

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ing. Pedro Cisterna Osorio.



**EFFECTO DE LA HUMEDAD EN LA
BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS
URBANOS, MEDIANTE TRATAMIENTO
MECÁNICO BIOLÓGICO.**

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

GUSTAVO EDGARDO GARRIDO TRONCOSO.

Concepción, Marzo 2014.

NOMENCLATURA

RSU : Residuos sólidos urbanos.

RSD : Residuos sólidos domiciliarios.

RS : Residuos sólidos.

TMB : Tratamiento mecánico biológico.

UBB : Universidad del Bío-Bío.

C/N : Carbono/nitrógeno.

SV : Sólidos volátiles.

SM : Sólidos minerales.

INDICE GENERAL

NOMENCLATURA.....	ii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	vi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	3
1.1 Justificación del tema.....	4
1.2 Descripción del proyecto.....	5
1.3 Objetivos de la investigación.....	6
1.3.1 Objetivo general.....	6
1.3.2 Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	7
2.1 Definición de RSU.....	7
2.1.1 Generación de RSU.....	7
2.1.2 Clasificación de los RSU.....	8
2.1.3 Composición de los RSU.....	8
2.2 Definición de TMB.....	9
2.2.1 Ventajas del TMB.....	9
2.2.2 Factores que afectan el proceso de degradación de residuos	10

CAPÍTULO III	METODOLOGÍA.....	13
3.1	Preparación de experiencia.....	13
3.1.1	Emplazamiento de la investigación.....	13
3.1.2	Recolección y transporte.....	14
3.1.3	Trituración y homogeneización de los residuos.....	14
3.1.4	Montaje de las pilas.....	14
3.1.5	Características geométricas de las pilas.....	15
3.2	Descripción de experiencia.....	15
3.2.1	Riego.....	15
3.2.2	Medición de parámetros.....	19
CAPÍTULO IV	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	20
4.1	Introducción.....	20
4.2	Análisis y comparación entre ambas experiencias.....	20
4.2.1	Evolución de la temperatura promedio interna en las pilas.....	20
4.2.2	Evolución de la humedad en las pilas.....	22
4.2.3	Evolución del pH en las pilas.....	24
4.2.4	Evolución de SV en las pilas.....	25
4.2.5	Evolución de SM en las pilas.....	26
4.2.6	Constante endógena.....	27
4.2.7	Pérdida de masa y volumen.....	28
4.2.8	Biodegradación de materia orgánica en pilas de RSU.....	29

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	30
5.1 Conclusiones.....	30
5.2 Recomendaciones.....	31
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32
ANEXOS.....	35
ANEXO A. Realización de metodología.....	36
ANEXO B. Métodos utilizados en evaluación de parámetros durante el proceso.....	37
ANEXO C. Datos de la pila N°1.....	43
ANEXO D. Datos de la pila N°2.....	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estimación tiempo de llenado mediante aforo.....	16
Figura 2. Incorporación de agua a la pila N°1.....	18
Figura 3. Variación de la temperatura interna promedio de las pilas.....	21
Figura 4. Variación de la humedad en las pilas.....	23
Figura 5. Variación del pH en las pilas.....	24
Figura 6. Variación de SV en el tiempo de las pilas.....	25
Figura 7. Variación de SM en las pilas.....	26
Figura 8. Constante endógena de pila N°1 y pila N°2.....	27
Figura 9. Pila N°1 al inicio y final del proceso de biodegradación.....	28
Figura 10. Pila N°2 al inicio y final del proceso de biodegradación.....	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición y Cantidad de los RSU en Chile.....	9
Tabla 2. Medición de Parámetros.....	19

EFFECTO DE LA HUMEDAD EN LA BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, MEDIANTE TRATAMIENTO MECÁNICO BIOLÓGICO.

Autor: Gustavo Garrido Troncoso.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: gegarrid@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Ing. Pedro Cisterna Osorio.

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío

Correo Electrónico: pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN

A medida que la sociedad se ha ido haciendo más urbana, se han variado las costumbres adaptándose a las nuevas necesidades de consumo, lo que ha traído consigo la generación de grandes cantidades y diversos tipos de residuos, que afectan directamente al medio ambiente y a la calidad de vida de la población. El principal riesgo para el medio ambiente proviene del componente orgánico, debido a su degradación biológica incontrolada, siendo fundamental poner en práctica nuevas metodologías y tecnologías.

Esta investigación tiene por finalidad evaluar el nivel de biodegradación a través del tratamiento mecánico biológico en la ciudad de Concepción bajo la temporada de primavera. Para lograr los objetivos de esta investigación se establecieron dos pilas de residuos sólidos domiciliarios con condición de aireación similar (método de aireación pasiva), pero que poseen diferente control de agua; ya que una de ellas está sometida a riego y la otra a condiciones de humedad natural. Antes de iniciar el tratamiento mecánico biológico de los residuos se realizó la parte mecánica del procedimiento (trituration y homogenización). Durante la investigación se evaluaron los siguientes parámetros para controlar el buen funcionamiento del tratamiento: temperatura, porcentaje de humedad, pH, porcentaje de sólidos volátiles y minerales.

De los resultados obtenidos, la pila que presentó un mejor desarrollo fue aquella que se degradó a condición de humedad natural, en comparación a la pila sometida a riego, debido a que se registra un mayor nivel de biodegradación de los residuos.

Palabras claves: Biodegradación, tratamiento mecánico biológico, residuos sólidos domiciliarios.

Número de palabras = 6.967 Palabras texto + 12 Figuras/Tablas*250 = 9.967.-

EFFECT OF MOISTURE IN THE SOLID WASTE BIODEGRADATION THROUGH MECHANICAL BIOLOGICAL TREATMENT.

Author: Gustavo Garrido Troncoso.

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio.

Email: gegarrid@alumnos.ubiobio.cl

Teacher Guide: Ing. Pedro Osorio Cisterna.

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio-Bio.

Email: pcisterna@ubiobio.cl

ABSTRACT

As society has become more urban, it has varied customs and adapt to new consumer needs, which has led to the generation of large quantities and various types of waste, which directly affects the environment and the quality of life of the population. The main risk to the environment comes from the organic component, due to uncontrolled biological degradation, being essential to implement new methodologies and technologies.

This research aims to assess the level of biodegradation through mechanical biological treatment in the city of Concepción during spring season. To achieve the objectives of this research two piles of household solid waste with similar aeration condition (passive aeration method) were built, but which have different water control, one of them is under irrigation and the other under natural condition of moisture. Before starting the mechanical biological treatment of the waste, was conducted the mechanic part of the process (crushing and homogenization). During the investigation different parameters were evaluated to control the good functioning of the treatment: temperature, moisture, pH, percentage of volatile solids and minerals.

From the results obtained, the stack which showed a better development was the one which was degraded in natural moisture condition, unlike the stack that was under irrigation, due to a higher degree of biodegradation of the waste.

Keywords: Biodegradation, mechanical biological treatment, residential solid waste.

CAPITULO I INTRODUCCIÓN.

La modificación de los hábitos de vida así como la creciente urbanización e industrialización en muchos países en desarrollo repercuten, entre otros, en la cantidad de residuos producidos y en la composición de los mismos. Debido al aumento del volumen de residuos y a la creciente proporción de materiales de embalaje y residuos peligrosos, las formas tradicionales de eliminación de residuos están perdiendo validez. A fin de prevenir peligros para la salud de la población y evitar la contaminación del medioambiente deben diseñarse, en muchos lugares, nuevas estrategias para el tratamiento de residuos.

El tratamiento de residuo sólidos (RS) posee múltiples variables que afectan su operación, por lo que el conocimiento de cada una de ellas es de vital importancia. En este sentido la biodegradación de residuos sólidos domiciliarios (RSD) tampoco está ajeno a lo citado anteriormente, ya que a través de los últimos años, se han desarrollado diversos estudios para estimar las variables que intervienen en el proceso, resultando el contenido de humedad una de las de mayor interés, tanto al inicio como durante el desarrollo de éste, la que se ve fuertemente influenciada por el efecto pluviométrico (riego) al que está expuesto el sistema.

En la presente investigación se estudian dos pilas con diversa composición de residuos, a las cuales se les somete a diferentes condiciones de humedad, con la finalidad de establecer diferencias que permitan concluir acerca de la influencia de este parámetro en la biodegradabilidad de RSD bajo condiciones principalmente aeróbicas, con miras a una posterior aplicación en el diseño de rellenos sanitarios y vertederos .

Se incluye además el fundamento teórico del proceso de biodegradación de residuos sólidos urbanos (RSU), la metodología empleada, el análisis de resultados y finalmente las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

1.1 Justificación del tema.

Considerando la problemática de los RS en muchos países, entre los cuales se encuentra Chile, se deben impulsar nuevas tecnologías o alternativas para mitigar la contaminación ambiental causada por el mal manejo de los RSU (Seadon, 2006). Una de las alternativas, consiste en el tratamiento mecánico biológico (TMB), el cual se realiza previo antes de ser dispuestos los residuos ya sea para reutilizar el material o disponerlo en un relleno sanitario. El tratamiento consiste en dos etapas: una mecánica a través de la trituración de los residuos, y biológico mediante una fermentación controlada o digestión aeróbica, reduciendo el volumen de los residuos (altos índices de compactación), de la cantidad de los lixiviados y emisión de biogás (Comando, 2006). La finalidad del tratamiento es obtener un alto grado de descomposición de la materia orgánica, produciendo un producto similar a un compost, pero de menor calidad.

La humedad es uno de los factores operacionales de mayor importancia en la biodegradación de RS, ya que el agua es requerida por los microorganismos para desarrollar sus funciones metabólicas y además se usa como vehículo de transporte de nutrientes y productos de desechos, lo que implica que la descomposición de la materia orgánica dependa del contenido de humedad.

1.2 Descripción del proyecto.

Este trabajo contempla un estudio sobre la incidencia de la humedad en el TMB, para ello se realiza un seguimiento de los factores más importantes a considerar como lo son: la aireación, temperatura y el control del contenido de humedad en el proceso de estabilización biológica de la parte orgánica de los residuos, en base a los RSD provenientes de la avenida Collao, en Concepción, Chile.

Esta experiencia se realizará en la comuna de Concepción, en las instalaciones de la Universidad del Bío-Bío (UBB), durante la temporada de primavera (Septiembre-Diciembre) del año 2013, con el propósito de evaluar la influencia de la humedad en la biodegradación de RSD.

Los RSD, se dispondrán en dos pilas de iguales características geométricas, que tienen las mismas condiciones de aireación, pero diferente humedad.

En ambas pilas se realizará un proceso de degradación aeróbica estática con aireación pasiva, en donde se suministra aire por medio de difusores (tubos de PVC) a presión atmosférica y una de ellas será expuesta a los efectos del agua mediante riego, mientras que la otra será aislada de los efectos del agua; es decir no se le aplicará riego quedando en condiciones normales y naturales de humedad.

Las pilas serán monitoreadas durante tres meses con la finalidad de medir los diferentes parámetros que permitan tener el control y avance de los RSD.

1.3 Objetivos de la Investigación.

1.3.1 Objetivo General.

Evaluar la incidencia de la humedad en el proceso de biodegradación de residuos sólidos urbanos, mediante el tratamiento mecánico biológico.

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Resumir el estado del arte respecto al tratamiento mecánico biológico de residuos sólidos urbanos.
- Realizar la construcción de dos pilas de residuos sólidos urbanos experimentales, manteniendo una granulometría definida y constante durante la experiencia.
- Evaluar la biodegradación de las dos pilas, variando las condiciones de humedad de una respecto a la otra, a través del seguimiento de los sólidos volátiles y los sólidos minerales.
- Realizar un análisis comparativo en las distintas variables a las cuales se les hace seguimiento, tales como: temperatura, humedad, pH, sólidos volátiles y sólidos minerales.

CAPITULO II MARCO TEORICO.

2.1 Definición de RSU.

Son considerados RSU a los materiales utilizados en actividades domésticas que son eliminados o desechados en las viviendas, estos materiales provienen de productos consumidos y de sus envases, empaques o embalajes.

Los RSU son generados cuando los materiales utilizados por el hombre cumplen con su vida útil, pierden su valor y dejan de ser necesarios para él, es decir, se convierten en basura. Estos residuos provienen de las diferentes actividades realizadas en hogares, comercios, industrias y actividades institucionales (oficinas públicas, escuelas, colegios y universidades).

2.1.1 Generación de RSU.

La generación de RS es una consecuencia directa de cualquier tipo de actividad desarrollada por el ser humano. En los hogares, oficinas, mercados, industrias, hospitales, etc. se producen residuos que es preciso recolectar, tratar y eliminar adecuadamente.

La cantidad de RS generados en Chile, según estimaciones para el periodo 2000-2009, presenta un crecimiento variable debido, principalmente, al aumento de la población, crecimiento en la producción industrial y tasas de valorización de residuos (Conama, 2000). En el periodo 2000-2009 ha experimentado un crecimiento estimado del 42%, pasando de 11,9 a 16,9 millones de toneladas. Para el año 2009, la generación estimada de residuos municipales correspondió a 6,5 millones de toneladas (38,5% del total de residuos sólidos), en tanto los RS generados por los distintos sectores industriales del país fue estimado en 10,4 millones de toneladas (61,5% del total de residuos sólidos).

Desde fines de los 80, Chile ha crecido a tasas del orden del 5% promedio anual, traduciéndose en un aumento significativo en la generación de RSD. Actualmente el crecimiento de la basura se mantiene dentro del mismo orden (5%), lo que significa una producción per cápita de entre 0,5-1,1(Kg/hab/día) (Donoso, 1997).

2.1.2 Clasificación de los RSU.

Por su origen los RSU pueden clasificarse en orgánicos e inorgánicos. Los orgánicos tienen la capacidad de fermentar y ocasionan procesos de descomposición (biodegradables). Aunque la naturaleza los puede aprovechar como parte del ciclo natural de la vida, cuando se acumulan posibilitan la multiplicación de microbios y plagas, convirtiéndose en potenciales fuentes de contaminación de aire, agua y suelo. Algunos residuos orgánicos son: restos de comida, papel de todo tipo, cartón, textiles, goma, cuero, madera, etc.

Por otro lado, los residuos inorgánicos se componen de desechos como latas, botellas, metales, plásticos y otros productos de uso cotidiano de origen industrial, los cuales tardan mucho tiempo en desintegrarse o nunca se descomponen, y por ello se les llama no biodegradables.

También existen productos de uso cotidiano en el hogar que contienen componentes peligrosos. Estos pueden ser pinturas, limpiadores, barnices, baterías para automóviles, aceites de motor y pesticidas.

2.1.3 Composición de los RSU.

El conocimiento de la composición de RSD tiene importancia para la toma de decisiones en la elección de los sistemas de tratamientos y gestión según Szantó (1998), la composición y el índice de generación de residuos varían según diferencias económicas, culturales, climáticas y geográficas.

En Chile los RS contienen una mayor proporción de material orgánico biodegradable con un alto contenido de humedad y densidad, como muestra la tabla 1.

Tabla 1. Composición y Cantidad de los RSU en Chile.

COMPONENTES PRINCIPALES	% EN PESO
Materia orgánica	49,19
Papel y cartón	15,20
Escoria, cenizas y lozas	2,11
Plásticos	10,41
Textiles	2,07
Metales	2,01
Vidrios	4,39
Huesos	0,56
Otros	14,06

Fuente: Elaboración propia.

2.2 Definición de TMB.

El TMB de los residuos es el procesamiento de los desechos urbanos residuales, desechos urbanos mixtos o cualquier residuo biológico no apto para el compostaje directo o para la digestión anaeróbica y tiene como objetivo estabilizar y reducir el volumen de residuos, así como utilizar las fracciones de residuos que han sido separadas. El proceso convierte los residuos en material semi-inerte mediante una amplia fase de estabilización, antes de su disposición final.

La parte mecánica consiste en la homogeneización del material, mientras que la parte biológica del proceso es similar al composteo para los residuos mezclados, la diferencia está en los objetivos. Mientras con el composteo se quiere producir composta, el TMB mejora las condiciones para la disposición final. Contrario al composteo, no se interrumpe el proceso de fermentación cuando se alcanzan temperaturas de 70°C ya que se deja alcanzar temperaturas hasta casi 100°C; con esto se obtiene prácticamente un material semi-inerte sin valor como mejorador de suelos.

2.2.1 Ventajas del TMB.

Las principales ventajas del TMB son las siguientes:

- Alto grado de descomposición de la materia orgánica antes de su disposición.
Por medio de la descomposición orgánica del material fácilmente degradable, las actividades biológicas y químicas dentro del relleno sanitario bajan significativamente (Castillo, 2001). Con esta medida se logra la casi desaparición de la fase ácida del relleno y con ello una baja significativa de la producción de lixiviados y gases (entre 65% y 95%).
- Disminuye la estructura de los residuos y favorece un alto grado de compactación.
Debido a la trituración y criba antes de ser composteado, se disminuye el tamaño de los residuos y aumenta su densidad (Cisterna, 2008). Por lo que se alcanza una mayor compactación (hasta 1,4 Ton/m³).
- Reducción entre 80% y 95%, en la generación de emisiones gaseosas, principalmente metano (Barradas, 1999).

- Efectivo control de residuos, olores y vectores.
Eliminación de roedores en gran medida debido a la temperatura generada en el proceso biológico. Disminuye considerablemente la microfauna, pájaros, roedores y perros.
- Reducción del potencial de asentamiento en el relleno sanitario.
El material producto en pretratamiento biológico posee una alta densidad (1 a 1,4 T/m³) y una baja permeabilidad, lo que implica la reducción del aporte de precipitación del agua de la lluvia (Jaramillo, 1999).
- Reducción de costos y tiempo post-cierre de un sitio de disposición final.
- Los residuos sólidos pierden la masa, reduciéndose la concentración de sólidos totales hasta 33% y hasta el 12% en la concentración de carbono orgánico total (Opazo, 1998). Los residuos sólidos están bien estabilizados con el potencial contaminante reducido significativamente, obteniendo un material semi-inerte, antes de su disposición final.

2.2.2 Factores que afectan el proceso de degradación de residuos.

Los factores que influyen en la actividad microbiológica y consecuentemente en el proceso de biodegradación de RS son el tamaño de las partículas del material a descomponer (granulometría), el contenido de humedad, el nivel de oxígeno (aireación), la temperatura, el pH y el balance carbono/nitrógeno. Todos estos factores están interrelacionados y deben ser cuidadosamente monitoreados y controlados para que el proceso de biodegradación se realice en forma eficiente (FAO,1977).

a) Granulometría.

Los RSD son gruesos e irregulares, alcanzando un tamaño promedio de 60 (mm), por lo que para responder bien a la degradación estos residuos se deben triturar, quedando después de la molienda con un tamaño de 20 (mm) aproximadamente. Las dimensiones consideradas óptimas para la biodegradación de residuos son distintas según los criterios de distintos autores, variando entre 1 y 5 (cm) (Haug, 1993), entre 2 y 5 (cm) (Kiehl, 1985) o entre 2,5 y 2,7 (cm) (Tchobanogolus, 1994). Con la trituración se mezclan los residuos y forman una masa homogénea, se logra aumentar la superficie para el ataque de los microorganismos porque se destruye la estructura celular y se liberan fluidos lo que predispone a la descomposición del

material. Por otro lado una trituración muy fina disminuye la permeabilidad de la masa total, impidiendo una adecuada aireación y por ende inhibiendo el proceso (EPA,1994).

b) Contenido de humedad.

El contenido de humedad en la descomposición aeróbica puede variar entre el 30 y el 100%, esto depende del tipo de materia, por ejemplo para materiales fibrosos o residuos forestales el grado idóneo es de 75 al 85% mientras que la experiencia práctica indica que para material fresco el óptimo de la actividad se produce con contenidos de humedad entre el 40 y el 60%. Un mayor contenido de humedad es perjudicial ya que dificulta el acceso de aire a los microorganismos descomponedores y en consecuencia favorece la formación de un ambiente anaeróbico. Inversamente, un bajo contenido de humedad inhibiría la acción biológica de los organismos presentes. De esta manera la humedad debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de los residuos (Miyatake y col, 2006) para que permita la circulación tanto de aire, como la de otros gases producidos en la reacción.

c) Aireación.

La aireación de la pila es importante ya que durante la fase biooxidativa, el porcentaje inicial de oxígeno puede verse reducido hasta un 20%, mientras que el dióxido de carbono aumenta hasta un 5%. Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aeróbicos por anaeróbicos, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores (Bidlemaier, 1996). Por otro lado, hay que tener cuidado con la excesiva aireación de la pila ya que podría provocar el enfriamiento del material, así como un incremento de la evaporación de agua, lo que supondría la reducción de la actividad microbiana (Zhu, 2006). Hay dos formas principales de conseguir el nivel óptimo de oxígeno: aireación por volteo y aireación forzada.

d) Temperatura.

La temperatura es un factor crítico en el proceso debido a que determina la tasa de descomposición (Liang y col, 2003; Miyatake y col, 2006). La temperatura de la masa debe mantenerse entre 45 y 60°C para obtener una alta eficiencia en el proceso aeróbico que se desarrolla y para destruir organismos patógenos, huevos y larvas de insectos. Si la temperatura es menor a 20°C los microorganismos no proliferan y la descomposición se hace lenta. Si las temperaturas son mayores a 60°C algunos organismos son inhibidos o mueren,

se reduce la diversidad de éstos lo que produce una descomposición más lenta.

Se observan tres fases en el proceso de descomposición aeróbica: fase mesófila inicial (temperaturas menores a 45°C), al final de la cual se producen ácidos orgánicos; fase termófila (temperaturas mayores a 45°C); y fase mesófila final, considerándose finalizado el proceso cuando se alcanza de nuevo la temperatura inicial.

e) PH.

El valor del pH de la masa depende de la composición de la basura pero, durante el proceso de estabilización, se controla automáticamente por la aireación y la temperatura. La basura fresca tiene un pH que es ligeramente ácido (pH 6 a 7), siendo sensiblemente más ácido al cabo de uno o dos días (pH 5 a 6). Durante el proceso aeróbico el pH puede usarse como índice, ya que cuando comienza la reacción el pH baja a valores entre 4,5 y 5,5, luego después de 24 a 72 horas de la fase inicial, el pH sube y a medida que la temperatura crece y se acerca a la etapa termofílica se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas (Sánchez-Monedero, 2001), obteniendo valores de pH entre 8 y 9. Por último, al final del proceso el pH se acerca al valor neutro (7), lo que implica que el compost, que es el producto final, tiene un pH cercano a neutro.

f) Balance carbono/nitrógeno (C/N).

Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35 (Jhorar y col, 1991).

La relación C/N influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio durante el compostaje; si la relación C/N es mayor que 40 la actividad biológica disminuye y los microorganismos deben oxidar el exceso de carbono con la consiguiente ralentización del proceso, debido a la deficiente disponibilidad de N para la síntesis proteica de los microorganismos. Si la relación C/N es muy baja el compostaje es más rápido pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma amoniacal, produciéndose una autorregulación de C/N.

CAPITULO III METODOLOGIA.

Para llevar a cabo este estudio se construyeron dos pilas de RSU con condición de aireación similar, pero que poseen diferente control de agua; ya que una de ellas está sometida a riego (precipitación artificial) y la otra a condiciones de humedad natural; es decir, sin intervención alguna mediante riego.

Los RS utilizados para la confección de las pilas fueron recolectados en las calles circundantes a la UBB, principalmente provenientes de la avenida Collao.

3.1 Preparación de experiencia.

Para la preparación y el procesamiento de los residuos es necesario definir los siguientes puntos: emplazamiento de la investigación, recolección y transporte, trituración y homogeneización de los residuos, montaje de las pilas y por último las características geométricas de las pilas.

3.1.1 Emplazamiento de la investigación.

El terreno dispuesto para la implementación del proyecto se ubica en el sector experimental de ingeniería civil (sector container) en la UBB en la comuna de Concepción, región del Bío-Bío.

Previo a la construcción de las pilas, se realizó una nivelación del terreno manualmente con pala mecánica facilitada por el Laboratorio de Construcción de la Universidad. Para poder tener mejores condiciones de trabajo se colocaron los residuos encima de una tarima cubierta con polietileno para evitar la percolación a las napas subterráneas de los lixiviados potencialmente generados como producto de la biodegradación de la materia orgánica. Además, se fabricó un cerco de madera con malla hexagonal galvanizada de 1,6 (m) de altura y se colocaron bloques de hormigón alrededor del lugar para evitar el ingreso de animales que puedan afectar los resultados de la investigación, como se muestra en la figura A1.

3.1.2 Recolección y transporte.

La recolección de los residuos fue hecha en viviendas de clase media de la comuna de concepción; principalmente provenientes del sector avenida Collao.

El traslado de los RSU se realizo en bolsas de basura de plástico; recurriendo a un bote de basura para su transporte, como se observa en la figura A2.

3.1.3 Trituración y homogeneización de los residuos.

Para poder realizar el TMB es necesario romper las bolsas de basura en donde se encuentran los residuos, para luego comenzar con la trituración de éstos manualmente con elementos cortantes como tijeras y cuchillos, como se muestra en la figura A3. Posterior a la trituración se realizó la homogeneización de los residuos manualmente.

3.1.4 Montaje de las pilas.

El material sometido previamente a la parte mecánica del tratamiento, se dispone formando las pilas sobre pallets de madera o tarima como base de las pilas para facilitar la aireación de éstas.

Para la aireación pasiva con difusores de las pilas de RSU, se utilizaron en total nueve tubos de PVC por cada pila (ver figura A4), de dimensiones 8(cm) de diámetro y 30(cm) de largo, ubicados de acuerdo a la siguiente distribución:

- Cuatro tubos de PVC, cada uno ubicado por cada cara de la pila.
- Cuatro tubos de PVC, colocados de manera transversal todos: dos tubos a la izquierda de la pila y dos a la derecha de ella.
- Un tubo de PVC principal ubicado al medio de la pila que funciona como una especie de chimenea.

3.1.5 Características geométricas de las pilas.

Las dimensiones de las pilas influyen principalmente en la aireación del material y en la transformación del material orgánico; por lo tanto dado que el manejo de las pilas es manual, las dimensiones que éstas tengan deben ser las adecuadas para lograr un buen trabajo.

Ambas pilas de RSU fueron elaboradas con las mismas dimensiones; es decir, con igualdad de largo, ancho y alto. Al momento de armar las pilas, se tomó la precaución de dejar el espacio necesario, para poder realizar las labores pertinentes durante la investigación y controlar de una mejor forma las variables del proceso.

Finalmente la superficie de las pilas es cubierta con un material vegetal o biofiltro de pasto de aproximadamente 5 (cm) de alto, esta cobertura de las pilas tiene el objetivo de mantener un calentamiento homogéneo en ellas, una reducción de olores del aire de salida de las pilas, impedimento de acceso de animales, etc. En la figura A5 se muestran las dimensiones finales de las pilas con su cobertura.

3.2 Descripción de experiencia.

El procedimiento operacional efectuado a ambas pilas fue el de aireación pasiva mediante difusores en vez de realizar volteo a las pilas de residuos. En cambio la incorporación de agua sólo se le realiza a la pila sometida a riego (Pila N°1).

3.2.1 Riego.

La incorporación de agua a la pila sometida a riego de manera de evaluar el efecto de la pluviometría en un proceso de biodegradación de RSU se hace efecto manualmente mediante un sistema de aspersion.

Los materiales utilizados son los siguientes:

- Aforo.
- Manguera.
- Cronómetro.
- Aspersor.

El procedimiento para efectuar esta operación es el siguiente:

- Se instala a la llave la manguera con el aspersor en el extremo de salida del agua.
- Luego se procede a llenar con agua el aforo registrando el tiempo de llenado de éste, ver figura 1. Esta acción se realiza tres veces luego de la cual se determina un tiempo promedio de llenado.



Figura 1. Estimación tiempo de llenado mediante aforo.

- A partir de lo anterior se calcula el caudal de agua saliente a través del aspersor con la ecuación 1.

$$Q_{llave} = \frac{V_{aforo}}{t_{prom}}$$

Ec.(1)

En donde se tiene que:

- V_{aforo} : Volumen del aforo (m^3).
- t_{prom} : Tiempo promedio de llenado del aforo (s).

- Después se calcula el caudal diario de agua a incorporar a la pila para la intensidad constante de $30\left(\frac{mm}{día}\right)$ de precipitación, con la ecuación 2.
- Se decide trabajar durante toda la experiencia con esta intensidad de $30\left(\frac{mm}{día}\right)$, suministrada a la pila N°1, a la cual se le aplica el riego.

$$Q = i * A \quad \text{Ec.(2)}$$

En donde se tiene que:

- i : Intensidad de precipitación (m/día).
- A : Área en planta de la pila a degradar (m²).

- Luego se determina el volumen diario de agua a incorporar a la pila con la ecuación 3.

$$V_{diario} = Q * 1 (día) \quad \text{Ec.(3)}$$

En donde se tiene que:

- Q : Caudal diario de agua a incorporar a la pila (m³/día).
- Finalmente a partir de la información antes calculada se determina el tiempo que debe estar abierta la llave (ecuación 4) de manera de suministrar el volumen de agua dado por la ecuación 3, ver figura 2.

$$t = \frac{V_{diario}}{Q_{llave}} \quad \text{Ec.(4)}$$



Figura 2. Incorporación de agua a la pila N°1.

En donde se tiene que:

- V_{diario} : Volumen diario de agua a incorporar a la pila (m^3).
- Q_{llave} : Caudal entregado por la llave de agua (m^3/s).

De esta manera utilizando el procedimiento anterior se entregan los resultados del volumen de agua diario a incorporar a la pila N°1 y el tiempo que debe estar abierta la llave para suministrar tal volumen, para una intensidad constante de $30 \left(\frac{mm}{día} \right)$ durante toda la experiencia.

- $V_{diario} = 0,015 (m^3)$.
- $t = 41 (s)$.

3.2.2 Medición de parámetros.

La frecuencia de medición de los parámetros evaluados y de ejecución de los procedimientos operacionales a lo largo de la investigación se detalla en la tabla 2.

Tabla 2. Medición de Parámetros.

PARÁMETRO	MEDICIÓN
Temperatura	diaria
PH	cada 2 días
Humedad	diaria
Riego	Humedad<50%
Sólidos volátiles y minerales	cada 2 días

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Introducción.

En este capítulo se analizan y discuten los resultados obtenidos para ambas pilas luego de tres meses de duración de la experiencia. La pila N°1 se define como la pila sometida a riego con sistema de aireación pasiva y la pila N°2 como la pila no sometida a riego con sistema de aireación pasiva.

El experimento fue monitoreado a través de los parámetros de temperatura, contenido de humedad, pH, sólidos volátiles (SV) y sólidos minerales (SM). Los datos obtenidos han sido graficados para estudiar la evolución del proceso.

4.2 Análisis y comparación entre ambas experiencias.

En los siguientes puntos se comparan las principales variables medidas en ambas pilas, de manera de visualizar el efecto de la aireación y el efecto del riego a una intensidad constante de 30(mm/día) en dichos parámetros.

4.2.1 Evolución de la temperatura promedio interna en las pilas.

Se aprecia que al comenzar el control de la pila N°1 se registra una temperatura interna promedio de 17,8°C, que supera a la temperatura ambiental inicial de 16,1°C, este comportamiento sufre una variabilidad considerable de 3°C en promedio por alrededor de 14 días. Luego de esto y debido a las condiciones desfavorables del clima (días lluviosos y nublados), desde el día 15 las temperaturas internas de la pila son menores a la ambiental hasta llegar a un valor de temperatura mínima promedio de 11,8°C el día 27, esto sucede relativamente hasta el día 54 en el cual se alcanza la temperatura máxima promedio de 26,9°C. Después del día 56 la temperatura interna promedio de la pila aumenta respecto a la temperatura ambiental hasta finalizar el proceso, esto debido a que las condiciones climáticas son favorables para la biodegradación (los días están soleados).

En la pila N°2, al comenzar con el monitoreo se observa que la temperatura interna promedio es de 27,4°C y supera a la temperatura ambiental inicial de 16,1°C, este comportamiento sufre una variabilidad promedio de 4,2°C hasta llegar el día número 16, en el cual ambas

temperaturas alcanzan el mismo valor de 16,1°C. Posteriormente las temperaturas internas de la pila son menores a la ambiental hasta llegar a un valor de temperatura mínima promedio de 12,1°C el día 29, este comportamiento se prolonga hasta el día 51. Desde el día 54, se alcanza la temperatura máxima promedio de 34,4°C y la temperatura interna aumenta respecto a la temperatura ambiental que en promedio es de 20,3°C hasta finalizar el proceso.

Al comparar ambas curvas de evolución de la temperatura interna de las pilas en la figura 3, se puede ver el efecto que provocó en la temperatura interna de la pila N°1 la incorporación de agua; registrándose temperaturas promedios menores que las de la pila N°2. La pila N°1, durante el periodo de la investigación nunca alcanzó la etapa termofílica, considerada como óptima para obtener una alta eficiencia en el proceso aeróbico y la destrucción de organismos patógenos. Esto se explica por el hecho que el agua ocupó un porcentaje importante de los poros que poseía la pila en el proceso de biodegradación y con ello desplazó el aire originalmente presente en éstos, provocando que la actividad microbiana desarrollada por los organismos encargados de biodegradar la materia orgánica presente en la pila fuese más lenta y que exista una baja en la temperatura.

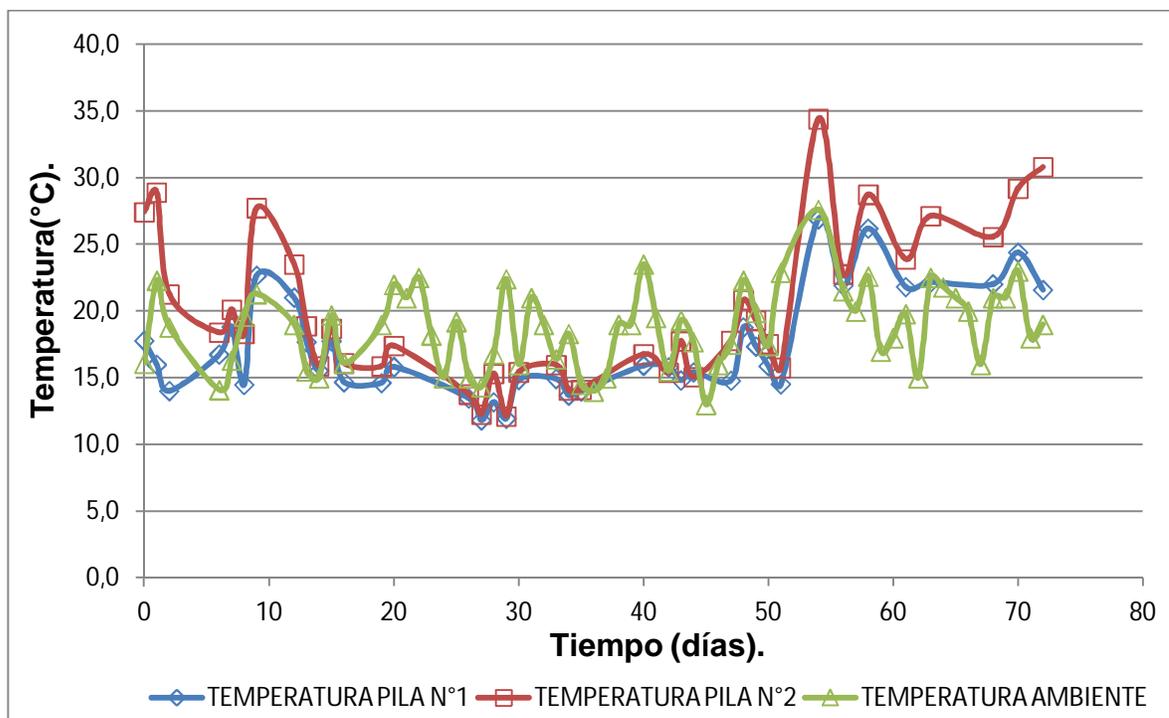


Figura 3. Variación de la temperatura interna promedio de las pilas.

Una situación similar ocurrió con la temperatura interna de la pila N°2, en la cual también no alcanzó a desarrollar organismos termofílicos (temperaturas mayores a 45°C) debido a las bajas temperaturas ambientales que enfrentó durante todo el proceso, pero fue la que mejor se aproxima durante la experiencia. La máxima temperatura interna que registró esta pila fue de 34,4°C el día 54, precisamente el mismo día en que la pila N°1 registra su mayor temperatura interna de 26,9°C.

Entre los días 13 y 51, que representan gran parte del periodo de análisis de los residuos, las diferencias entre las temperaturas internas promedios de ambas pilas son pequeñas; en cambio en los últimos días del proceso, se visualiza una oscilación más significativa tanto en las temperaturas registradas de cada pila como en la diferencia existente entre sus temperaturas.

Finalmente cabe destacar que las temperaturas internas promedio de ambas pilas durante toda la investigación están en la etapa mesofílica, con temperaturas menores a los 45°C.

4.2.2 Evolución de la humedad en las pilas.

En la pila N°1 se registro un promedio de humedad durante el proceso de biodegradación de 66,20%, valor que supera el rango aceptable (40-60%), debido a que la pila estaba expuesta a riego de manera regular durante toda la investigación, y debido a su proceso de aireación que fue con difusores estáticos no pudo removerse el material para ayudar a la reducción de la humedad, provocando que se generen malos olores al retirar las muestras.

Se observa que generalmente en los periodos en que se suspendía la incorporación de agua mediante riego a la pila, la humedad presento leves descensos, mientras que la temperatura interna de la pila se ve incrementada. Caso contrario, a mayores valores de humedad se aprecian disminuciones en la temperatura interna de la pila.

Se registró inicialmente una humedad de 71,96% llegando a finalizar el proceso con una humedad de 51,20%.

Para la pila N°2 el valor de humedad inicial fue de un 63,75%, finalizando el proceso con un valor de humedad del 36,45%. El valor promedio obtenido de la humedad (media aritmética de todos los valores de humedad en la pila) durante toda la experimentación es de un 59,04%, valor que se encuentra dentro del rango óptimo (40-60%).

La temperatura promedio interna de la pila se ve afectada disminuyendo principalmente en los primeros 27 días de investigación debido al aumento de la humedad del material. Posteriormente, la temperatura interna de la pila va creciendo paulatinamente producto de una

reducción gradual de la humedad.

En los últimos días, consecuencia de las altas temperaturas habidas, la humedad decae en forma drástica, alcanzando valores pequeños con rangos entre 30 y 40%.

Al comparar ambas curvas de evolución de la humedad en la figura 4, se observa que al comenzar el proceso de biodegradación hay una diferencia porcentual de humedad relevante de un 8,21% (diferencia entre humedades iniciales de ambas pilas), la cual va disminuyendo de gran manera, presentando diferencias menores al 5% a medida que transcurre el tiempo (cercanía en los valores de porcentaje de humedad) hasta llegar al día 35 de la investigación. La cercanía en los valores de humedad entre ambas pilas se debe principalmente a las condiciones desfavorables del tiempo, ya que aproximadamente hasta el día 35 hubieron precipitaciones de manera regular que generaban una disminución en las temperaturas y con ello una mayor humedad.

Desde el día 40 hasta el final del proceso comienzan a establecerse grandes diferencias en la humedad de las pilas (diferencias superiores al 10%), ya que en este periodo los días se encuentran soleados (temperatura ambiente mayor a 20°C), aumentando considerablemente la temperatura ambiente y la temperatura interna de las pilas; favoreciendo un mayor porcentaje de humedad a la pila que se somete a riego (pila N°1). En particular al final del proceso de biodegradación la diferencia en la humedad es del 14,75%.

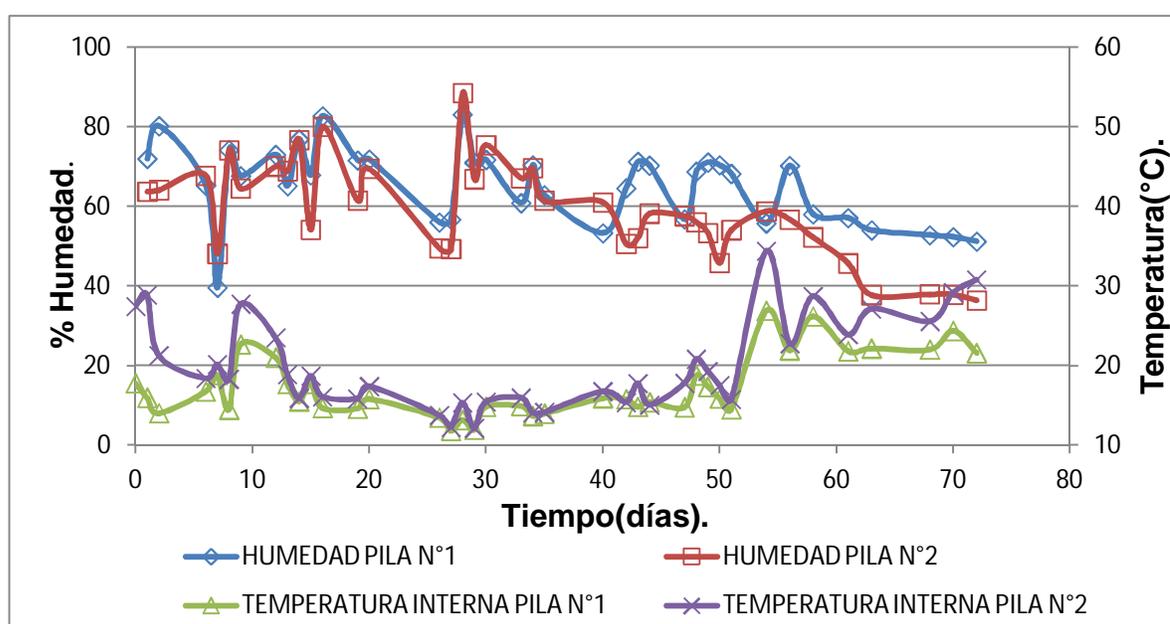


Figura 4. Variación de la humedad en las pilas.

4.2.3 Evolución del pH en las pilas.

Para la pila N°1, el valor del pH inicialmente registrado fue de 5,4. Debido a la actividad metabólica que aumenta la temperatura se producen ácidos orgánicos que provocan la disminución del pH llegando a un valor mínimo de pH de 5,01. La biodegradación de los ácidos orgánicos provoca el incremento del pH donde varía de 6 a 9,5 aproximadamente, alcanzándose el valor máximo de pH de 9,53 el día 58, el cual coincide con el periodo donde se registran las máximas temperaturas internas de la pila. Posteriormente el pH disminuye hasta alcanzar un valor de 7,38 (cercano al pH neutro de 7) al final del proceso.

En la pila N°2, inicialmente el valor del pH registrado fue de 5,6, luego se observa una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica biodegradable, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos, registrándose el mínimo valor de pH que es de 5,42. Posteriormente existe una tendencia al aumento del pH variando de 5,5 a 9 aproximadamente, alcanzándose el valor máximo de pH de 8,75 el día 58, el cual coincide con el periodo donde se registran las máximas temperaturas internas de la pila. Finalmente en los últimos días de mediciones el pH disminuye hasta alcanzar un valor de 7,29 (cercano al pH neutro de 7).

Al comparar ambas curvas de evolución del pH en la figura 5, se observa que el pH se incrementó en poco tiempo, tomando gran parte de los datos un rango entre 8 y 9 para la pila N°1, a diferencia de la pila N°2 que adoptó un rango entre 7 y 8, para luego ambos estabilizarse en un valor de pH cercano a 7. El aumento del pH a medida que transcurre el tiempo indica que prácticamente no hay ácidos orgánicos que puedan liberarse, típicos de procesos anaeróbicos (Perez, 2008).

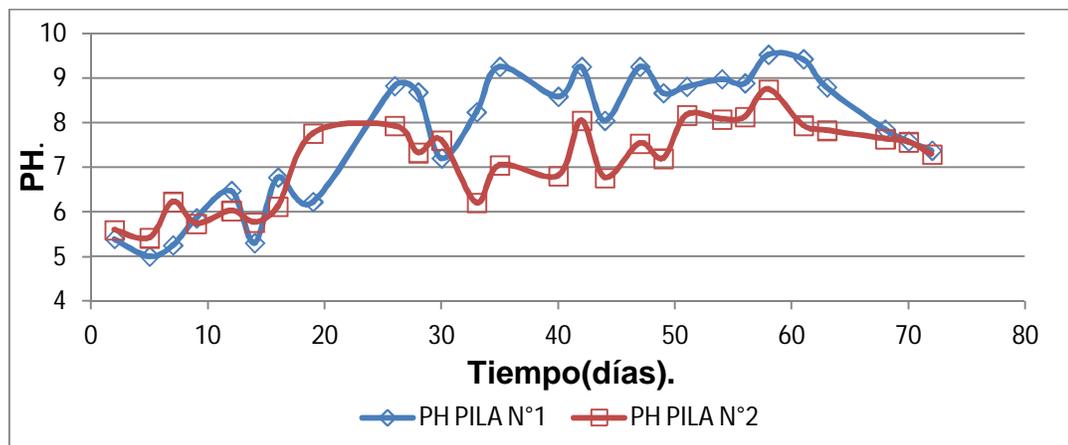


Figura 5. Variación del pH en las pilas.

4.2.4 Evolución de SV en las pilas.

En la pila N°1 los SV siguen una tendencia decreciente a lo largo del proceso (el porcentaje de SV disminuye a medida que aumentan los días), por el desprendimiento de dióxido de carbono y agua. Esta tendencia es más lineal y notoria entre los días 16 y 26. Inicialmente se registra un 95,45% de materia orgánica llegando al final del proceso de biodegradación con un valor de 75,31%.

En los últimos 21 días se observa que la reducción en el porcentaje de SV posee una tendencia lineal cada vez más evidente, con lo que se puede concluir que el proceso llega a su fin.

Para la pila N°2, a lo largo del proceso se presenta un descenso aproximadamente gradual de este parámetro disminuyendo su cantidad inicial de materia orgánica debido a la descomposición del material. Inicialmente se registra un valor de 91,22% de SV alcanzando al término del proceso un 70,22%. En los últimos días la reducción en el porcentaje de sólidos SV comienza a ser cada vez más similar, con lo cual se puede inferir que el proceso de biodegradación está por finalizar.

Al comparar ambas curvas de evolución de los SV en la figura 6 , se observa que la diferencia en los porcentajes finales de materia orgánica presente en las pilas se debe en gran medida a la incorporación de agua a la pila N°1, lo cual hizo que su velocidad de biodegradación fuese más lenta, ya que los microorganismos encargados de la biodegradación de la materia orgánica requieren de oxígeno para su metabolismo, además de nutrientes, el cual en el caso de la pila N°1 existió en menor cantidad al ser desplazado por el agua a medida que ésta se incorporaba.

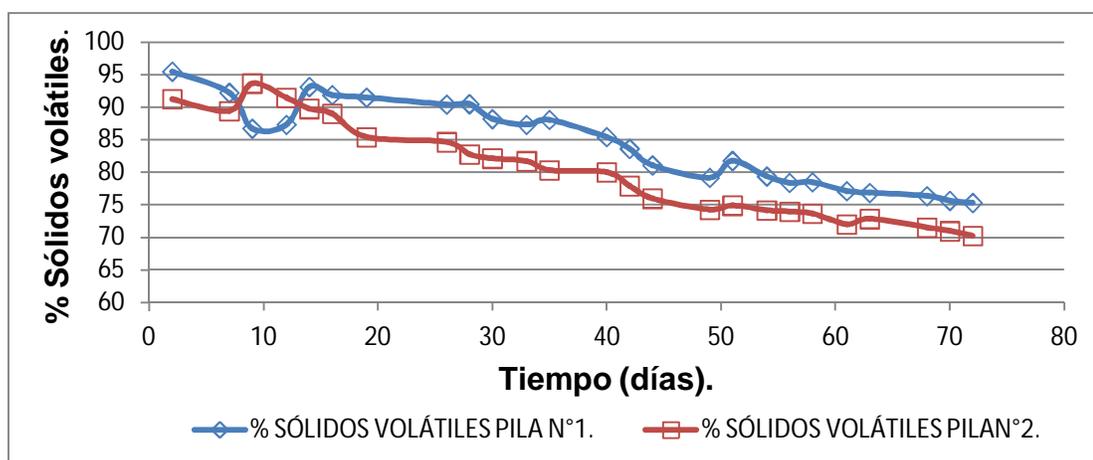


Figura 6. Variación de SV en el tiempo de las pilas.

4.2.5 Evolución de SM en las pilas.

En la pila N°1, al inicio del proceso de biodegradación de los residuos el porcentaje de contenido mineral presente es de un 4,55%. En cambio, a raíz de la reducción de la materia orgánica, al finalizar la investigación el porcentaje de material mineral es de 24,69%.

Para la pila N°2, al inicio del proceso los SM son de un 8,78%, mientras que al finalizar la investigación este valor aumenta a un 29,78%.

Al comparar ambas curvas de evolución de SM en la figura 7, se observa un aumento de los SM a medida que transcurren los procesos de biodegradación. Sin embargo, este aumento en el contenido de material mineral resulta mayor en la pila no sometida a riego (pila N°2), debido a que en esta pila hubo una reducción de SV también más grande en comparación a la pila N°1. Este fenómeno tal como se mencionó anteriormente se debe a la incorporación de agua a la pila N°1 lo que ocasionó que su velocidad de biodegradación fuese más lenta para un mismo periodo de tiempo en comparación a la pila N°2.

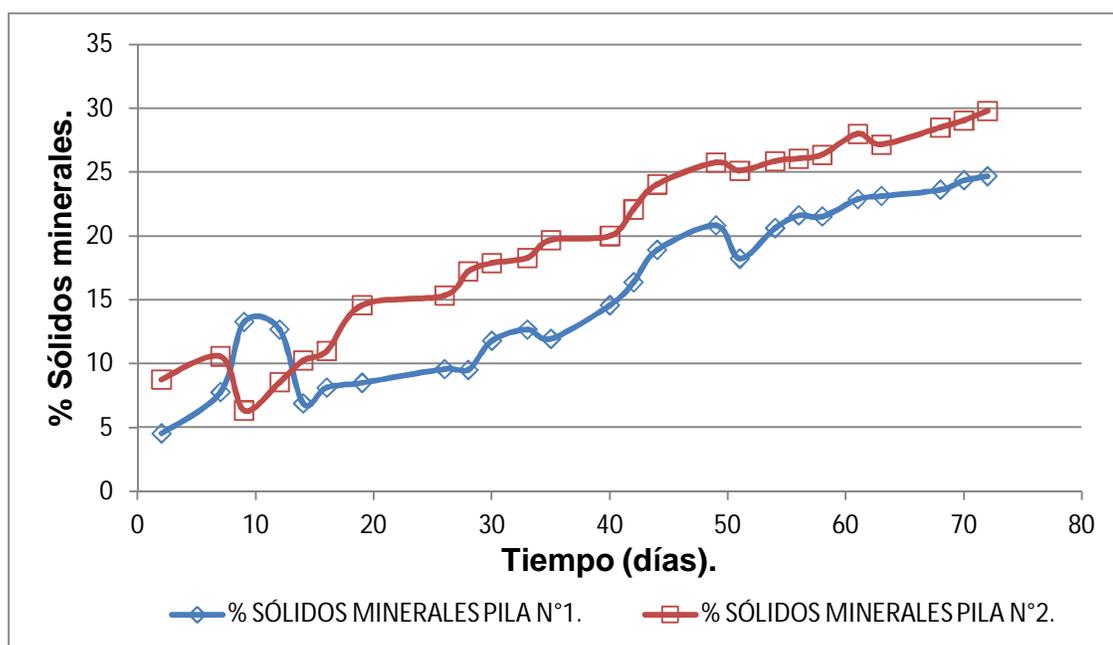


Figura 7. Variación de SM en las pilas.

4.2.6 Constante endógena.

Para determinar la constante endógena o de reacción (Kd) se procede a linealizar las curvas mostradas en la figura 8, para lo cual debemos graficar $LN((SV_t - SV_{nb}) / (SV_0 - SV_{nb}))$ en función del tiempo.

Como se sabe la temperatura en el proceso es variable, por lo cual para el desarrollo de la linealización de las curvas, se tomo una temperatura interna media, aproximando así los cálculos a la cinética de un digestor aeróbico, en donde el coeficiente de reacción está asociado a una temperatura constante.

La forma como se obtuvo la pendiente para cada línea de tendencia se muestra en la tabla C4 y en la tabla D4, y corresponde a la constante de reacción.

En el caso de la pila sometida a riego (pila N°1) el valor de Kd es de 0,0409(día⁻¹) en cambio para la pila N°2 el valor de Kd es de 0,0492(día⁻¹).

Esta diferencia en los valores de las constantes de reacción se explica por la influencia de la incorporación de agua a la pila N°1, lo cual hizo que sus temperaturas internas registradas fueran mucho menores en comparación a las temperaturas internas desarrolladas por la pila N°2, obteniéndose de esta manera un menor valor de Kd para la pila N°1.

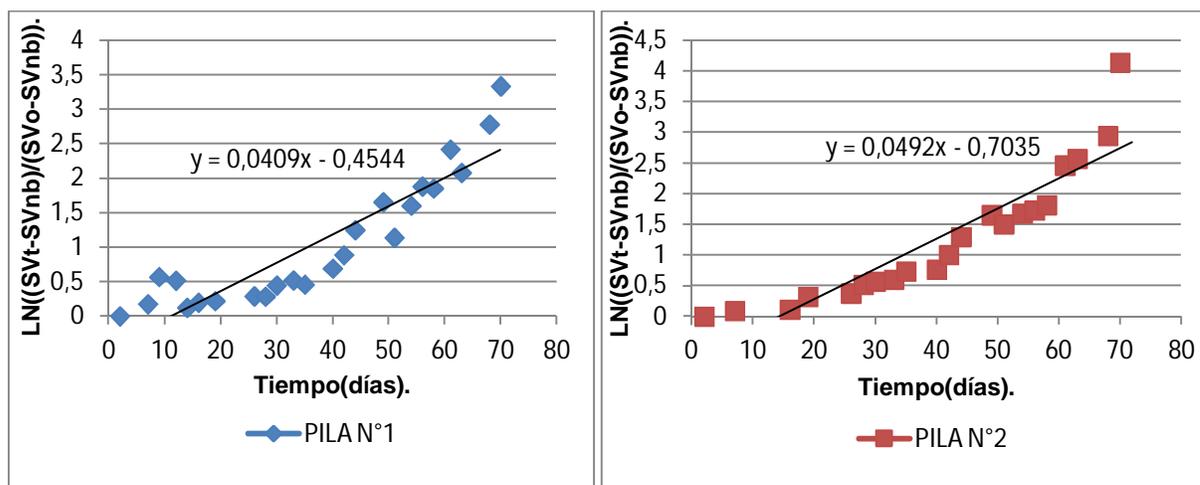


Figura 8. Constante endógena de pila N°1 y pila N°2.

4.2.7 Pérdida de masa y volumen.

En el transcurso del tiempo se estableció la pérdida de volumen y de masa a consecuencia de la biodegradación aeróbica y la presencia de material orgánico.

La figura 9 muestra a la pila N°1 al inicio y final del proceso de biodegradación. La pila registró una masa inicial de 31 (Kg), y luego de transcurrido los tres meses de investigación registra una masa final de 12,57 (Kg). De esta manera hay una pérdida de masa de 18,43 (Kg) debido a la biodegradación aeróbica ocurrida en los residuos producto de material orgánico.

En cuanto a su volumen, la pila registra un volumen inicial de 0,16 (m³) y posteriormente tras haber transcurrido los tres meses de la experiencia el volumen final fue de 0,0062 (m³), perdiendo un volumen de 0,1538 (m³).



Figura 9. Pila N°1 al inicio y final del proceso de biodegradación.

Por otra parte en la figura 10 se muestra a la pila N°2 al inicio y final del proceso de biodegradación. La pila registró una masa inicial de 37 (Kg), y luego de transcurrido los tres meses de investigación registra una masa final de 9,69 (Kg). De esta manera hay una pérdida de masa de 27,31 (Kg), superando al de la pila N°1.

En cuanto a su volumen, la pila registra un volumen inicial de 0,19 (m³) y posteriormente tras haber transcurrido los tres meses de la experiencia el volumen final fue de 0,0048 (m³), perdiendo un volumen de 0,1852 (m³).



Figura 10. Pila N°2 al inicio y final del proceso de biodegradación.

4.2.8 Biodegradación de materia orgánica en pilas de RSU.

La biodegradabilidad es una característica de los compuestos orgánicos que tiene relación con el nivel de susceptibilidad de que estos sean degradados por microorganismos, y por lo tanto, condiciona la viabilidad de tratar biológicamente los residuos (Cisterna, 2002).

Para determinar el nivel de biodegradación de la materia orgánica se utiliza el contenido en SV como una medida aproximada de la biodegradabilidad, obteniéndose para la pila N°1 un nivel de biodegradación de 21,10% y para la pila N°2 un 23,02%. Este resultado es consistente, debido a que la pila N°2 posee temperaturas internas promedios mayores en comparación a la pila N°1, permitiendo que la pila N°2 posea un mayor nivel de biodegradación.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

De acuerdo a los resultados y análisis comparativos presentados en el capítulo anterior, y además basándose en los objetivos propuestos dentro del marco investigativo de este proyecto, se determinan las siguientes conclusiones.

5.1 Conclusiones.

- El exceso de agua en una pila ocasiona una disminución de la temperatura y de la actividad microbiológica por carecer de oxígeno, ya que el agua ocupa un porcentaje importante de los poros en la pila produciéndose un desplazamiento del aire que está presente en los poros.
- Un ingreso excesivo de agua reduce el pH debido a que se producen fermentaciones anaeróbicas, reduciendo la efectividad del proceso de biodegradación de los residuos y causando la aparición de olores muy desagradables (reacciones de putrefacción).
- La pila con mayor oxigenación (pila N°2), presenta una baja en el contenido de humedad a lo largo del proceso, debido a la actividad microbiológica y a la evaporación por las temperaturas desarrolladas.
- La reducción de sólidos volátiles fue mayor en la pila que no poseía control de agua por medio de riego (pila N°2).
- Existen diferencias entre los valores de las constantes de reacción.
En el caso de la pila sometida a riego con aireación pasiva (pila N°1) el valor de K_d es de $0,0409(\text{día}^{-1})$, mientras que en la pila no sometida a riego con aireación pasiva (pila N°2) el valor es de $0,0492(\text{día}^{-1})$. Esta diferencia se explica por la incorporación de agua a la pila sometida a riego, provocando que la velocidad de degradación de la materia orgánica presente en ella sea más lenta en comparación al de la pila sin intervención mediante riego.
- Al evaluar los efectos de la humedad en las pilas, se puede concluir que bajo la influencia de la época primaveral resulta más favorable realizar el TMB en la pila N°2 en comparación a la pila N°1, ya que hay un mayor nivel de biodegradación de los residuos.

5.2 Recomendaciones.

- Se recomienda realizar la experiencia en época de invierno, ya que eventualmente puede haber una influencia más significativa en el nivel de biodegradación de los residuos al incorporar agua por medio de riego o precipitación natural a la pila.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Ahumada, C. (2005).“Evaluación de los Efectos de la Pluviométrica en las Pilas de Compostaje”, Proyecto de Título de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.
- Barradas A. (1999). Investigación sobre metodología adecuada para la planificación de la gestión integral de los residuos sólidos urbanos y rurales aplicada a la zona Minatitlán-Cosoleacaque, Veracruz. Tesis doctoral. UPM.
- Bidlingmaier, W. (1996). Odour emissions from composting plants. En.: De Bertoldi, M.; Sequi, P.; Lemmes, B.,Papi, T. (Eds.). The Science of Composting, Vol I, pp. 71-79. Blackie Academic & Professional, London.
- Castillo, G., Alcota, C., Mena, M. (2001). “Acondicionamiento de Biosolidos por medio de Compostaje”, XIV congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS.
- Cisterna, P. (2008). “Gestión de Residuos Sólidos”. Apunte de clase.
- Comando, A. (2006). “Optimización del Compostaje de Residuos Sólidos Urbanos en proceso de serie Anaerobio- Aerobio”. Tesis Doctoral. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid.
- CONAMA. CHILE. 2000. Política nacional sobre gestión integral de los residuos sólidos. Propuesta de política a presentar a consulta pública. Santiago, Chile. 31p. Disponible en <http://www.conama.cl/portal/1255/articles-26270_pdf_politica.pdf>[Consulta:Marzo 2004].
- Donoso, G. 1997. Tarificación diferenciada para la basura domiciliaria para el manejo de los residuos sólidos domiciliarios en base a la cantidad generada. Disponible en <<http://www.conama.cl/portal/1255/article-26246.html>> [Consulta: 15 diciembre 2003].
- Elke Huttner .(2003).“Sector Project Mechanical- biological Waste Treatment”, Final Report GTZ, Alemania.

- EPA. (1994). Markets for Compost. Washington D.C: Office of Solid Waste and Emergency Response and Office of Policy, Planning and Evaluation.
- FAO. (1977). China: reciclaje de desechos orgánicos en la agricultura. Informe sobre un viaje de estudios FAO/PNUD a la Rep. Pop. China. Boletín de Suelos N°40. Roma. 105 p.
- Haug, R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.
- Jaramillo, J. (1999). Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Secretaría de Salud y Asistencia, SSA.
- Jhorar, B.S.; Phogat, V., Malik E. (1991). Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. Arid Soil Rest. Rehabil., 5: 297-306.
- Kiehl, F.J. 1985. Fertilizantes orgánicos. Editora Agronómica Ceres Ltda, São Paulo.
- Labbé Pedro. (2003).“Acondicionamiento de Residuos Sólidos Mediante Compostaje”, Proyecto de Título de Ingeniería Civil, Universidad del Bío-Bío.
- Liang C., Das K.C., McClendon R.W. (2003). The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. Biores. Technol., 86 131–137.
- Medina-Gómez G. (2003). Estudio para determinar la calidad de los residuos sólidos en El Arenal, Hidalgo. Especialidad en Ingeniería Ambiental, Tesina. Instituto Tecnológico de Pachuca, México.
- Olabe, A., (1998). Recogida selectiva de residuos e instrumentos económicos. Revista técnica Residuos No. 43. Bilbao, España.

- Perez, C. (2008). "Evaluación de los efectos de la aireación en pilas de compostaje de biosólidos", Proyecto título de ingeniería civil, Universidad del Bío Bío.
- Sánchez-Monedero M. A., Roig A., Paredes C., Bernal M. P. (2001). Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. *Biores. Technol.*, 78 (3): 301-308.
- Seadon. J. (2006). "Integrated waste management-Looking beyond the solid waste horizon". *Waste Management*, 26 (2006), pp. 1327-1336. Available online at www.sciencedirect.com.
- Szanto N, Marcel. (1998). La Problemática de los Residuos Sólidos Urbanos. Curso de Verano Gestión de Residuos Sólidos. Universidad de Cantabria, X Curso Medio Ambiente de Suances .
- Tchobanogolus, G.; Theisen, H., Vigil, S. 1994. Gestión integral de residuos sólidos. Ed. McGraw- Hill, Madrid, 1107p.
- Unda Opazo. (1998). Francisco."Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública", Editorial Limusa.
- Zhu, N.W. (2006). Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. *Biores. Technol.* 97 (15): 1870-1875.

ANEXOS.

ANEXO A. Realización de metodología.

Figura A1. Cercado de madera y malla con bloques de hormigón alrededor.



Figura A2. Recolección y transporte de los residuos.



Figura A3. Trituración manual y homogeneización de los RSU.



Figura A4. Ubicación de tubos de aireación pasiva en pilas de residuos.



Figura A5. Dimensiones de pilas con cobertura.

PILA	DIMENSIONES (m)		
	LARGO	ANCHO	ALTO
1	1,05	0,61	0,5
2	1,05	0,71	0,5

ANEXO B. Métodos utilizados en evaluación de parámetros durante el proceso.

A continuación se describen los métodos utilizados para el control de la temperatura, la humedad, pH, sólidos volátiles y sólidos minerales.

B.1 Temperatura.

La temperatura debe ser registrada diariamente y a la misma hora del día y se debe tomar introduciendo el termómetro en la pila de forma que quede cercana al centro de ella ya que es ésa la zona de mayor temperatura. La temperatura de las pilas se midió en tres puntos: uno de ellos fue el centro de la pila, en un punto ubicado aproximadamente en la mitad de su altura; los otros dos puntos (costado derecho e izquierdo) escogidos para su medición fueron a una profundidad entre 15 y 20(cm) respecto a su altura. La figura B.1.1 muestra la sección transversal de la pila con la ubicación de los puntos en los cuales se efectuaron las mediciones de temperatura.

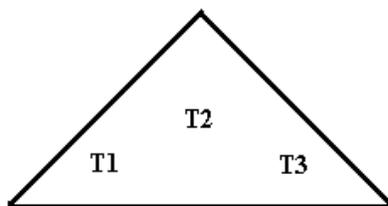


Figura B.1.1. Puntos donde se midió la temperatura interna de las pilas.

En donde se tiene que:

- T1 = Temperatura interna en costado izquierdo de la pila.
- T2 = Temperatura interna en el centro de la pila.
- T3 = Temperatura interna en costado derecho de la pila.

El instrumento utilizado para medir la temperatura de las pilas en el proceso es un termómetro digital con sonda de pincho, el cual se introduce en las posiciones antes descritas y se esperaba un par de minutos hasta que se estabilizara el valor que éste registraba. En la figura B.1.2 se muestra un ejemplo de medición.



Figura B.1.2. Uso de termómetro digital con sonda de pincho.

B.2 Humedad.

Para determinar la humedad de la mezcla en el proceso de biodegradación biológica, se emplea un procedimiento basado en la evaporación del agua contenida en la muestra tomada en terreno, sometiéndola a una temperatura de 110°C durante una cierta cantidad de tiempo. La diferencia porcentual entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca entrega el porcentaje de humedad de la mezcla.

a) Equipos de medición.

Los equipos necesarios para medir esta variable son:

- Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ como se observa en la figura B.2.1.
- Balanza, como se observa en la figura B.2.2.
- Herramientas y accesorios: pailas, crisol, pinzas, guantes y espátula.
- Desecador, como se muestra en la figura B.2.3.



Figura B.2.1. Uso de Horno de secado.

Figura B.2.2. Uso de Balanza.



Figura B.2.3. Uso de Desecador.

b) Procedimiento de medición.

El procedimiento llevado a cabo es el siguiente:

- Se extrajo una muestra de 5 (g) aproximadamente de cada una de las pilas.
- Colocar la muestra húmeda en un crisol limpio, seco y previamente pesado, para proceder a pesar la muestra húmeda más el crisol.
- Colocar el crisol con dicha muestra en el horno de secado a 110°C durante 2 horas.
- Se extrae la muestra seca del horno y se deja en el desecador durante 15 minutos.
- Pesarse el crisol con la muestra seca.
- Calcular la sequedad y humedad de la muestra.

Para obtener el porcentaje de sequedad y de humedad de la muestra se utilizan las ecuaciones 5 y 6 respectivamente.

$$\% \text{ Sequedad} = \left(\frac{M_{c+ms} - M_c}{M_{c+mh} - M_c} \right) \cdot 100$$

Ec.(5)

En donde se tiene que:

- M_{c+ms} : Masa del crisol con la muestra seca.
- M_{c+mh} : Masa del crisol con muestra húmeda.
- M_c : Masa del crisol.

Luego el porcentaje de humedad se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{ Humedad} = (100 - \% \text{ Sequedad})$$

Ec.(6)

B.3 Medición de pH.

El pH al igual que las variables antes destacadas también fue utilizado para ir evaluando la efectividad del proceso de biodegradación.

a) Equipos de medición.

Los equipos utilizados para su medición son:

- pH metro.
- Embudo cónico.
- Vaso precipitado.
- Balanza de precisión.
- Papel filtro.
- Matraz de Erlenmeyer.
- Espátula.

b) Procedimiento de medición.

El procedimiento para medir pH es el que se describe a continuación:

- Se extrae una muestra representativa de cada una de las pilas de 10 (g) aproximadamente y se le añade 50 (ml) de agua destilada.
- Se agita durante unos minutos en el matraz para luego vaciar la mezcla al embudo cónico en el cual se encuentra el papel filtro.
- Una vez filtrada la muestra se coloca el pH metro en la solución resultante y se mide el pH.

En la figura B.3 se observan los implementos y el instrumento para la medición del pH.



Figura B.3. Implementos y medición de pH.

B.4 Determinación de SV y SM.

Para determinar la reducción de materia orgánica a raíz del proceso de biodegradación, se procede a calcinar la muestra secada en un horno mufla a una temperatura de 550°C durante una hora y media, luego se espera a que se enfríe y se pesa. El peso perdido se consideró como SV mientras que el peso restante, cenizas, corresponde a los SM.

a) Equipos de medición.

Los equipos e instrumentos utilizados para su medición son:

- Crisoles de porcelana.
- Horno-mufla eléctrica a una temperatura de 550°C, ver figura B.4.
- Desecador.
- Pinzas.
- Balanza de precisión.



Figura B.4. Uso de horno de volatilización de muestras (Mufla).

b) Procedimiento de medición.

El procedimiento realizado es el siguiente:

- Se mide en la balanza la masa del crisol con la muestra seca registrando su valor.
- Se coloca el crisol con la muestra seca en el horno-mufla a una temperatura de 550°C durante una hora y media.
- Se extrae la muestra ya calcinada y se coloca en el desecador durante 30 minutos.
- Se mide la masa del crisol con la muestra calcinada.

Para obtener el porcentaje de SV y SM se aplican las ecuaciones 7 y 8 respectivamente.

$$\% SV = \left(\frac{M_{c+ms} - M_{c+mc}}{M_{c+ms} - M_c} \right) \cdot 100$$

Ec.(7)

En donde se tiene que:

- M_{c+ms} : Masa del crisol más masa de la muestra seca.
- M_{c+mc} : Masa del crisol más masa de cenizas.
- M_c : Masa del crisol.

$$\% SM = (100 - \% \text{Sólidos Volátiles}) \cdot 100$$

Ec.(8)

ANEXO C. Datos de la pila N°1.

Tabla C1. Registro de temperaturas.

Día N°	Fecha	T1 °C	T2 °C	T3 °C	Temperatura Ambiental (°C)	Temperatura promedio (°C)
0	Mi 25 Sept	15,6	19,5	18,3	16,1	17,8
1	Ju 26 Sept	14,7	20,2	13,1	22,3	16,0
2	Vi 27 Sept	13,0	18,6	10,5	18,8	14,0
3	Sa 28 Sept	-	-	-	-	-
4	Do 29 Sept	-	-	-	-	-
5	Lu 30 Sept	-	-	-	-	-
6	Ma 01 Oct	16,8	17,9	15,6	14,1	16,8
7	Mi 02 Oct	18,6	18,5	19,4	16,3	18,8
8	Ju 03 Oct	14,5	16,4	12,6	19,6	14,5
9	Vi 04 Oct	21,1	26,4	20,5	21,3	22,7
10	Sa 05 Oct	-	-	-	-	-
11	Do 06 Oct	-	-	-	-	-
12	Lu 07 Oct	19,3	23,8	20,0	19,0	21,0
13	Ma 08 Oct	17,3	18,9	16,9	15,5	17,7
14	Mi 09 Oct	15,2	16,3	15,1	15	15,5
15	Ju 10 Oct	15,3	18,1	19,9	19,7	17,8
16	Vi 11 Oct	14,9	15,2	14,0	16,1	14,7
17	Sa 12 Oct	-	-	-	-	-
18	Do 13 Oct	-	-	-	-	-

19	Lu 14 Oct	13,8	15,7	14,4	19,0	14,6
20	Ma 15 Oct	15,5	15,7	16,3	22,0	15,8
21	Mi 16 Oct	-	-	-	21,0	-
22	Ju 17 Oct	-	-	-	22,5	-
23	Vi 18 Oct	-	-	-	18,2	-
24	Sa 19 Oct	-	-	-	15,0	-
25	Do 20 Oct	-	-	-	19,2	-
26	Lu 21 Oct	12,5	15,0	12,9	15,0	13,5
27	Ma 22 Oct	11,3	14,2	10,0	14,3	11,8
28	Mi 23 Oct	13,0	13,1	13,5	16,8	13,2
29	Ju 24 Oct	11,4	12,0	12,5	22,4	12,0
30	Vi 25 Oct	15,0	14,9	14,7	16,0	14,9
31	Sa 26 Oct	-	-	-	21,0	-
32	Do 27 Oct	-	-	-	19,0	-
33	Lu 28 Oct	15,2	14,6	15,0	16,4	14,9
34	Ma 29 Oct	13,7	13,8	13,6	18,3	13,7
35	Mi 30 Oct	13,9	14,4	13,7	14,5	14,0
36	Ju 31 Oct	-	-	-	14,0	-
37	Vi 01 Nov	-	-	-	15,0	-
38	Sa 02 Nov	-	-	-	19,0	-
39	Do 03 Nov	-	-	-	19,0	-
40	Lu 04 Nov	16,2	16,3	15,3	23,5	15,9
41	Ma 05 Nov	-	-	-	19,5	-
42	Mi 06 Nov	15,1	16,2	16,1	15,5	15,8
43	Ju 07 Nov	14,8	15,2	14,5	19,3	14,8
44	Vi 08 Nov	15,2	15,6	15,5	17,7	15,4
45	Sa 09 Nov	-	-	-	13	-
46	Do 10 Nov	-	-	-	16	-
47	Lu 11 Nov	14,7	15,2	14,5	17,5	14,8
48	Ma 12 Nov	19,0	19,8	17,6	22,3	18,8
49	Mi 13 Nov	17,4	17,9	16,8	19,9	17,4
50	Ju 14 Nov	15,8	16,0	15,9	17,4	15,9
51	Vi 15 Nov	14,3	14,7	14,6	22,9	14,5
52	Sa 16 Nov	-	-	-		-
53	Do 17 Nov	-	-	-		-
54	Lu 18 Nov	25,3	27,8	27,6	27,6	26,9
55	Ma 19 Nov	-	-	-		-
56	Mi 20 Nov	20,8	23,7	21,3	21,5	21,9
57	Ju 21 Nov	-	-	-	20,0	-

58	Vi 22 Nov	19,2	29,8	29,6	22,6	26,2
59	Sa 23 Nov	-	-	-	17,0	-
60	Do 24 Nov	-	-	-	18,0	-
61	Lu 25 Nov	21,1	22,5	21,9	19,8	21,8
62	Ma 26 Nov	-	-	-	15,0	-
63	Mi 27 Nov	21,3	23,4	21,8	22,5	22,2
64	Ju 28 Nov	-	-	-	21,8	-
65	Vi 29 Nov	-	-	-	21,0	-
66	Sa 30 Nov	-	-	-	20,0	-
67	Do 01 Dic	-	-	-	16,0	-
68	Lu 02 Dic	21,2	23,0	21,9	21,0	22,0
69	Ma 03 Dic	-	-	-	21,0	-
70	Mi 04 Dic	24,5	25,0	23,8	23,0	24,4
71	Ju 05 Dic	-	-	-	18,0	-
72	Vi 06 Dic	21,5	21,8	21,4	19,0	21,6

Tabla C2. Registro de datos para determinar el nivel de humedad y sequedad.

Día N°	Peso crisol (grs)	Peso crisol +muestra húmeda (grs)	Peso crisol +muestra seca (grs)	Sequedad %	Humedad %	Temperatura promedio (°C)
0	-	-	-	-	-	17,8
1	24,83	29,93	26,26	28,04	71,96	16,0
2	24,84	29,94	25,85	19,80	80,20	14,0
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	24,85	29,83	26,58	34,74	65,26	16,8
7	24,86	29,86	27,88	60,40	39,60	18,8
8	24,84	29,8	26,12	25,81	74,19	14,5
9	24,84	29,82	26,45	32,33	67,67	22,7
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	24,83	29,83	26,18	27,00	73,00	21,0
13	24,83	29,82	26,57	34,87	65,13	17,7
14	24,84	29,85	26,00	23,15	76,85	15,5
15	21,24	26,22	22,84	32,13	67,87	17,8
16	21,24	26,22	22,10	17,27	82,73	14,7
17	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-

19	20,80	25,76	22,21	28,43	71,57	14,6
20	24,86	29,86	26,27	28,20	71,80	15,8
21	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	21,24	26,22	23,43	43,98	56,02	13,5
27	20,84	25,88	23,02	43,25	56,75	11,8
28	20,81	25,78	21,65	16,90	83,10	13,2
29	21,24	26,28	22,7	28,97	71,03	12,0
30	21,24	26,33	22,68	28,29	71,71	14,9
31	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-
33	21,24	26,27	23,21	39,17	60,83	14,9
34	21,24	26,27	22,73	29,62	70,38	13,7
35	20,79	25,74	22,63	37,17	62,83	14,0
36	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-
40	21,25	26,24	23,58	46,69	53,31	15,9
41	-	-	-	-	-	-
42	21,24	26,24	23,01	35,40	64,60	15,8
43	21,24	26,28	22,69	28,77	71,23	17,8
44	21,24	26,22	22,72	29,72	70,28	15,4
45	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-
47	20,79	25,76	22,94	43,26	56,74	14,8
48	20,79	25,78	22,35	31,26	68,74	18,8
49	20,79	25,77	22,23	28,92	71,08	17,4
50	18,23	23,26	19,72	29,62	70,38	15,9
51	24,83	29,83	26,42	31,80	68,20	14,5
52	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-	-
54	24,83	29,87	27,06	44,25	55,75	26,9
55	-	-	-	-	-	-
56	24,83	29,8	26,31	29,78	70,22	21,9
57	-	-	-	-	-	-

58	20,79	25,77	22,88	41,97	58,03	26,2
59	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
61	24,84	29,83	26,98	42,89	57,11	21,8
62	-	-	-	-	-	-
63	20,84	25,82	23,13	45,98	54,02	22,2
64	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	-
67	-	-	-	-	-	-
68	20,84	25,86	23,21	47,21	52,79	22,0
69	-	-	-	-	-	-
70	20,84	25,83	23,22	47,70	52,30	24,4
71	-	-	-	-	-	-
72	20,84	25,82	23,27	48,80	51,20	21,6

Tabla C3. Registro de datos para determinar reducción de materia orgánica y valor de pH.

Día N°	pH	Peso crisol (grs)	Peso crisol +muestra seca (grs)	Peso crisol +cenizas (grs)	SSV %	SSM %
0	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
2	5,4	24,83	27,25	24,94	95,45	4,55
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	5,01	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	5,26	20,8	26,58	21,25	92,21	7,79
8	-	-	-	-	-	-
9	5,87	21,25	22,53	21,42	86,72	13,28
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	6,48	21,24	22,58	21,41	87,31	12,69
13	-	-	-	-	-	-
14	5,31	24,84	26	24,92	93,10	6,90
15	-	-	-	-	-	-
16	6,78	21,24	22,10	21,31	91,86	8,14
17	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-

19	6,23	20,8	22,21	20,92	91,49	8,51
20	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	8,83	21,24	23,43	21,45	90,41	9,59
27	-	-	-	-	-	-
28	8,69	20,81	21,65	20,89	90,48	9,52
29	-	-	-	-	-	-
30	7,21	21,24	22,68	21,41	88,19	11,81
31	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-
33	8,24	21,24	23,21	21,49	87,31	12,69
34	-	-	-	-	-	-
35	9,26	20,79	22,63	21,01	88,04	11,96
36	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-
40	8,59	21,25	23,58	21,59	85,41	14,59
41	-	-	-	-	-	-
42	9,26	21,24	23,01	21,53	83,62	16,38
43	-	-	-	-	-	-
44	8,05	21,24	22,72	21,52	81,08	18,92
45	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-
47	9,26	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-
49	8,67	20,79	22,23	21,09	79,17	20,83
50	-	-	-	-	-	-
51	8,81	24,83	26,42	25,12	81,76	18,24
52	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-	-
54	8,98	24,83	27,06	25,29	79,37	20,63
55	-	-	-	-	-	-
56	8,89	24,83	26,31	25,15	78,38	21,62
57	-	-	-	-	-	-

58	9,53	20,79	22,88	21,24	78,47	21,53
59	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
61	9,43	24,84	26,98	25,33	77,10	22,90
62	-	-	-	-	-	-
63	8,80	20,84	23,13	21,37	76,86	23,14
64	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	-
67	-	-	-	-	-	-
68	7,86	20,84	23,21	21,40	76,37	23,63
69	-	-	-	-	-	-
70	7,58	20,84	23,22	21,42	75,63	24,37
71	-	-	-	-	-	-
72	7,32	20,84	23,27	21,44	75,31	24,69

Tabla C4. Registro de datos para determinar constante de reacción Kd.

Día N°	%SV	%SM	%SV rest	%SV no bio	%SV bio	LN((SVt-SVnb)/(SVo-SVnb))
0	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
2	95,45	4,55	95,45	75,31	20,15	0,000
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	92,21	7,79	92,21	75,31	16,91	0,175
8	-	-	-	-	-	-
9	86,72	13,28	86,72	75,31	11,41	0,569
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	87,31	12,69	87,31	75,31	12,00	0,518
13	-	-	-	-	-	-
14	93,10	6,90	93,10	75,31	17,79	0,124
15	-	-	-	-	-	-
16	91,86	8,14	91,86	75,31	16,55	0,197
17	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-

19	91,49	8,51	91,49	75,31	16,18	0,219
20	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	90,41	9,59	90,41	75,31	15,10	0,288
27	-	-	-	-	-	-
28	90,48	9,52	90,48	75,31	15,17	0,284
29	-	-	-	-	-	-
30	88,19	11,81	88,19	75,31	12,89	0,447
31	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-
33	87,31	12,69	87,31	75,31	12,00	0,518
34	-	-	-	-	-	-
35	88,04	11,96	88,04	75,31	12,73	0,459
36	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-
40	85,41	14,59	85,41	75,31	10,10	0,691
41	-	-	-	-	-	-
42	83,62	16,38	83,62	75,31	8,31	0,886
43	-	-	-	-	-	-
44	81,08	18,92	81,08	75,31	5,77	1,250
45	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-
49	79,17	20,83	79,17	75,31	3,86	1,653
50	-	-	-	-	-	-
51	81,76	18,24	81,76	75,31	6,45	1,139
52	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-	-
54	79,37	20,63	79,37	75,31	4,06	1,601
55	-	-	-	-	-	-
56	78,38	21,62	78,38	75,31	3,07	1,881
57	-	-	-	-	-	-

58	78,47	21,53	78,47	75,31	3,16	1,852
59	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
61	77,10	22,90	77,10	75,31	1,79	2,418
62	-	-	-	-	-	-
63	76,86	23,14	76,86	75,31	1,55	2,567
64	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	-
67	-	-	-	-	-	-
68	76,37	23,63	76,37	75,31	1,06	2,942
69	-	-	-	-	-	-
70	75,63	24,37	75,63	75,31	0,32	4,137
71	-	-	-	-	-	-
72	75,31	24,69	75,31	75,31	0,00	-

ANEXO D: Datos de la pila N°2.

Tabla D1. Registro de temperaturas.

Día N°	Fecha	T1 °C	T2 °C	T3 °C	Temperatura Abiental (°C)	Temperatura promedio (°C)
0	Mi 25 Sept	27,1	28,9	26,3	16,1	27,4
1	Ju 26 Sept	28,0	35,4	23,3	22,3	28,9
2	Vi 27 Sept	21,2	24,5	18,1	18,8	21,3
3	Sa 28 Sept	-	-	-	-	-
4	Do 29 Sept	-	-	-	-	-
5	Lu 30 Sept	-	-	-	-	-
6	Ma 01 Oct	16,5	23,3	15,4	14,1	18,4
7	Mi 02 Oct	18,4	21,2	20,8	16,3	20,1
8	Ju 03 Sept	16,3	20,1	18,5	19,6	18,3
9	Vi 04 Sept	26,7	33,3	23,2	21,3	27,7
10	Sa 05 Sept	-	-	-	-	-
11	Do 06 Sept	-	-	-	-	-
12	Lu 07 Oct	23,7	25,5	21,3	19,0	23,5
13	Ma 08 Oct	20,0	19,4	17,3	15,5	18,9
14	Mi 09 Oct	15,0	17,8	14,9	15,0	15,9
15	Ju 10 Oct	17,0	16,0	23,1	19,7	18,7
16	Vi 11 Oct	16,0	17,1	15,2	16,1	16,1
17	Sa 12 Oct	-	-	-	-	-

18	Do 13 Oct	-	-	-	-	-
19	Lu 14 Oct	15,0	18,2	14,4	19,0	15,9
20	Ma 15 Oct	17,3	18,7	16,2	22,0	17,4
21	Mi 16 Oct	-	-	-	21,0	-
22	Ju 17 Oct	-	-	-	22,5	-
23	Vi 18 Oct	-	-	-	18,2	-
24	Sa 19 Oct	-	-	-	15,0	-
25	Do 20 Oct	-	-	-	19,2	-
26	Lu 21 Oct	14,2	14,8	12,3	15,0	13,8
27	Ma 22 Oct	12,7	13,3	10,8	14,3	12,3
28	Mi 23 Oct	14,4	15,6	16	16,8	15,3
29	Ju 24 Oct	12,0	12,6	11,8	22,4	12,1
30	Vi 25 Oct	15,8	15,8	14,7	16,0	15,4
31	Sa 26 Oct	-	-	-	21,0	-
32	Do 27 Oct	-	-	-	19,0	-
33	Lu 28 Oct	16,4	16,5	15,0	16,4	16,0
34	Ma 29 Oct	14,2	14,3	13,7	18,3	14,1
35	Mi 30 Oct	13,9	14,4	14,1	14,5	14,1
36	Ju 31 Oct	-	-	-	14,0	-
37	Vi 01 Nov	-	-	-	15,0	-
38	Sa 02 Nov	-	-	-	19,0	-
39	Do 03 Nov	-	-	-	19,0	-
40	Lu 04 Nov	16,1	18,0	16,2	23,5	16,8
41	Ma 05 Nov	-	-	-	19,5	-
42	Mi 06 Nov	14,7	15,8	15,7	15,5	15,4
43	Ju 07 Nov	17,4	19,0	16,9	19,3	17,8
44	Vi 08 Nov	13,6	16,3	15,3	17,7	15,1
45	Sa 09 Nov	-	-	-	13,0	-
46	Do 10 Nov	-	-	-	16,0	-
47	Lu 11 Nov	17,0	19,1	17,3	17,5	17,8
48	Ma 12 Nov	20,5	22,3	19,7	22,3	20,8
49	Mi 13 Nov	18,7	20,2	18,9	19,9	19,3
50	Ju 14 Nov	16,9	18,0	17,7	17,4	17,5
51	Vi 15 Nov	15,1	17,0	15,2	22,9	15,8
52	Sa 16 Nov	-	-	-	-	-
53	Do 17 Nov	-	-	-	-	-
54	Lu 18 Nov	34,5	35,8	32,9	27,6	34,4
55	Ma 19 Nov	-	-	-	-	-
56	Mi 20 Nov	22,5	23,0	22,8	-	22,8

57	Ju 21 Nov	-	-	-	20,0	-
58	Vi 22 Nov	27,7	30,3	28,2	22,6	28,7
59	Sa 23 Nov	-	-	-	17,0	-
60	Do 24 Nov	-	-	-	18,0	-
61	Lu 25 Nov	17,3	28,2	26,2	19,8	23,9
62	Ma 26 Nov	-	-	-	15,0	-
63	Mi 27 Nov	25,2	28,3	27,9	22,5	27,1
64	Ju 28 Nov	-	-	-	21,8	-
65	Vi 29 Nov	-	-	-	21,0	-
66	Sa 30 Nov	-	-	-	20,0	-
67	Do 01 Dic	-	-	-	16,0	-
68	Lu 02 Dic	21,3	28,3	27,1	21,0	25,6
69	Ma 03 Dic	-	-	-	21,0	-
70	Mi 04 Dic	28,3	30,1	29,2	23,0	29,2
71	Ju 05 Dic	-	-	-	18,0	-
72	Vi 06 Dic	30,3	31,5	30,7	19,0	30,8

Tabla D2. Registro de datos para determinar el nivel de humedad y sequedad.

Día N°	Peso crisol (grs)	Peso crisol +muestra húmeda (grs)	Peso crisol +muestra seca (grs)	Sequedad %	Humedad %	Temperatura promedio (°C)
0	-	-	-	-	-	27,4
1	19,98	25,00	21,80	36,25	63,75	28,9
2	19,97	24,99	21,77	35,86	64,14	21,3
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	20,00	25,03	21,62	32,21	67,79	18,4
7	19,99	25,1	22,64	51,86	48,14	20,1
8	19,97	24,87	21,24	25,92	74,08	18,3
9	19,98	25,02	21,77	35,52	64,48	27,7
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	19,97	25,05	21,49	29,92	70,08	23,5
13	21,24	26,23	22,79	31,06	68,94	18,9
14	21,25	26,27	22,42	23,31	76,69	15,9
15	19,98	25,00	22,28	45,82	54,18	18,7
16	19,99	24,99	20,99	20,00	80,00	16,1
17	-	-	-	-	-	-

18	-	-	-	-	-	-
19	24,84	29,83	26,76	38,48	61,52	15,9
20	21,24	26,25	22,77	30,54	69,46	17,4
21	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	20,83	25,86	23,37	50,50	49,50	13,8
27	21,24	26,23	23,77	50,70	49,30	12,3
28	21,24	26,29	21,82	11,49	88,51	15,3
29	20,83	25,87	22,50	33,13	66,87	12,1
30	20,80	25,81	22,03	24,55	75,45	15,4
31	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-
33	20,79	25,78	22,43	32,87	67,13	16,0
34	20,82	25,82	22,34	30,40	69,60	14,1
35	21,23	26,24	23,16	38,52	61,48	14,1
36	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-
40	26,94	31,95	28,89	38,92	61,08	16,8
41	-	-	-	-	-	-
42	20,79	25,83	23,28	49,40	50,60	15,4
43	20,84	25,83	23,23	47,90	52,10	17,8
44	20,79	25,77	22,87	41,77	58,23	15,1
45	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-
47	21,25	26,25	23,37	42,40	57,60	17,8
48	21,25	26,28	23,46	43,94	56,06	20,8
49	21,25	26,24	23,58	46,69	53,31	19,3
50	24,84	29,84	27,55	54,20	45,80	17,5
51	20,79	25,82	23,10	45,92	54,08	15,8
52	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-	-
54	20,79	25,77	22,84	41,16	58,84	34,4
55	-	-	-	-	-	-
56	20,79	25,76	22,94	43,26	56,74	22,8

57	-	-	-	-	-	-
58	21,24	26,25	23,63	47,70	52,30	28,7
59	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
61	20,79	25,73	23,47	54,25	45,75	23,9
62	-	-	-	-	-	-
63	24,84	29,87	27,97	62,23	37,77	27,1
64	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	-
67	-	-	-	-	-	-
68	24,84	29,82	27,93	62,05	37,95	25,6
69	-	-	-	-	-	-
70	24,84	29,83	27,94	62,12	37,88	29,2
71	-	-	-	-	-	-
72	24,84	29,86	28,03	63,55	36,45	30,8

Tabla D3. Registro de datos para determinar reducción de materia orgánica y valor de pH.

Día N°	pH	Peso crisol (grs)	Peso crisol +muestra seca (grs)	Peso crisol +cenizas (grs)	SSV %	SSM %
0	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
2	5,60	20,88	22,36	21,01	91,22	8,78
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	5,42	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	6,23	20,92	22,62	21,10	89,41	10,59
8	-	-	-	-	-	-
9	5,74	20,86	22,12	20,94	93,65	6,35
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	6,03	20,78	22,30	20,91	91,45	8,55
13	-	-	-	-	-	-
14	5,77	21,25	22,42	21,37	89,74	10,26
15	-	-	-	-	-	-
16	6,12	19,99	20,99	20,10	89,00	11,00
17	-	-	-	-	-	-

18	-	-	-	-	-	-
19	7,76	24,84	26,76	25,12	85,42	14,58
20	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	7,93	20,83	23,37	21,22	84,65	15,35
27	-	-	-	-	-	-
28	7,33	21,24	21,82	21,34	82,76	17,24
29		-	-	-	-	-
30	7,61	20,8	22,03	21,02	82,11	17,89
31	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-
33	6,21	20,79	22,43	21,09	81,71	18,29
34	-	-	-	-	-	-
35	7,05	21,23	23,16	21,61	80,31	19,69
36	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-
40	6,81	26,94	28,89	27,33	80,00	20,00
41	-	-	-	-	-	-
42	8,05	20,79	23,28	21,34	77,91	22,09
43	-	-	-	-	-	-
44	6,77	20,79	22,87	21,29	75,96	24,04
45	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-
47	7,54	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-
49	7,20	21,25	23,58	21,85	74,25	25,75
50	-	-	-	-	-	-
51	8,17	20,79	23,10	21,37	74,89	25,11
52	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-	-
54	8,08	20,79	22,84	21,32	74,15	25,85
55	-	-	-	-	-	-
56	8,13	20,79	22,94	21,35	73,95	26,05

57	-	-	-	-	-	-
58	8,75	21,24	23,63	21,87	73,64	26,36
59	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
61	7,94	20,79	23,47	21,54	72,01	27,99
62	-	-	-	-	-	-
63	7,83	24,84	27,97	25,69	72,84	27,16
64	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	-
67	-	-	-	-	-	-
68	7,64	24,84	27,93	25,72	71,52	28,48
69	-	-	-	-	-	-
70	7,57	24,84	27,94	25,74	70,97	29,03
71	-	-	-	-	-	-
72	7,33	24,84	28,03	25,79	70,22	29,78

Tabla D4. Registro de datos para determinar constante de reacción Kd.

Día N°	%SV	%SM	%SV rest	%SV no bio	%SV bio	$LN((SVt-SVnb)/(SVo-SVnb))$
0	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-
2	91,22	8,78	91,22	70,22	21,00	0,000
3	-	-	-	-	-	-
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	89,41	10,59	89,41	70,22	19,19	0,090
8	-	-	-	-	-	-
9	93,65	6,35	93,65	70,22	23,43	-0,110
10	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-
12	91,45	8,55	91,45	70,22	21,23	-0,011
13	-	-	-	-	-	-
14	89,74	10,26	89,74	70,22	-	-
15	-	-	-	-	-	-
16	89,00	11,00	89,00	70,22	18,78	0,112
17	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-

19	85,42	14,58	85,42	70,22	15,20	0,323
20	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-
23	-	-	-	-	-	-
24	-	-	-	-	-	-
25	-	-	-	-	-	-
26	84,65	15,35	84,65	70,22	14,43	0,375
27	-	-	-	-	-	-
28	82,76	17,24	82,76	70,22	12,54	0,516
29	-	-	-	-	-	-
30	82,11	17,89	82,11	70,22	11,89	0,568
31	-	-	-	-	-	-
32	-	-	-	-	-	-
33	81,71	18,29	81,71	70,22	11,49	0,603
34	-	-	-	-	-	-
35	80,31	19,69	80,31	70,22	10,09	0,733
36	-	-	-	-	-	-
37	-	-	-	-	-	-
38	-	-	-	-	-	-
39	-	-	-	-	-	-
40	80,00	20,00	80,00	70,22	9,78	0,764
41	-	-	-	-	-	-
42	77,91	22,09	77,91	70,22	7,69	1,004
43	-	-	-	-	-	-
44	75,96	24,04	75,96	70,22	5,74	1,297
45	-	-	-	-	-	-
46	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-
48	-	-	-	-	-	-
49	74,25	25,75	74,25	70,22	4,03	1,651
50	-	-	-	-	-	-
51	74,89	25,11	74,89	70,22	4,67	1,503
52	-	-	-	-	-	-
53	-	-	-	-	-	-
54	74,15	25,85	74,15	70,22	3,93	1,677
55	-	-	-	-	-	-
56	73,95	26,05	73,95	70,22	3,73	1,727
57	-	-	-	-	-	-

58	73,64	26,36	73,64	70,22	3,42	1,815
59	-	-	-	-	-	-
60	-	-	-	-	-	-
61	72,01	27,99	72,01	70,22	1,80	2,459
62	-	-	-	-	-	-
63	72,84	27,16	72,84	70,22	2,62	2,080
64	-	-	-	-	-	-
65	-	-	-	-	-	-
66	-	-	-	-	-	-
67	-	-	-	-	-	-
68	71,52	28,48	71,52	70,22	1,30	2,781
69	-	-	-	-	-	-
70	70,97	29,03	70,97	70,22	0,75	3,334
71	-	-	-	-	-	-
72	70,22	29,78	70,22	70,22	0,00	-