales o urbano-rural (periferia de la ciudad).

3.4.3 Residuos Utilizados

Finalmente para la creación de las pilas de prueba se utilizan residuos orgánicos provenientes de distintos lugares, debido a la cantidad requerida en el momento de la implementación, uno de estos es la Vega Monumental, donde se toman los residuos orgánicos sin descomposición, junto con ellos se recolectan residuos agrícolas provenientes de los alrededores del centro, principalmente guano equino y bovino.

3.4.4 Cálculo de la Relación de Nutrientes

Para una correcta condición inicial del material a compostar se mezclan los residuos para generar una relación Carbono-Nitrógeno cercano al óptimo, 30 a 1. La combinación de los residuos se calcula en base a la ecuación 1 descrita anteriormente.

La relación de Carbono y Nitrógeno de los materiales a compostar se estiman de tablas teóricas, junto con la humedad de estos mismos materiales, ya que es necesario ingresar los valores secos de los distintos materiales utilizados, estos se estiman con valores promedios de los mismos.

Tabla 1. Elementos y la Relación Carbono-Nitrógeno.

Fuente Sánchez, 2011, López et al, 2010

Material	Nitrogeno % (promedio)	Relación C:N (promedio)	Humedad % (promedio)
Cascara de Manzana	1,1	48	88
Carton	0,1	500	8
Restos de Comida	2,5	15	69
Hollejos de uva	1,8	28	75
Césped cortado	3,4	17	82
Heno (leguminoso)	2,5	16	10
Heno (no-leguminoso)	1,3	32	10
Hojas	1	54	38
Estiercol (vacas)	2,5	19	81
Estiercol (caballos)	1,6	30	72
Papel de diarios	0,1	400	5
Cascara de arroz	0,3	120	14
Aserrín	<0,1	442	40
Paja (cereales)	1,3	75	10
Virutas e Madera	<0,1	500	5

El material a compostar es pesado en proporciones necesarias para generar la relación antes mencionada.

3.4.5 Instalación Experimental

Se generan tres pilas de compostaje aeróbico, para ello se instalan en fila con dimensiones iniciales iguales, ancho 60 cm x 50 cm de altura, y un largo de 70 cm. El peso que alcanzan es de 70 kg aprox.

- En la pila de aireación por volteo se acumulan los residuos luego del cálculo de los nutrientes, las dimensiones son las anteriormente descritas al igual que el peso. Su disposición no requiere mayor infraestructura por lo que se procese a cubrirla con el polietileno dispuesto.

- b) La pila de aireación pasiva requiere de tubos difusores, para lo cual se confeccionan con tubos de PVC de 1 pulgada de diámetro. Se instalan en forma vertical difusores de aire de 10 cm aprox. con el fin de direccionar el aire al interior de la pila en forma ascendente.

Para realizar la ventilación pasiva se colocan dos filas de tubos difusores la primera a la altura de la base y la segunda a una altura de 25 cm aprox. La primera fila difusora cuenta con 3 tubos conectados entre sí por medio de otros tubos de PVC del mismo ancho y la segunda fila cuenta con 2 tubos no conectados y distanciados como indica el siguiente esquema.

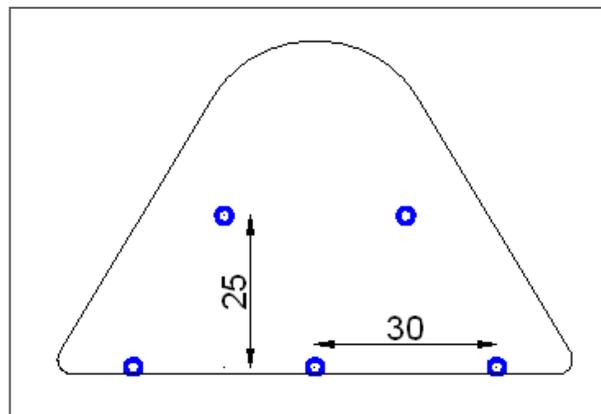


Figura 8. Esquema de difusores pila estática.

La pila cuenta con las mismas dimensiones anteriormente descritas y el peso es aprox. el mismo de la pila de volteo.

- c) La pila de aireación de mezcla mecánica se implementa la maquinaria descrita de base cuadrada y se instalan dos tubos difusores conectados entre sí en la base de la pila a compostar, este es debido que la pila con mezcla mecánica, se revuelve el compost en su interior y debe ingresar el aire (Oxígeno) de forma pasiva u otro método. Debido a que el mezclador revuelve el compost y este tiende a expandir su base este se acota con barreras laterales, método utilizado en pilas por volteo.

Las dimensiones utilizadas en esta pila son distintas a las anteriores debido a la maquinaria utilizada, sin embargo la cantidad a compostar no varía de las anteriores.

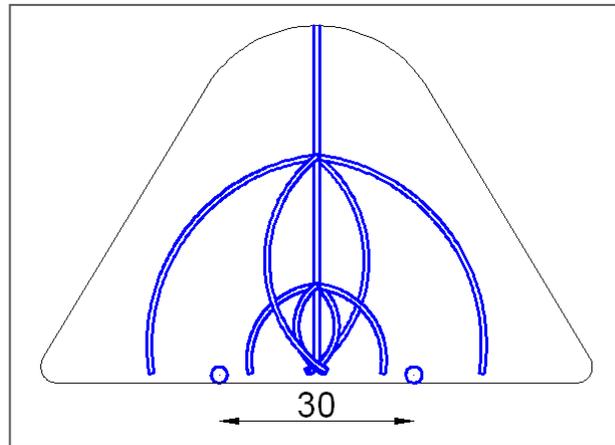


Figura 9. Esquema pila con mezclador mecánico.

3.4.6 Características de los Materiales a Compostar

Los residuos utilizados en su mayoría se encuentran regularmente en zonas agrícolas o en la periferia de lo urbano, por la característica orgánica de casi la totalidad de los desechos producidos en aquellas zonas.

Estos residuos al no encontrar gran cantidad para generar las tres pilas de compostaje necesarias, se recolectaron de distintas fuentes, la primera fue en los alrededores del sector, vecinos en su mayoría, y el otro punto importante de recolección fue el patio de venta de centro comercial Vega Monumental, ya que en su mayor cantidad de desperdicios son de origen agrícola.

3.4.7 Cálculo de Variables en las Pilas

Luego de la implementación de las pilas de compostaje, comienza el periodo de descomposición de la materia orgánica y con ello el proceso de toma de datos en las distintas pilas por un tiempo de tres meses, tiempo suficiente de biodegradación en el periodo Primavera-Verano para nuestra zona. Para ello se toman muestras de humedad, temperatura, pH y la cantidad de Sólidos minerales y volátiles presentes en el compost, ya que son las principales variables de estudio en estos casos.

Esta toma de datos es fundamental para conocer el nivel de biodegradación obtenida, así como también la fase de compostaje en la cual se encuentran las distintas pilas.

Para ello se realizan distintos procedimientos en la recaudación de muestras o datos, a continuación descritos.

a) pH.

El pH como parámetro de control reviste importancia gracias a que refleja el estado del compost, determina si el compost sigue una correcta degradación aeróbica y se refleja bajando su valor en el caso de que el oxígeno disminuya su concentración y se comience una degradación anaeróbica.

Su control se lleva a cabo tomando una muestra del material que es diluida en una solución de agua destilada, luego de ello se hace pasar por un filtro de papel y es testado con un papel pH y luego comparado con una tabla de indicadores de pH.

b) Temperatura

Para conocer la temperatura interna de la pila se introduce un termómetro de alcohol, con escalas de medición desde los $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, en tres puntos al interior de la pila, con ello se promedia la temperatura registrada y se obtiene el resultado de esta.

c) Humedad

En este punto se toman muestras representativas de cada pila, para luego ser ensayadas en el Laboratorio de Ciencias de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío.

Estas muestras se depositan sobre cápsulas enumeradas para luego llevarlas al horno a una temperatura de $77\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 24 hrs (Aarne et al., 2001), esto con el fin de evaporar todo contenido de agua sin afectar otros componentes del material ensayado.

Las diferencias entre las cápsulas antes y después del secado nos entregan la masa de agua presente en la muestra y con ello se determina la humedad presente en la muestra.

d) Sólidos minerales y volátiles

En este punto se toman muestras previamente sometidas a secado, bajo el procedimiento anteriormente descrito, luego de ellos son llevadas al Laboratorio de Química Aplicada de la Universidad del Bío-Bío, luego se toma una muestra y se deposita en un crisol para luego ser calcinado en una mufla a una temperatura constante de $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 6 horas.

Con los resultados de la calcinación se determinan los sólidos minerales presentes en la muestra, luego por diferencia simple del 100% de la muestra es determinada la cantidad de sólidos volátiles en la muestra.

3.5 Procedimiento de Trabajo en las Pilas

3.5.1 Composición de la Mezcla

Como se menciona anteriormente las pilas son construidas en base a desechos principalmente de origen rural, considerando como principal variable al momento de la mezcla la Relación C:N, ya que es esta combinación de materiales la que nos asegura que haya suficiente nitrógeno para que se produzcan todas las reacciones necesarias en el compostaje y además nos asegura que no exista un exceso de nitrógeno lo cual puede producir malos olores por el desprendimiento de nitrógeno en forma de gas de amoníaco.

3.5.2 Reducción de Tamaño

Las reacciones químicas del proceso de compostaje suceden regularmente en una película acuosa en o cercana a la superficie de las partículas ya que la concentración de oxígeno en esta área es la adecuada, es por ello que en partículas de menor tamaño el proceso se facilita ya que el área es mayor por unidad de peso y/o volumen, sin embargo es importante mantener una buena aireación del material ya que el oxígeno es consumido rápidamente y los intersticios de la mezcla con partículas pequeñas son de menor tamaño por lo que pasan a un estado anóxico o cubierto con agua. El tamaño adecuado para las partículas va desde los 12 mm hasta los 50 mm, donde el extremo inferior es recomendado para compostaje con aireación de tipo forzada y los del extremo superior para aireación de tipo pasiva.

3.5.3 Humectación

Al ser un proceso exotérmico, el compostaje, sufre una deshidratación lo que provoca una ralentización de la biodegradación, por este motivo la humectación permite que las reacciones químicas se sucedan con mayor facilidad. Además de ello la humectación permite regular la temperatura interna de la pila para no superar los 70 °C, punto en el cual el compost pierde gran parte de los organismos antes descritos.

La humectación se genera en forma de riego sólo si disminuye del 60% de humedad, por lo que mantiene un nivel óptimo.

3.5.4 Aireación

Las razones por las cuales se genera una aireación ya sea por medio del volteo, aireación pasiva o mezcla mecánica, como se explica anteriormente, es principalmente aumentar los niveles de oxígeno en la mezcla, manteniendo un nivel óptimo de este cercano al 15%, ya que si disminuye esta concentración a niveles críticos puede pasar a generar un proceso anaeróbico, además como efectos secundarios permiten tener un control de la temperatura y la humedad, por medio de la evaporación, los procesos de volteo y mezcla se realizan cada 3 días, tiempo suficiente para mantener una buena oxigenación y no ocurra un deterioro de las condiciones óptimas por enfriamiento o una sequedad extrema por evaporación, a causa de una excesiva aireación.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos se dividen en dos etapas principales la primera cuenta con los resultados obtenidos con las alternativas en el dispositivo mezclador y la segunda tiene relación con la exposición y análisis de resultados obtenidos de las distintas variables estudiadas en las distintas pilas de compostaje.

4.1 Resultados en el Diseño del Mezclador

Los primeros resultados son los recopilados en las pruebas de eficiencias para las distintas paletas de mezcla, descritas y presentadas en el punto 3.4.1 y la figura 8, de los cuales se pretende a mantener la temperatura interna de la pila y no sufrir de fuertes bajas como el caso del volteo.

Los parámetros a evaluar serán el diámetro de la pila antes y luego de la mezcla así como la altura en las mismas condiciones analizando estos parámetros, se puede inferir la menor deformación, lo que se traduce en una menor pérdida de calor por efecto de la aireación, ya que se mantiene la forma inicial de la pila.

Los resultados se muestran a favor de la paleta de mezcla en forma de espiral, si bien es cierto con ambas confecciones, la disminución de tamaño es importante y el aumento de diámetro sufre una gran variación. En el caso del mezclador en forma de espiral el sector centro de la pila se conserva una altura considerable lo que hace válida la idea de sólo mezclar el compost y no exponerlo al ambiente directamente.

Tabla 2. Resultados Prueba de Eficiencia de Paletas.

Paleta	Diámetro inicial	Diámetro final	Altura inicial	Altura final
Dentada	80	110	50	24
Espiral	80	113	50	33

4.2 Composición de los Residuos En las Pilas

Como se expone anteriormente las pilas de residuos se componen de distintos elementos que en conjunto o la mezcla de ellos en distintas proporciones obtienen una relación de carbono y nitrógeno de 30 o muy cercana a ella, este número asegura una correcta proporción de nutrientes para los distintos microorganismos que se desarrollan en el compost.

Tabla 3. Combinación de Material en las Pilas.

MATERIAL	Relación C:N (promedio)	Humedad % (promedio)	Masa Kg (por pila)	Masa seca Kg (por pila)	Relación C:N Masa seca
casaca de manzana	48	88	10	1,2	57,6
restos de comida	15	69	20	6,2	93
hojas	54	38	5	3,1	167,4
estiércol vacas	19	81	20	3,8	72,2
estiércol caballos	30	72	15	4,2	126
paja cereales (cobertura)	75	10	1	0,9	67,5
			Masa Total	Masa seca total	Relación C:N total
			71	19,4	30,1

Nota: Las combinaciones se hacen en base a la cantidad encontrada de cada material, aunque se tomo como prioridad llegar a una condición óptima en la relación de nutrientes.

4.3 Análisis Comparativo en las Pilas de Compostaje

Al someter al compostaje aerobio a las distintas pilas de compostaje, se recolectaron distintas muestras y mediciones de variables mencionadas en el punto 2.2, las que reflejan resultados que se muestran a continuación.

4.3.1 Humedad

El comportamiento de la humedad en la pila de aireación pasiva, a lo largo de la investigación es estable requiriendo un mínimo de riego o humectación, la humedad inicial de la pila es de aproximadamente 75% la cual desciende rápidamente por acción de las altas temperaturas al interior de la pila, sin embargo una vez estabiliza esta variable la humedad adquiere esta misma característica. En el caso de la pila de aireación por volteo el comportamiento de la humedad a lo largo de la investigación es inestable requiriendo un de riego o humectación periódica, la humedad inicial de la pila es de aproximadamente 75% y al igual que el caso de la aireación pasiva desciende rápidamente. Y por último en el caso de la aireación por mezcla mecánica El comportamiento de la humedad a lo largo de la investigación es inestable requiriendo un de riego o humectación periódica, como se aprecia en la siguiente figura, la humedad inicial de la pila es de aproximadamente 74% llegando a valores de cómo se aprecia en la figura 13.

Como se menciona la pila de aireación pasiva y el aireada mezcla mecánica es adquirido por medio de los difusores, lo que genera una pérdida de humedad mucho menor que el método de

aireación por volteo ya que el material no tiene contacto directo con el medio, sin embargo en el caso de la pila aireada por mezcla mecánica se expone parte de material, lo que genera una mayor pérdida de humedad para este caso.

La pérdida de humedad registrada en las primeras semanas por la pila de aireación pasiva, se puede asociar al fuerte incremento de la actividad microbiana, luego de ello el registro de humedad se mantiene estable, muy cercano a lo óptimo. En el caso de la pila aireada por volteo la disminución de la humedad en la pila se debe a los constantes volteo que exponen el material directamente al medio, esto provoca una fuerte disminución de este parámetro.

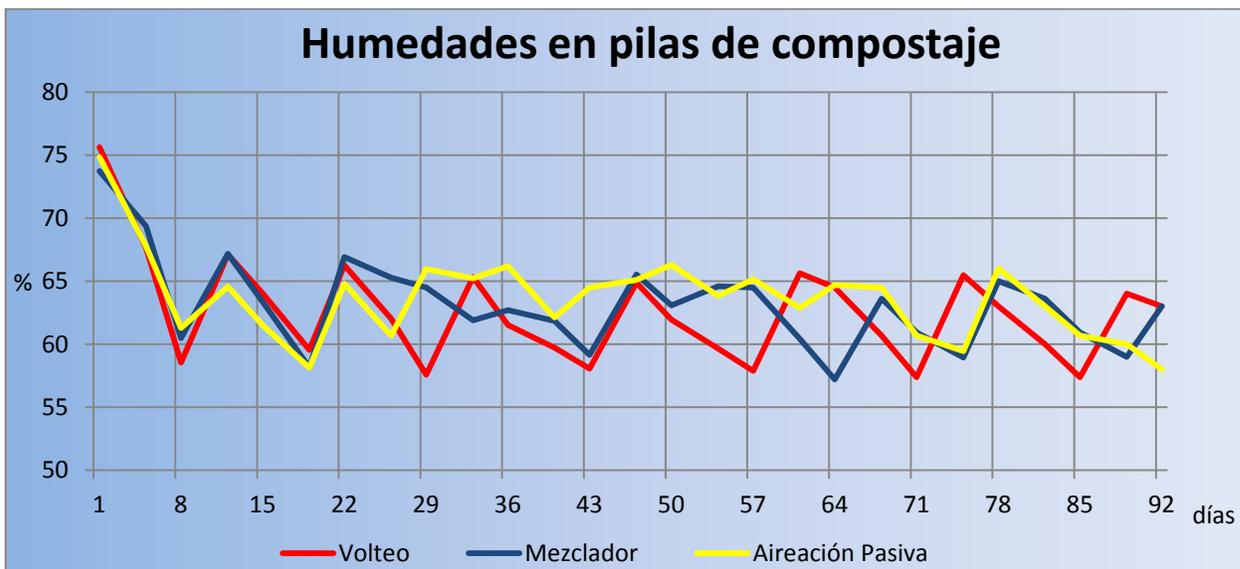


Figura 10. Gráfico de humedades en las pilas compostaje en el tiempo.

4.3.2 Temperatura Interna

La temperatura interna de las pilas alcanza un máximo entre los días 7 y 9, esto debido a la fuerte actividad microbiana presente durante esta fase del proceso, ya que el proceso de biodegradación tiene características exotérmicas. Luego de alcanzado este punto, el más alto en el proceso cercano a los 50°C, para las pilas de aireación pasiva y por mezcla mecánica y un valor de 51°C en el caso de la pila aireada por volteo, luego la temperatura comienza a decaer, esto no se genera en forma lineal debido a la humectación aplicada a la pila en el caso de requerirla, y alcanza temperaturas cercanas a la ambiental entre los días 33 y 37 de iniciado el proceso, es importante destacar que se alcanzaron todas la fases del compostaje, mesófila, termófila, de enfriamiento y maduración.

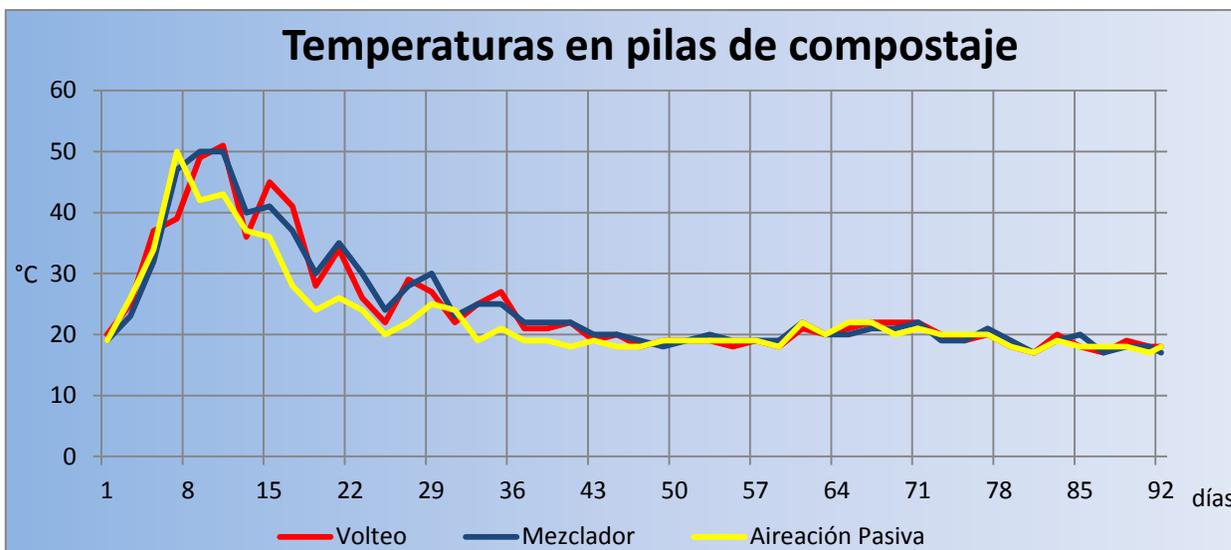


Figura 11. Gráfico de temperaturas en las pilas compostaje en el tiempo.

4.3.3 pH Interno de la Pila

El nivel de pH inicial de la mezcla tiene valor de 7 (neutro), sin embargo entre el día 8 y 12 bajan a un valor de 6, debido al consumo de oxígeno, producto de la actividad metabólica y el aumento de temperatura, lo que genera ácidos orgánicos que provocan esta reacción. Esto sucede en las siguientes 2 semanas iniciado el proceso. Luego de ello y estabilizándose la temperatura, vuelve a valores ambientales y los valores del pH quedan cercanos al neutro hasta el final del proceso, lo cual se observa en la siguiente figura.

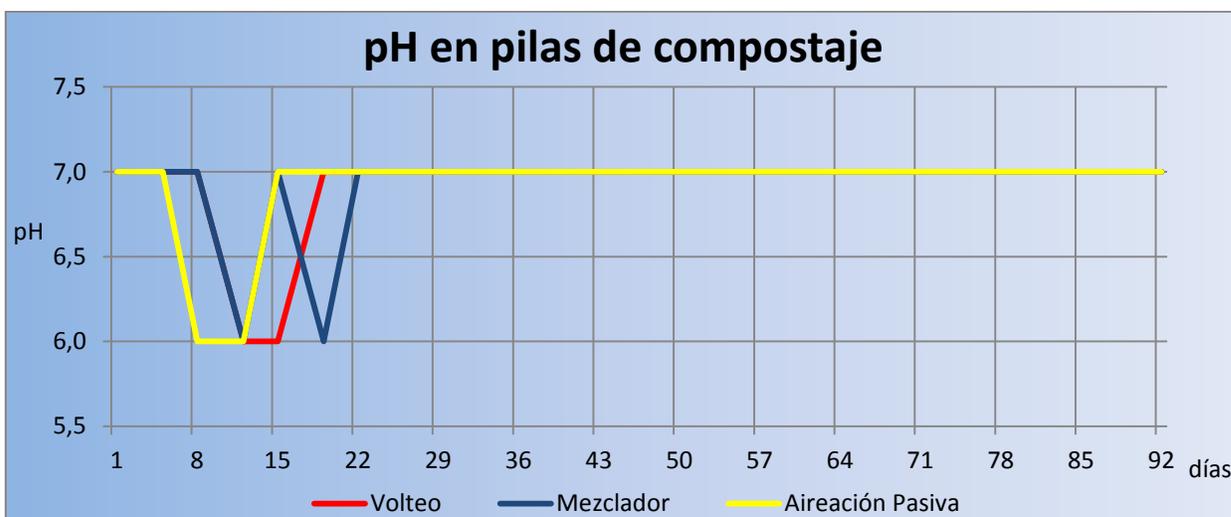


Figura 12. Gráfico de pH de la pila de aireación pasiva en el tiempo.

4.3.4 Sólidos Volátiles

El principal parámetro de evaluación a la hora de la biodegradación es el porcentaje de sólidos volátiles presentes antes y después del compostaje, ya que indica directamente la cantidad de material degradado. El porcentaje inicial de sólidos volátiles presentes en las distintas pilas de compostaje es cercano al 70% de su composición, esta variable disminuye rápidamente en las primeras semanas ya que la actividad microbiana crece, sin embargo se consumen los componentes más fáciles de degradar y la actividad microbiana disminuye, con ello se estabiliza el porcentaje de sólidos volátiles luego de 4 semanas llegando a valores cercanos al 50 % en el caso de la aireación pasiva, estos disminuyen para los casos de aireación por volteo y la aireación de mezcla mecánica, cercanos a los 35% y 40% respectivamente.

4.3.5 Sólidos Minerales

Este parámetro tiene relación directa con el anterior debido a que representa la fracción mineral o ceniza luego de la calcinación de la muestra, por lo tanto este parámetro muestra un aumento a lo largo del proceso contrario e inversamente proporcional a la disminución de los sólidos volátiles presentes en cada una de las muestras.

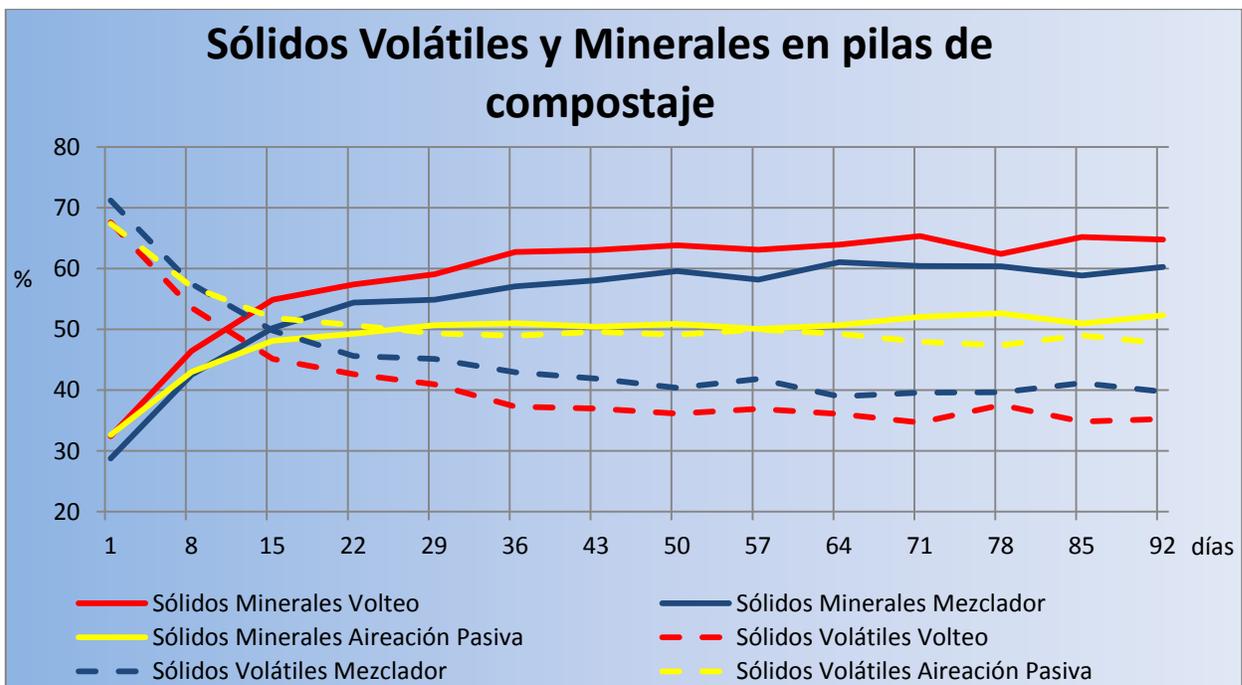


Figura 13. Gráfico de sólidos minerales y volátiles en pilas de compostaje en el tiempo.

4.3.6 Análisis Comparativos de Biodegradabilidad y Constante Endógena

En primera Instancia se observan los valores de los porcentajes de sólidos volátiles obtenidos al principio del proceso y al final de este, con lo que se obtiene el valor de la eficiencia en la biodegradación, del cual se puede observar que existe una gran diferencia entre el valor obtenido por la aireación pasiva y los otros dos tipos de aireación, por mezcla mecánica y volteo. La principal variable por la cual se debe esta diferencia es el tipo de aireación recibida sin embargo también hay otros factores que afectan este parámetro, como la muestra de las pilas ya que el compuesto de la pila es heterogéneo y las muestras tienen la misma característica.

La constante endógena es representativa de la tasa de biodegradabilidad en cada pila de compostaje y resulta de línea logarítmica de la razón entre los sólidos volátiles biodegradables y los sólidos volátiles biodegradables iniciales en función del tiempo. Para ello se obtienen tres valores uno de cada pila son $0,025 \text{ días}^{-1}$, $0,093 \text{ días}^{-1}$ y $0,174 \text{ días}^{-1}$ para las pilas de Aireación pasiva, pasiva con mezcla mecánica y pila aireada por volteo respectivamente.

Ambos parámetros observados muestran un aumento en la biodegradación obtenida en la pila aireada por difusores con mezcla mecánica, en comparación con la pila de aireación pasiva y una aproximación considerable a la pila de aireación por volteo.

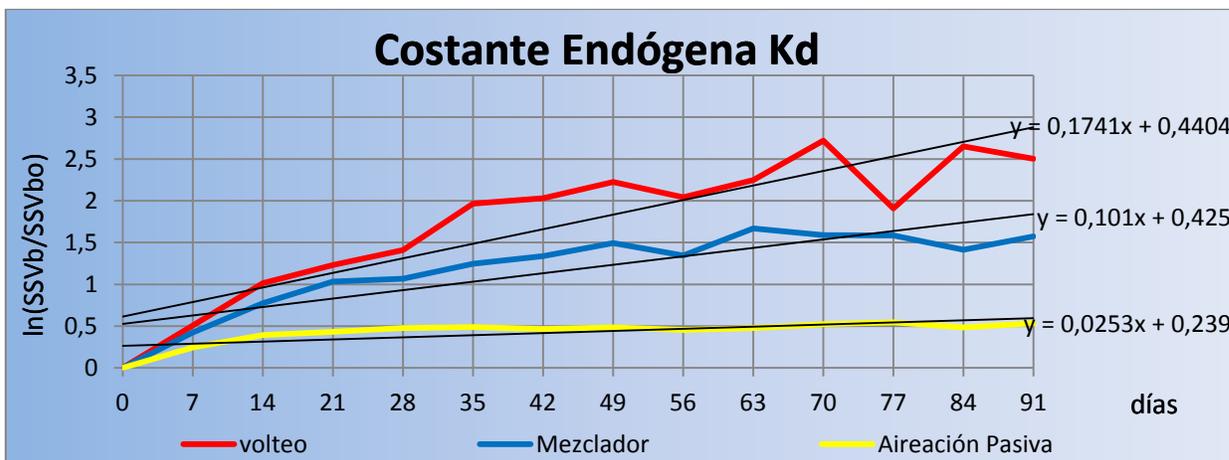


Figura 14. Gráfico de Constante endógena de las pilas de compostaje en el tiempo.

$$-\ln \frac{SSV - SSV_{nb}}{SSV_o - SSV_{nb}} \tag{Ec. (3)}$$

SSV = Sólidos volátiles.

SSV_{nb} = Sólidos volátiles no biodegradables.

SSV_o = Sólidos volátiles iniciales.

Tabla 4. Resumen variables.

Tipo de Aireación	SSV _i	SSV _f	Eficiencia en la Biodegradabilidad	Kd	R ²
Pasiva	67,4	47,7	29,2	0,025	0,805
Por mezcla mecánica	71,2	39,7	44,2	0,101	0,749
Volteo	67,6	35,2	47,9	0,174	0,542

5 CONCLUSIONES

La dispersión del material es (considerable) con cualquier tipo de mezcla, se concluye que la mezcla mecánica del compostaje se realiza de mejor forma con paletas de mezcla en forma de espiral ya que ellas sostienen (remueven) gran parte del material en su forma original,

El compostaje de aireación por difusores de aire con inclusión del mezclador mecánico aumenta de forma notoria la biodegradación con este tipo de aireación, acercando bastante los valores a pilas de aireación por volteo.

El comportamiento térmico es similar ya que todas las pilas alcanzan la fase termofílica, además las pilas de aireación por volteo y la de aireación con mezcla mecánica superan en aproximadamente 2 a 3 °C a la pila de aireación pasiva a lo largo de la experiencia, factor importante ya que muestra una actividad microbiana mayor en estas pilas.

La fracción de sólidos minerales de la pila de aireación por difusores con mezcla mecánica, alcanza valores finales de 60,3 %, que se aproximan a la pila de aireación por volteo con un valor de 64,8%, ambas claramente mayores que la fracción de sólidos minerales de la pila de aireación pasiva de 52,3%.

La inclusión de la mezcla mecánica en pilas de aireación por difusores muestra un aumento en la biodegradación considerable, lo que permite concluir que la mezcla mecánica es un factor relevante en la biodegradación de la materia orgánica.

REFERENCIAS

Ahumada, Carlos (2005), “Evaluación de los Efectos de la Pluviométrica en las Pilas de Compostaje”. Proyecto de Título, Universidad del Bío-Bío, Depto. de Ingeniería Civil, Concepción, Chile.

Montero Jorge, (2006), “Diseño de máquina volteadora de compost”. Proyecto de Título, Universidad Austral de Chile, Escuela Ingeniería Mecánica, Valdivia, Chile.

Navarrete, Ninoska (2007), “Biotractor animal”. Proyecto de Título. Universidad del Bío-Bío, Depto. De Arte y Tecnología del Diseño, Concepción, Chile.

Pérez, Claudia (2008), “Evaluación de los efectos de la aireación en pilas de compostaje de biosólidos”. Proyecto de Título. Universidad del Bío-Bío, Depto. de Ingeniería Civil, Concepción, Chile.

Cruz Javier (2009), “Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas”. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, Depto de Producción Vegetal, Valencia, España.

Salazar, Mauricio (2010), “Evaluación de la implementación de compostaje domiciliario en Hualpén”, Proyecto de Título. Universidad del Bío-Bío, Depto. De Ingeniería Civil, Concepción, Chile.

Gutiérrez, Pía (2011), “Evaluación de la biodegradación de residuos sólidos urbanos mediante el tratamiento mecánico biológico durante la primavera”, Proyecto de Título. Universidad del Bío-Bío, Depto. De Ingeniería Civil, Concepción, Chile.

Aarne Vesilind P., Worrel W., Reinhart D. (2001), “Solid Waste Engineering”, Cengage Learning, Estados Unidos.

Richard T., Trautmann N., Krasny M., Fredenburg S. and Stuart C., Dept. of Crop and Soil Sciences, Universidad de Cornell. <http://compost.css.cornell.edu/>. Acceso 11 de Noviembre 2011.

Pravia M., Sztern D., “Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos”, Oficina de Planeamiento y Presupuesto, Unidad de Desarrollo Municipal, 1999, Uruguay.

Sin autor, “Fertilización en la agricultura orgánica”, <http://www.slideshare.net/livreinatural/klase-kompost>. Acceso 15 de Septiembre 2010.

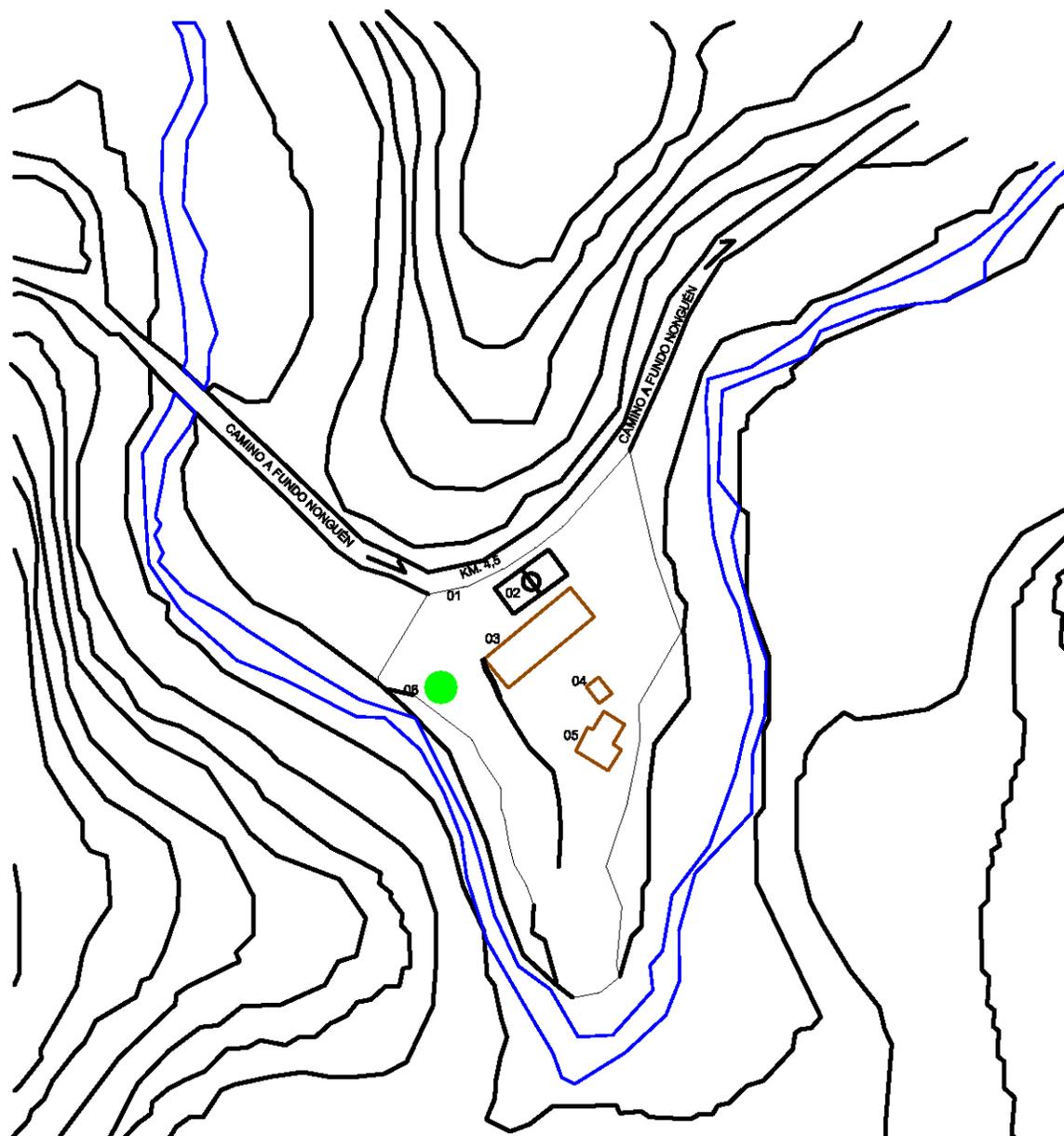
Sin autor, “El compost, temperatura y humedad”, P. I. Camí Ral Oest, Antic Camí Ral de Valencia 38 N7, Castelldefels 08860 Barcelona, http://www.ecosdeltajo.org/descargas/recursos/compost_temperatura_humedad.pdf. Acceso 15 de Septiembre de 2010.

Silva J., López P. y Valencia P. Organización Panamericana de la Salud, Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental, “Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje”, <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>. Acceso 25 de Septiembre de 2010.

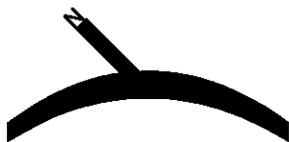
Antoni Sánchez, “¿Cómo controlar el proceso de compostaje?”, <http://www.uab.es/servlet/Satellite?cid=1096481466568&pagename=UABDivulga%2FPPage%2FTemplatePageDetallArticleInvestigar¶m1=1201593276031>. Acceso Enero 2011.

Moreno J. y Moral R., “Compostaje”, <http://books.google.cl/books?hl=es&lr=&id=APuzwas6rrcC&oi=fnd&pg=PA141&dq=aireaci%C3%B3n+pasiva+imagen&ots=BPTwJ4qrS2&sig=jZoTo9EwSsaBAukOIBpK0Q74FKI#v=onepage&q&f=false>. Acceso Enero 2011.

ANEXO A



- 01_ ACCESO/Centro cultural Kümemongen.
- 02_ CANCHA DE FUTBOL.
- 03_ ESPACIO ESCUELA/Casa de Sandra y salas de calses
- 04_ BAÑOS/Comunes.
- 05_ ESPACIO CASA/ Salas de clases.
- 06_ SECTOR COMPOSTERA/Pilas.



PLANO DE UBICACIÓN
escala 1:2000

ANEXO B

Resultado

a) Temperatura

Temperatura °C			
Días	Mezcla Mecánica	Pasiva	Por Volteo
1	19	19	20
3	23	26	25
5	32	34	37
7	47	50	39
9	50	42	49
11	50	43	51
13	40	37	36
15	41	36	45
17	37	28	41
19	30	24	28
21	35	26	34
23	30	24	26
25	24	20	22
27	28	22	29
29	30	25	27
31	23	24	22
33	25	19	25
35	25	21	27
37	22	19	21
39	22	19	21
41	22	18	22
43	20	19	19
45	20	18	20
47	19	18	18
49	18	19	19
51	19	19	19
53	20	19	19
55	19	19	18
57	19	19	19
59	19	18	18
61	22	22	21
63	20	20	20
65	20	22	21
67	21	22	22
69	21	20	22
71	22	21	22
73	19	20	20
75	19	20	19
77	21	20	20
79	19	18	18
81	17	17	17
83	19	19	20
85	20	18	18
87	17	18	17
89	18	18	19
91	18	17	18
92	17	18	18

b) Humedad

Humedad %			
Días	Mezcla Mecánica	Pasiva	Por Volteo
1	74	75	76
5	69	68	68
8	60	61	59
12	67	65	67
15	63	61	64
19	58	58	60
22	67	65	66
26	65	61	62
29	64	66	58
33	62	65	65
36	63	66	62
40	62	62	60
43	59	64	58
47	66	65	65
50	63	66	62
54	65	64	60
57	64	65	58
61	60	63	66
64	57	65	64
68	64	64	61
71	61	61	57
75	59	59	65
78	65	66	63
82	64	63	60
85	61	61	57
89	59	60	64
92	63	58	63

c) Ph

Ph			
Días	Mezcla Mecánica	Pasiva	Por Volteo
1	7	7	7
5	7	7	7
8	7	6	7
12	6	6	6
15	7	7	6
19	6	7	7
22	7	7	7
26	7	7	7
29	7	7	7
33	7	7	7
36	7	7	7
40	7	7	7
43	7	7	7
47	7	7	7
50	7	7	7
54	7	7	7
57	7	7	7
61	7	7	7
64	7	7	7
68	7	7	7
71	7	7	7
75	7	7	7
78	7	7	7
82	7	7	7
85	7	7	7
89	7	7	7
92	7	7	7

d) Múltiples parámetros Pila de Aireación Pasiva.

Aireación Pasiva				
Días	Sólidos minerales	Sólidos Volátiles	SSVb	Ln(SSVb/SSVbo)
1	32,61	67,39	47,69	0,00
8	43,00	57,00	37,30	0,25
15	48,12	51,88	32,18	0,39
22	49,29	50,71	31,01	0,43
29	50,67	49,33	29,63	0,48
36	51,02	48,98	29,28	0,49
43	50,41	49,59	29,89	0,47
50	50,88	49,12	29,42	0,48
57	50,04	49,96	30,26	0,45
64	50,70	49,30	29,60	0,48
71	52,03	47,97	28,27	0,52
78	52,63	47,37	27,67	0,54
85	50,97	49,03	29,33	0,49
92	52,31	47,69	27,99	0,53

e) Múltiples parámetros Pila de Aireación por difusores con mezcla Mecánica.

Mezcla Mecánica				
Días	Sólidos minerales	Sólidos Volátiles	SSVb	Ln(SSVb/SSVbo)
1	28,78	71,22	39,74	0,00
8	42,53	57,47	25,99	0,42
15	50,21	49,79	18,31	0,77
22	54,39	45,61	14,13	1,03
29	54,85	45,15	13,66	1,07
36	57,08	42,92	11,44	1,25
43	58,09	41,91	10,43	1,34
50	59,60	40,40	8,92	1,49
57	58,17	41,83	10,35	1,35
64	61,03	38,97	7,49	1,67
71	60,40	39,60	8,11	1,59
78	60,37	39,63	8,15	1,58
85	58,84	41,16	9,68	1,41
92	60,26	39,74	8,25	1,57

f) Múltiples parámetros Pila de Aireación por Volteo.

Aireación por Volteo				
Días	Sólidos minerales	Sólidos Volátiles	SSVb	Ln(SSVb/SSVbo)
1	32,42	67,58	35,23	0,00
8	46,44	53,56	21,21	0,51
15	54,87	45,13	12,79	1,01
22	57,36	42,64	10,29	1,23
29	59,05	40,95	8,60	1,41
36	62,71	37,29	4,94	1,96
43	63,02	36,98	4,64	2,03
50	63,83	36,17	3,82	2,22
57	63,07	36,93	4,58	2,04
64	63,93	36,07	3,73	2,25
71	65,33	34,67	2,32	2,72
78	62,43	37,57	5,22	1,91
85	65,17	34,83	2,49	2,65
92	64,77	35,23	2,88	2,50

ANEXO C

g) Imágenes Pila de Aireación Pasiva



h) Imágenes Pila de Aireación por Difusores con Mezcla Mecánica



i) Imágenes Pila de Aireación por Volteo

