



FACULTAD DE CIENCIAS
INSTITUTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y QUÍMICAS

“COMPARACION DE DOS TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE LODOS
SECUNDARIOS PROVENIENTES DE PLANTAS DEPURADORAS DE AGUAS
RESIDUALES EN BASE A CRITERIOS TECNICOS Y ECONÓMICOS”

ANGIE BARBIERI CALDERÓN
MACARENA URRA VALLEJOS

PROFESOR GUÍA: OCIEL COFRÉ C.

TRABAJO DE TITULACION PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL

OCTUBRE, 2005

DEDICATORIA

A mis padres por todo el amor y la comprensión, por enseñarme todo lo que es la vida, por los años de carrera , infinitas gracias.

A mis hermanos por su apoyo en todo momento, los quiero mucho.

A mi esposo Luis por su apoyo desinteresado e incondicional y por todo su amor. A mis verdaderos amigos, por su amistad y cariño, mil gracias por todo lo compartido y por todo aquello que nos falta por compartir. Gracias a Dios, por darme la perseverancia para terminar lo que hoy veo con orgullo.

Angie

Quiero dedicarle este trabajo

A Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto de investigación,

A mis Padres por estar ahí cuando más los necesité; en especial a mi madre por su ayuda y constante cooperación.

A todas las personas que quiero y amo y que de una u otra forma me ayudaron en los momentos difíciles.

Maca

AGRADECIMIENTOS

A nuestras familias, en especial a nuestros padres, pues sin ellos seguramente no habríamos logrado lo que hoy nos enorgullece, por su apoyo incondicional, por su entrega y por su amor.

Agradecemos a los profesores que durante nuestros años de carrera nos brindaron sus conocimientos para formarnos en grandes profesionales.

Le damos muchas gracias a nuestro profesor guía de tesis, Ociel Cofré por sus exigencias y por su apoyo al desarrollo de esta investigación. También agradecemos a nuestros profesores informantes por entregar parte de su tiempo en aportar conocimientos a nuestro trabajo de titulación.

En especial queremos agradecer la disposición y el apoyo desinteresado del señor Enzo Bollo quien nos incentivó a hacer las cosas mucho mejor, gracias por sus conocimientos y el entusiasmo que nos brindó.

Además le damos las gracias a otra persona que también hizo posible el desarrollo de esta tesis, profesor Fernando Alcázar, quien estuvo de una u otra manera involucrado en nuestro trabajo.

A todos nuestros compañeros, gracias por su amistad a lo largo de estos años y por la unión que siempre nos caracterizó.

RESUMEN

En el presente trabajo se estudiaron dos técnicas para tratar el lodo proveniente de plantas de tratamiento de aguas servidas, estas fueron Compostaje y Lombricultura.

Para estas técnicas se llevaron a cabo dos tipos de mezcla para el establecimiento de las pilas; una de ellas formada de aserrín con lodo secundario en proporción 1:8 y la otra de compost reciclado con lodo en proporción 4:1, las que fueron reguladas en cuanto a relación C/N y humedad. La experimentación del proceso de compostaje se dividió en dos fases: etapa de fermentación y etapa de maduración, con la finalidad de comprender mejor el proceso y facilitar la comparación entre las etapas de esta técnica con la de lombricultura. Para el caso de la lombricultura, la experimentación se dividió igualmente en dos fases: la de precompostaje y el de compostación con lombrices donde se inocularon 250 de ellas. Las dimensiones de las pilas del experimento para las dos fases de cada técnica tuvieron dimensiones de 0.7 m * 0.5 m * 0.4 m y 0.3 m * 0.18 m * 0.1 m respectivamente.

Ambas técnicas mostraron la capacidad de reducir el porcentaje de sólidos volátiles, el peso y el volumen de las mezclas. En cuanto a la densidad de coliformes fecales se logró llegar bajo la clasificación de lodo clase B en ambos procesos según el Anteproyecto de Norma para el Manejo de Lodos no Peligrosos. Finalmente se observó que el proceso de Lombricultura con la mezcla de aserrín resultó ser más eficiente que el Compostaje en el tratamiento de los lodos.

A partir de los datos obtenidos en la etapa experimental, se desarrolló una segunda parte, donde se realizó un análisis técnico –económico de dos plantas, una de compostaje y otra de lombricultura, por sistema de pilas volteadas y lechos respectivamente.

Para realizar el diseño de las plantas se tomó como referencia la PTAS ubicada en la provincia de Quillota, las cuales tienen capacidad para tratar 3.9 ton/ día de lodos. Se formaron dos tipos de mezcla, una con aserrín y otra con compost reciclado en las proporciones ya mencionadas en la etapa experimental. La producción de compost maduro y de vermicompost se estimó alrededor de 2.364 toneladas/ año y 2.274 toneladas/año respectivamente. El precio de venta quedó fijado en 3 UF/ toneladas de compost y de 6 UF/ toneladas de vermicompost.

En la evaluación económica se establecieron los costos de inversión inicial, de operación, los ingresos por venta y se analizó su rentabilidad. La rentabilidad de los proyectos fueron evaluadas por medio del valor actual neto VAN y de la tasa interna de retorno TIR, siendo éstos de 13.391 UF y 55,4% respectivamente para el caso del compostaje y de 37.996 UF y 116 % para el caso de lombricultura, lo que indica que los proyectos resultan atractivos de ser implementados desde el punto de vista técnico como económico.

INDICE

INDICE GENERAL	Pág.
1. INTRODUCCION	1
Objetivos	3
1.1.1 Objetivos Generales	3
1.1.2. Objetivos Específicos	4
2. MARCO TEORICO	5
2.1. Generación de lodos de desecho	6
2.1.1. Lodo Primario	7
2.1.2. Lodo Secundario	7
2.1.3. Lodos Químicos	7
2.2. Tratamiento de lodos de Desecho	8
2.3. Compostaje	10
2.3.1. Microbiología del proceso	11
2.3.2. Producción de olores	12
2.3.3. Descripción del proceso	13
2.3.4. Parámetros de diseño y funcionamiento	13
2.3.5. Sistema de Compostaje	16
2.3.5.1. Pila estática aireada	16
2.3.5.2. Hileras con volteo periódico	17
2.3.5.3. Biorreactores o sistema cerrado	18
2.3.6. Experiencias previas de Compostaje	20
2.4. Lombricultura	21
2.4.1. La lombriz	21
2.4.1.1. Morfología de la lombriz	22
2.4.1.2. Condiciones óptimas para la lombriz	24
2.4.2. La lombricultura en el tratamiento de residuos orgánicos	25
2.4.3. Humus de lombriz	26
2.4.4. Antecedentes de la lombricultura en lodos	27
3. MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1. Materiales	31
3.2. Metodología	31
3.2.1. Análisis al lodo, compost maduro y aserrín	32
3.2.2. Experiencia de Compostaje	33
3.2.2.1. Soportes para las pilas de Compostaje	35
3.2.2.2. Establecimiento de las pilas de Compostaje	36
3.2.2.3. Parámetros de Control en el Compostaje	36

3.2.2.4. Medición de Variables en Compostaje	37
3.2.2.5. Medición de Temperatura y pH en pilas de Compostaje	38
3.2.2.5.1. Medición de pH	39
3.2.2.6. Medición de Sólidos Volátiles y Humedad	39
3.2.2.7. Medición de Coliformes Fecales	39
3.2.3. Experiencia de Lombricultura	39
3.2.3.1. Construcción de pilas de precompostaje y	
lechos de Lombricultura	41
3.2.3.2. Establecimiento del sustrato para los	
lechos de Lombricultura	41
3.2.3.3. Inoculación con lombrices	42
3.2.3.4. Control de Parámetros óptimos	
para la Lombricultura	42
3.2.3.5. Medición de Temperatura, pH	
y Humedad en Lombricultura	43
3.2.3.6. Medición de Variables en la Lombricultura	43
3.2.3.7. Separación Final de las lombrices	44
3.2.3.8. Análisis realizados a los lechos de lombricultura	44
4. RESULTADOS	45
4.1. Compostaje	46
4.1.1. Medición de temperatura y pH en	
pilas de Compostaje	46
4.1.2. Control del Porcentaje de Humedad en Compostaje	48
4.1.3. Medición de Masa y Volumen inicial y final	
en el Compostaje	49
4.1.4. Medición de Sólidos Volátiles en las pilas	
de Compostaje	51
4.1.5. Medición de Coliformes Fecales	52
4.2. Lombricultura	54
4.2.1. Control de temperatura y pH en Precompostaje	54
4.2.2. Control del Porcentaje de Humedad en Precompostaje	55
4.2.3. Medición de Sólidos Volátiles en pilas de Precompostaje	56
4.2.4. Medición de Coliformes fecales en pilas de Precompostaje.....	57
4.2.5. Medición de temperatura y pH en etapa de Lombricultura	58
4.2.6. Control del Porcentaje de Humedad en Lombricultura	60
4.2.7. Medición de Sólidos Volátiles en lechos de Lombricultura	61
4.2.8. Medición de Coliformes Fecales en Lombricultura	62

4.2.9. Medición de masa y volumen inicial y final en Lombricultura	64
5. DISCUSIONES	66
6. ESTUDIO DE MERCADO	73
6.1. Oferta y Demanda Actual de Compost y Vermicompost	74
6.2. Precios del Compost y Vermicompost	76
7. ESTUDIO TECNICO	77
7.1. Localización optima de la planta de Compostaje	
y lombricultura	78
7.2. Determinación de la capacidad de la planta de Compostaje y	
Lombricultura	81
7.3. Balances de Masa	83
7.3.1. Balances de masa para la etapa de preparación y mezclado	
de materias primas	83
7.3.1.1. Mezclado de materias primas para compostaje A	86
7.3.1.2. Mezclado de materias primas para compostaje B	87
7.3.1.3. Mezclado de materias primas para lombricultura A	88
7.3.1.4. Mezclado de materias primas para lombricultura B	89
7.3.2. Balances de masa para etapa de compostaje y precompostaje	
de la técnica de lombricultura	90
7.3.2.1. Esquema proceso de Compostaje A	91
7.3.2.2. Esquema proceso de Compostaje B	92
7.3.2.3. Esquema proceso de Lombricultura A	93
7.3.2.4. Esquema proceso de Lombricultura B	94
7.3.3. Balances de masa para etapa de maduración y secado en compostaje y	
compostaje activo con lombrices y secado en lombricultura	95
7.3.3.1. Esquema proceso maduración y secado compostaje A	95
7.3.3.2. Esquema proceso maduración y secado compostaje B	96
7.3.3.3. Esquema proceso de compostaje con lombrices	
y secado de lombricultura A	97
7.3.3.4. Esquema proceso de compostaje con lombrices	
y secado de lombricultura B.....	98
7.3.4. Resultados	99
7.4. Selección de Maquinaria	100
7.4.1. Traslado de materias primas	100

7.4.2. Fases de mezclado	101
7.4.3. Cribado del Compost	101
7.4.4. Envasado del Compost	101
7.4.5. Medición de parámetros en proceso de compostaje	102
7.5. Cálculo de mano de obra necesaria	103
7.5.1. Distribución de las funciones del personal	104
7.5.2. Distribución de turnos	105
7.6. Organización de las plantas	107
7.6.1. Técnica de Compostaje	107
7.6.1.1. Estimación de las dimensiones de las pilas	107
7.6.1.2. Estimación de las dimensiones de las áreas necesarias	109
7.6.2. Técnica de lombricultura	119
7.6.2.1. Estimación de las dimensiones de las pilas	
de precompostaje y lechos	119
7.6.2.2. Estimación de las áreas para el proceso de lombricultura	123
7.6.2.3. Estimación de área de compostación activa	125
7.6.2.4. Estimación de área de cribado	127
7.6.2.5. Estimación de área de almacenamiento total	128
8. ESTUDIO ECONÓMICO	132
8.1. Costos de inversión	134
8.2. Costos de operación	145
8.3. Ingresos por venta	148
8.4. Análisis de rentabilidad	151
8.5. Análisis de sensibilidad	152
9. CONCLUSIONES	159
10. BIBLIOGRAFIA	163

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura N°1 : Parte del proceso de una planta de tratamiento en el que se obtienen lodos	6
Figura N°2 : Pila Estática Aireada	17
Figura N°3 : Hileras con volteo periódico	18
Figura N°4 : Biorreactores	19
Figura N°5 : Características internas de la lombriz	22
Figura N°6 : Aparato digestivo de la lombriz	23
Figura N°7: Fases de la Metodología.....	31
Figura N°8 : Fases del proceso de Compostaje	34
Figura N°9 : Dimensiones de las cajas para la etapa de fermentación	35
Figura N°10 : Dimensiones de las cajas para la etapa de maduración y secado	35
Figura N°11: Puntos de medición de T° y pH en las pilas de fermentación y maduración de Compostaje	38
Figura N°12: Etapas del proceso de Lombricultura	40
Figura N°13: Puntos de medición en los lechos de Lombricultura	43
Figura N°14: Evolución de temperatura y pH en pila CA	47
Figura N°15: Evolución de temperatura y pH en pila CB	47
Figura N°16: Porcentaje de Humedad en pila CA	48
Figura N°17: Porcentaje de Humedad en pila CB	49
Figura N°18: Reducción de Masa en pilas de Compostaje	50
Figura N°19: Reducción de Volumen en pilas de Compostaje	50
Figura N°20: Porcentaje de Sólidos Volátiles en Pila CA	51
Figura N°21: Porcentaje de Sólidos Volátiles en Pila CB	51
Figura N°22: Reducción de Sólidos Volátiles en pilas de Compostaje	52
Figura N°23: Coliformes fecales en pila CA	52
Figura N°24 : Coliformes fecales en pila CB	53
Figura N°25: Reducción de Coliformes fecales en pilas de Compostaje	53
Figura N°26: Evolución de Temperatura y pH en pila CA de Precompostaje	54
Figura N°27: Evolución de Temperatura y pH en pila CB de Precompostaje	54
Figura N°28: Porcentaje de Humedad en Pila CA en Precompostaje	55
Figura N°29: Porcentaje de Humedad en Pila CB en Precompostaje	55
Figura N°30: Porcentaje de Sólidos Volátiles en pila de Precompostaje CA	56
Figura N°31: Porcentaje de Sólidos Volátiles en pila de Precompostaje CB	56
Figura N°32: Reducción de Sólidos Volátiles en pilas de Precompostaje	57
Figura N°33: Coliformes fecales en pila de Precompostaje CA.....	57
Figura N°34: Coliformes fecales en pila de Precompostaje CB.....	58
Figura N°35: Reducción de Coliformes fecales en Pila CA y CB.....	58
Figura N°36: Evolución de Temperatura y pH en lecho LA de Lombricultura.....	59
Figura N°37: Evolución de Temperatura y pH en lecho LB de Lombricultura	59
Figura N°38: Porcentaje de Humedad en lecho LA de Lombricultura	60
Figura N°39: Porcentaje de Humedad en lecho LB de Lombricultura	60
Figura N°40: Porcentaje de Sólidos Volátiles en lecho de lombricultura LA	61
Figura N°41: Porcentaje de Sólidos Volátiles en lecho de lombricultura LB	61
Figura N°42: Reducción de Sólidos Volátiles en lechos de Lombricultura	62

Tabla N°17: Análisis iniciales a materia primas.....	83
Tabla N°18: Proporciones de material mezclado.....	84
Tabla N°19: Balances de materiales para etapa de mezclado Compostaje A.....	86
Tabla N°20: Balances de materiales para etapa de mezclado Compostaje B.....	87
Tabla N°21: Balances de materiales para etapa de mezclado Lombricultura A.....	88
Tabla N°22: Balances de materiales para etapa de mezclado Lombricultura B.....	89
Tabla N°23: Volúmenes finales de los tratamientos previos.....	90
Tabla N°24: Resultados de los balances del proceso de compostaje A.....	91
Tabla N°25: Resultados de los balances del proceso de compostaje B.....	92
Tabla N°26: Resultados de los balances del proceso de lombricultura A.....	93
Tabla N°27: Resultados de los balances del proceso de lombricultura B.....	94
Tabla N°28: Resultados de los balances de la etapa de maduración de compostaje A	95
Tabla N°29: Resultados de los balances de la etapa de maduración de compostaje B	96
Tabla N°30: Resultados de la etapa de lombricultura A.....	97
Tabla N°31: Resultados de la etapa de lombricultura B.....	98
Tabla N°32: Resultados finales de los balances de masa.....	99
Tabla N°33: Distribución de los turnos del personal de la planta.....	105
Tabla N°34: Costos de inversión física de planta de Compostaje.....	134
Tabla N°35: Costos de inversión física de planta de Lombricultura.....	135
Tabla N°36: Costos y depreciación de equipos en planta de compostaje.....	136
Tabla N°37: Costos y depreciación de equipos en planta de lombricultura.....	137
Tabla N°38: Activos fijos en planta de compostaje.....	138
Tabla N°39: Activos fijos en planta de lombricultura.....	138
Tabla N°40: Remuneraciones del personal en planta de compostaje.....	139
Tabla N°41: Remuneraciones del personal en planta de lombricultura.....	139
Tabla N°42: Materias primas en planta de compostaje.....	140
Tabla N°43: Materias primas en planta de lombricultura.....	140
Tabla N°44: Funcionamiento y consumo de las maquinarias.....	141
Tabla N°45: Consumo de energía eléctrica por equipos.....	142
Tabla N°46: Consumo energía eléctrica alumbrado.....	142
Tabla N°47: Gastos generales de las plantas.....	143
Tabla N°48: Capital de trabajo de la planta de compostaje.....	144
Tabla N°49: Capital de trabajo de la planta de lombricultura.....	144
Tabla N°50: Costos de la inversión total de la planta de compostaje.....	145
Tabla N°51: Costos de la inversión total de la planta de lombricultura.....	145
Tabla N°52: Costos de operación asociados al compost.....	147
Tabla N°53: Costos de operación asociados al vermicompost.....	147
Tabla N°54: Flujos monetarios planta de compostaje.....	149
Tabla N°55: Flujos monetarios planta de lombricultura.....	150
Tabla N°56: Valores de VAN y TIR para las dos plantas.....	151
Tabla N°57: Análisis de sensibilidad del VAN variando los precios del compost.....	152
Tabla N°58: Análisis de sensibilidad del VAN variando los precios del vermicompost.....	153
Tabla N°59: Sensibilidad del VAN con respecto al valor de las remuneraciones en planta de compostaje.....	155
Tabla N°60: Sensibilidad del VAN con respecto al valor de las remuneraciones en planta de lombricultura.....	156

Tabla N°61: Sensibilidad del VAN con respecto a las materias primas en planta de compostaje.....	157
Tabla N°62: Sensibilidad del VAN con respecto a las materias primas en planta de lombricultura.....	158
APENDICES	169
Apéndice N°1: Materiales y Equipos.....	169
Apéndice N°2: Determinación del Carbono Orgánico Total.....	170
Apéndice N°3: Determinación de Nitrógeno Total por Extracción Kjeldahl.....	172
Apéndice N°4: Medición de Temperatura y pH.....	175
Apéndice N°5: Determinación del contenido de humedad.....	176
Apéndice N°6: Medición de Sólidos Volátiles.....	177
Apéndice N°7: Medición Coliformes Fecales.....	178
Apéndice N°8: Fotografías de la Experiencia.....	181
Apéndice N°9: Cotizaciones de Equipos.....	184



CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCION

Hasta no hace mucho tiempo, las aguas servidas se enviaban directamente a los ríos y mares esperando que sus efectos contaminantes se diluyeran en el agua, con todos los riesgos ambientales que esta práctica conlleva. Después de un giro en el planteamiento ambiental, comenzó el desafío de tratar las aguas servidas y residuales recolectadas por los sistemas de alcantarillado reduciendo paulatinamente las emisiones a las aguas superficiales. Los sistemas de tratamiento utilizados en Chile hasta fines de la década de los 80, consistían principalmente en lagunas de estabilización que correspondían al sistema recomendado por la Organización Mundial de la Salud; mientras que a partir de la década de los 90 se generó un cambio significativo en el enfoque del tratamiento, comenzando a ganar terreno la utilización de los sistemas de lodos activados. (Aveldaño *et al.*, 2004)

En 1998 se promulgó el DS 609/98 del Ministerio de Obras Públicas bajo el título de “Norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de Residuos industriales líquidos, RILES, a sistemas de alcantarillado”, que en definitiva regula entre otras cosas las máximas concentraciones que debe tener un RIL para ser descargado a sistemas de alcantarillado con o sin planta de tratamiento, por otro lado en el año 2000 se promulgó el Decreto 90 que regula los contaminantes asociados a las descargas de Residuos Líquidos a aguas superficiales, que conforma un marco aplicable a las descargas de residuos líquidos (industriales y aguas servidas domésticas) directamente a cursos o masas de aguas superficiales terrestres (fluviales y lacustres) o marítimos. (Aveldaño *et al.*, 2004)

Debido a estas importantes normativas que regulan la disposición de aguas de desecho se han generado distintos tipos de plantas de tratamiento de aguas según las características del efluente a tratar. Para depurar las aguas servidas que contienen contaminantes orgánicos, suelen usarse sistemas de tratamiento biológico. La gran cantidad de plantas de tratamiento de aguas residuales de tipo biológico existentes en nuestro país y las que están en construcción o por construirse, son potenciales productoras del lodo



residual del proceso, el que si no es tratado y dispuesto de forma adecuada, podría llegar a convertirse en un grave problema ambiental a enfrentar. Lo anterior debido a que hoy en día estos lodos son dispuestos en rellenos sanitarios y vertederos, ocasionando problemas de espacio, ya que disminuyen la capacidad de recepción de residuos, además de generar un aumento de líquidos lixiviados y gas metano. Esta problemática propone un reto importante, por una parte, tratar los lodos para convertirlos en residuos sólidos seguros para la población y el medio ambiente, pero más importante aún, en residuos beneficiosos y ventajosos para utilizarlos por ejemplo como fertilizante orgánico.

Es por ello que se comparan en el presente trabajo dos opciones de tratamiento, el compostaje y la lombricultura como nuevas alternativas para el manejo y disposición del lodo, las cuales generan fertilizantes orgánicos muy útiles para la agricultura, además tienen la particularidad de eliminar patógenos y aparecen como una alternativa relativamente económica y de fácil aplicación para el tratamiento de lodos (Carvallo, 2004)

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Comparar técnica y económicamente las tecnologías de compostaje y lombricultura para el tratamiento de lodos secundarios provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas



1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudiar la efectividad del tratamiento de lodos por medio de las técnicas de Compostaje y Lombricultura con dos tipos de sustrato: lodo con aserrín y lodo con compost reciclado.
- Analizar la evolución de parámetros físico-químicos del tratamiento del lodo por medio de estas dos técnicas.
- Analizar la rentabilidad de implementar una planta de Compostaje y de Lombricultura, a través de indicadores económicos como el VAN y el TIR, para finalmente evaluar la sensibilidad del VAN frente a distintas variaciones.



CAPITULO 2: MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEORICO

2.1. Generación de Lodos de Desecho.

En el proceso de tratamiento de las aguas residuales, tanto urbanas como industriales, se generan dos corrientes principales: el efluente líquido de la planta de tratamiento, es decir, el agua tratada y los lodos o suspensiones de sólidos obtenidos como subproductos, como se muestra a continuación en la Figura N°1.

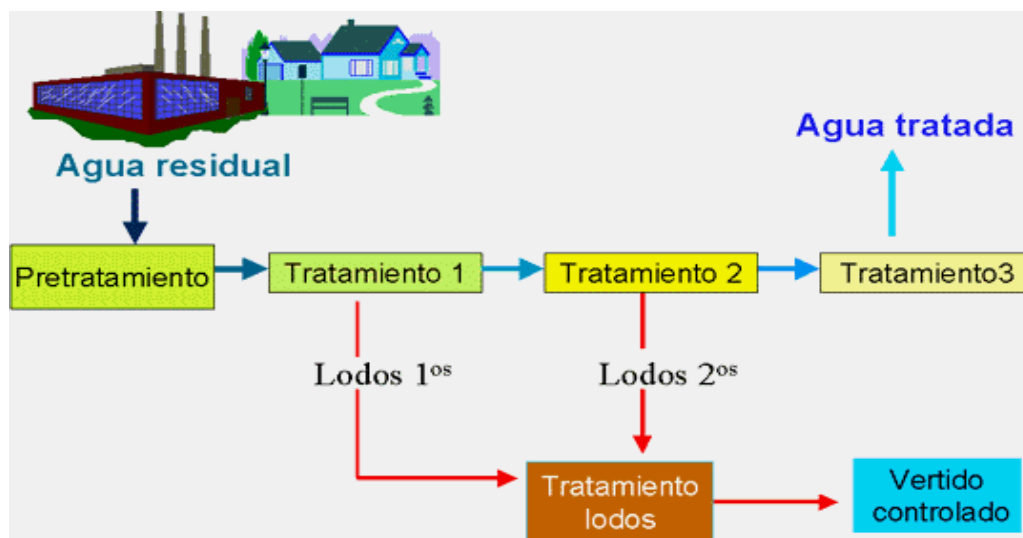


Figura 1. Parte del proceso de una planta de tratamiento en el que se obtienen lodos.

(Fuente: Tratamiento de aguas residuales domésticas. 16 de Mayo de 2004.
<http://www.puc.cl/quimica/agua/tratamiento.htm>)

La mayor parte de los lodos, debido a su origen, consistencia acuosa, volumen y carga orgánica, requieren de algún proceso de tratamiento antes de ser dispuestos en el medio ambiente, con el fin de disminuir su volumen por eliminación de agua y descomponer la materia orgánica en compuestos simples orgánicos e inorgánicos relativamente estables o inertes (Ozores, 2003) y reducir la actividad de microorganismos patógenos.



La procedencia de los lodos producidos en plantas de tratamiento de aguas residuales varía en función del tipo de planta y del modo de explotación, los principales lodos producidos se clasifican en:

2.1.1. Lodo Primario: Se trata de los lodos obtenidos de un estanque de sedimentación que separa los desechos de mayor tamaño como palos y piedras. Dichos estanques se pueden clasificar en simple o clarificación primaria y son los sólidos sedimentables del agua residual cruda. Estos lodos prácticamente no han sufrido descomposición y por lo tanto son sumamente inestables y putrescibles, estos lodos son usualmente de color gris, de apariencia desagradable y contienen fragmentos de desperdicios, sólidos fecales y otros desechos de olor nauseabundo (Aveldaño *et al.*, 2004).

2.1.2. Lodo Secundario: Son los lodos provenientes del estanque de sedimentación secundaria, de tratamiento biológicos aerobios como lodos activados, percoladores y contactores biológicos rotatorios, consisten de materia orgánica parcialmente descompuesta, son usualmente de color café oscuro, floculentos, de aspecto más homogéneo y tienen menos olor que los lodos primarios (Aveldaño *et al.*, 2004).

2.1.3. Lodos Químicos: Son los lodos procedentes de los estanques de precipitación química con sales metálicas, es generalmente de color oscuro, aunque su superficie puede ser roja si contiene mucho hierro, el lodo con cal es gris marrón; el olor del lodo químico puede ser molesto, pero no tanto como el del lodo primario. Aunque es algo grasiento, los hidratos de hierro o aluminio contenidos en él, lo hacen gelatinoso. Si se deja suficiente tiempo en el tanque se produce su descomposición, pero a menor velocidad que el lodo primario; produce gas en cantidades sustanciales y su densidad aumenta con el tiempo (Arriagada *et al.*, 2004).



2.2. Tratamiento de lodos de Desecho.

Cualquier tratamiento de lodos pretende uno o los dos siguientes objetivos: disminuir por eliminación de agua el volumen para subsecuentes tratamientos y disposición o transformación de los sólidos orgánicos más estables o inertes (Aveldaño *et al.*, 2004), lo cual permite también la reducción de organismos patógenos. Entre los procesos que comúnmente se emplean para el tratamiento de los lodos hasta su disposición final se encuentran:

1. **Espesamiento:** Consiste en concentrar los lodos diluidos para hacerlos más densos en estanques especialmente diseñados para este propósito (Aveldaño *et al.*, 2004). Su uso se limita principalmente a reducir los contenidos de agua del proceso de lodos activados, también se usa para concentrar lodos de los tanques primarios o la mezcla de estos y el exceso de lodos activados antes de la digestión (Carvalho, 2004).
2. **Digestión:** El propósito de la digestión es lograr los dos objetivos de los lodos, es decir, una disminución en el volumen y la descomposición de la materia orgánica muy putrescible, hasta formar compuestos orgánicos e inorgánicos inertes o relativamente estables (Aveldaño *et al.*, 2004).
3. **Lechos Secadores de Arena:** El lecho secador de arena es un dispositivo que elimina una cantidad de agua suficiente para que el resto pueda manejarse como material sólido con un contenido de humedad inferior al 70% (Aveldaño *et al.*, 2004).
4. **Elutriación:** Esta palabra significa purificar por lavado. En el tratamiento de lodos significa extraer de los lodos por medio de agua o efluentes de plantas de tratamiento los compuestos amínicos o amoniacales que se encuentran en cantidades excesivas para disminuir la demanda de coagulante, por lo tanto se usa como pretratamiento antes de la coagulación con productos químicos (Aveldaño *et al.*, 2004).



- 5. Estabilización con Cal:** En este proceso se añade suficiente cal al lodo para elevar su pH sobre 12, este valor de pH crea un entorno que no favorece la supervivencia de los microorganismos; así mientras se mantenga el pH, el lodo no se pudrirá, no creará malos olores y no provocará riesgos a la salud pública (Arriagada *et al.*, 2004).
- 6. Secado por Calentamiento:** Cuando los lodos van a servir para la fabricación de fertilizantes, el contenido de humedad debe disminuir hasta cerca de 10 % cuando los lodos van a ser incinerados, deben secarse hasta un punto en el que puedan encenderse y quemarse, para esto se usa el secado por calentamiento. Para tal fin se usan comúnmente 4 unidades diferentes a saber: 1) horno secador rotatorio, 2) secador instantáneo, 3) secador de pulverizadores y 4) el horno de hogar múltiple (Aveldaño *et al.*, 2004).
- 7. Filtración al Vacío:** Consiste en la eliminación de agua de los lodos mediante los métodos tradicionales de filtración al vacío (Tchobanoglous, 1994 a).
- 8. Oxidación Húmeda:** El proceso ZIMPRO (patentado), supone la oxidación del lodo por vía húmeda a presión y temperatura elevadas (Tchobanoglous, 1994 a).

Otros dos métodos para el tratamiento de los lodos y que permiten su disposición casi inocua y como eficiente fertilizador de suelos son el Compostaje y la Lombricultura, métodos que serán abordados en forma extensiva más adelante.



2.3. Compostaje

El compostaje es una técnica utilizada por los agricultores desde hace mucho tiempo, y consiste básicamente en el apilamiento de los residuos caseros, excrementos de animales y restos de la cosecha, con el fin de que se descompusieran y transformasen en productos fácilmente aprovechables como abono; claro que se trataba de un proceso muy lento, sin control sobre las variables que influyen en el proceso y sin ninguna seguridad en la higiene de la mezcla.

En la actualidad el Compostaje aerobio controlado es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la conversión de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos a un material húmico estable conocido como compost (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 1999). El hecho de que el proceso de Compostaje sea controlado, indica que este es manejado u optimizado para llevar a cabo los objetivos deseados. Algunos de los principales objetivos son los siguientes:

- Descomponer la materia orgánica potencialmente putrescible a un estado estable y producir un material que pueda ser usado como mejorador de suelos u otros usos benéficos.
- Descomposición de residuos en productos benéficos; el Compostaje puede ser económicamente favorable comparado con los costos de la alternativa de disposición de estos y puede ser más aceptable ambientalmente que los métodos convencionales de manejo de residuos sólidos.
- Desinfección de residuos infectados con patógenos de modo que ellos puedan ser usados benéficamente de una manera segura.
- Biorremediación o biodegradación de residuos peligrosos por medio del proceso de Compostaje (Silva, 1996).

Así también el Compostaje es una alternativa económicamente viable y ambientalmente segura para la estabilización y evacuación final del lodo de las aguas residuales.



Las cada vez más restrictivas normativas de evacuación de lodos junto con la previsible escasez de vertederos disponibles, han acelerado la opción del Compostaje en el tratamiento del lodo. En Chile está en vías de promulgarse el anteproyecto de reglamento “Manejo de Lodos no peligrosos provenientes de Plantas de Tratamiento de aguas servidas”, por lo cual la disposición de estos lodos debe cumplir con las restricciones y limitaciones que estipula esta norma ya sea para su disposición en vertederos o en agricultura, por lo que posibilita la adopción del Compostaje como una técnica efectiva para tratar los lodos y dar disposición final a éstos.

2.3.1. Microbiología del proceso

Los microorganismos participantes en el proceso de Compostaje pertenecen a tres grandes categorías: bacterias y hongos. A pesar de que el conocimiento sobre las interrelaciones entre estas poblaciones microbianas no es completo, parece ser que la actividad bacteriana es la responsable de la descomposición de las proteínas, lípidos y grasas a temperaturas termofílicas, así como de gran parte de la energía calórica producida. Los hongos están presentes en poblaciones variables durante las fases mesofílica y termofílica del Compostaje y serían los responsables de la destrucción de materia orgánica compleja y de la celulosa presente en el material de enmienda o soporte (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 1999).

Durante el Compostaje se presentan tres fases de actividad perfectamente identificables, según los intervalos de temperatura a las que ocurren. En la fase primaria del proceso o mesófila, la temperatura en la pila de Compostaje aumenta desde la temperatura ambiente hasta los 40°C donde predominan las bacterias mesofílicas productoras de ácidos y aparición de hongos. Después de subir la temperatura en el compost (40 a 70 °C), predominan las bacterias termofílicas que conducen a hongos termofílicos y actinomicetos luego de 5 a 10 días (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 1999).

En la etapa termofílica es en la cual se produce máxima degradación y estabilización de la materia orgánica. La fase de enfriamiento presenta una reducción en la actividad microbiana y subsistencia de organismos termófilos por mesófilos (bacterias y hongos), durante la fase de enfriamiento se produce liberación adicional de agua por



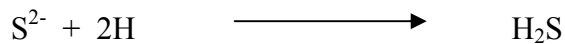
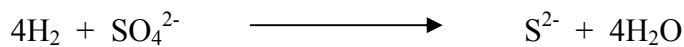
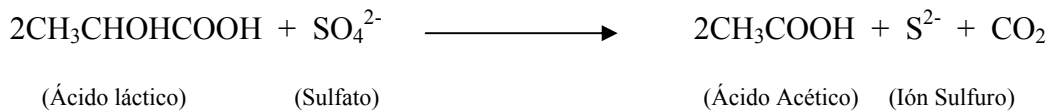
evaporación y una estabilización del pH, además se completará la formación del ácido húmico (Aveldaño *et al.*, 2004).

Los microorganismos aerobios consumen oxígeno, se alimentan de materia orgánica y desarrollan biomasa a partir de carbono, fósforo, nitrógeno, y otros nutrientes necesarios. Gran parte del carbono sirve como fuente de energía y se quema y expulsa como dióxido de carbono. Como el carbono orgánico puede servir como fuente de energía y carbono celular, se requiere más carbono presente que por ejemplo nitrógeno (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 1999).

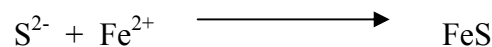
2.3.2. Producción de Olores.

La producción de olores se hace más importante en los días calurosos. Esta se produce por el desarrollo de condiciones anaerobias dentro de la mezcla. Por ejemplo, bajo condiciones anaerobias (reducción), el sulfato puede ser reducido a sulfuro (S^{2-}) que subsecuentemente se combina con el hidrógeno para formar H_2S .

La formación de H_2S se puede mostrar a través de las siguientes reacciones:



El ión sulfuro también puede combinarse con sales metálicas que pueden estar presentes, como hierro, para formar sulfuros metálicos.





El color negro de los residuos sólidos que han experimentado descomposición anaerobia se debe principalmente a la formación de sulfuros metálicos. La reducción bioquímica de un compuesto orgánico que tiene un radical azufre, puede causar la formación de compuestos malolientes tales como el metilmercaptano y ácido aminobutírico (Arriagada *et al.*, 2004).

2.3.3. Descripción del Proceso.

En general la técnica del Compostaje comprende las siguientes etapas fundamentales: 1. Mezcla del lodo deshidratado con un material de enmienda o soporte; 2. Aireación de la pila de Compostaje, ya sea por adición de aire o volteo mecánico, o ambos; 3. Recuperación del material soporte (cuando sea posible); 4. Maduración adicional y almacenamiento y 5. Evacuación final. El material de enmienda es un material orgánico que se añade al substrato a compostar para aumentar la cantidad de materia orgánica presente en la mezcla, es decir para regular la relación carbono-nitrógeno, los materiales de enmienda son comúnmente aserrín, paja, compost reciclado y cáscaras de arroz. El material de soporte es un material orgánico o inorgánico que se emplea para entregar soporte estructural y aumentar la porosidad de la mezcla y así mejorar la aireación. Un ejemplo puede ser las astillas de madera, las cuales se pueden recuperar y reutilizar (Molina, 2002). La aireación, además de aportar oxígeno, sirve para controlar la temperatura y eliminar la humedad excesiva.

2.3.4. Parámetros de diseño y funcionamiento.

Para que un proceso biológico como el Compostaje rinda al máximo, éste requiere encontrar las condiciones óptimas que permitan el mejor funcionamiento de este, es por esto que la gran mayoría de las operaciones comerciales de Compostaje están muy mecanizadas y se llevan a cabo en instalaciones especialmente diseñadas donde se pueden controlar en forma eficiente los parámetros de diseño y funcionamiento, los cuales se detallan a continuación:



- 1. Tamaño de partícula:** Es importante lograr uniformidad en el material que compone los residuos orgánicos, esto es posible mediante la trituración del material antes de fermentar. El tamaño de partícula influye en la densidad bruta, la fricción interior y características de flujo y las fuerzas de arrastre de los materiales. Un tamaño de partícula menor incrementa la velocidad de las reacciones bioquímicas del Compostaje aerobio. Para resultados óptimos, el tamaño de partícula debería estar entre 25 y 27 mm (Molina, 2002).

- 2. Relación Carbono/Nitrógeno:** En el Compostaje el balance entre los nutrientes que necesitan los organismos presentes es especialmente importante para los elementos carbono y nitrógeno donde la cantidad de carbono es sustancialmente mayor a la del nitrógeno. La relación C/N es el factor más importante del Compostaje, teóricamente una relación C/N entre 25 y 35 es la adecuada (Kiely, 1999), según otros autores la mejor relación está entre 20 a 25 (Tchobanoglous, 1994 a). Si la relación C/N es muy elevada (50:1 hacia arriba) disminuye la actividad biológica y el Compostaje se torna lento, ya que el rápido crecimiento celular agota rápidamente el nitrógeno disponible produciendo finalmente la disminución del crecimiento. Sin embargo si la materia a compostar es poco biodegradable la lentitud del proceso será causa de ello y no la falta de nitrógeno (Molina, 2002). Una relación C/N muy baja no afecta el proceso de Compostaje, perdiendo el exceso de nitrógeno en forma de amoníaco. Esto es efectivo sobre todo en ambientes alcalinos, sin embargo y dado que uno de los objetivos del Compostaje es la conservación de los nutrientes, no se puede permitir esta pérdida ya que reduce el valor del compost como fertilizante.

La relación C/N inicial debe estar en el intervalo 25:1 y 35:1 en peso. Se debe analizar el carbono presente para asegurar que será fácilmente biodegradable (Avendaño *et al.*, 2004).



3. **Materiales de enmienda o de soporte:** El proceso y la calidad del producto se ven afectados por características propias del material de enmienda y de soporte tales como el contenido de humedad, tamaño de partícula y carbono disponible de este, la disponibilidad de material de soporte debe ser inmediata y para esto, se han usado astillas, aserrín y compost reciclado (Kiely, 1999).
4. **Contenido de humedad:** Debería estar entre el 50 y el 60% durante el Compostaje (Metcalf *et al.*, 1996 a).
5. **Temperatura:** La temperatura óptima para la estabilización biológica está entre 45 y 55°C; para resultados óptimos la temperatura se debe mantener entre 50 y 55°C en los primeros días y entre 55 y 60°C durante el resto del período de Compostaje. Si las temperaturas pasan de 60°C durante el período importante de tiempo la actividad biológica se reduce.
6. **pH:** El pH de la mezcla a compostar debe estar normalmente entre 6 y 9. Para lograr una descomposición aerobia óptima, el pH debería permanecer en el rango de 7 a 7.5. Para minimizar la pérdida de nitrógeno como gas amonio, el pH no debe sobrepasar el valor de 8.5 (Kiely, 1999).
7. **Mezclado y Volteo:** Para prevenir el secado, encostramiento y canalización de aire, el material que está compostándose debería ser mezclado o volteado regularmente o cuando sea necesario. La frecuencia de mezcla o volteo dependerá del tipo de Compostaje (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 1999).
8. **Necesidad de aire:** Para obtener resultados óptimos se debe asegurar que llegue aire con al menos el 50% del oxígeno remanente a toda la masa de material a compostar, especialmente en el caso de reactores mecánicos (Molina, 2002).
9. **Limitaciones de emplazamiento:** Los factores que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar un emplazamiento para el Compostaje, incluyen la superficie disponible, la proximidad a la planta de tratamiento de aguas y a otros usos del terreno, los accesos, las condiciones climáticas y disponibilidad de zonas de amortiguación (Molina, 2002).



10. Metales pesados y compuestos orgánicos de trazas: Es necesario realizar un seguimiento de los metales pesados y compuestos orgánicos de trazas presentes en el lodo y en el producto final del Compostaje para asegurar que no excedan las limitaciones aplicables a los usos del producto final (Silva, 1996).

11. Patógenos: La destrucción de organismos patógenos es un elemento importante de diseño en el proceso de compostaje, porque afectará al perfil de temperatura y el proceso de aireación. La mayoría de los patógenos son destruidos rápidamente cuando todas las partes de la pila de compost están sometidas a una temperatura de aproximadamente 55°C. Se pueden eliminar todos los microorganismos patógenos dejando que el material que esta fermentándose llegue a una temperatura de 70°C durante una o dos horas. (EPA, 1994).

2.3.5. Sistemas de Compostaje.

Existen tres métodos para el Compostaje de residuos orgánicos, estos son: pilas estáticas aireadas, pilas volteadas o hileras con volteo periódico y sistemas de Compostaje cerrado o biorreactor (Tchobanoglous, 1994 a).

2.3.5.1. Pila estática aireada: Consiste en una red de tuberías generalmente de plástico corrugado, por donde se conduce el aire, y sobre estas se distribuye una mezcla de lodo deshidratado y material de soporte como se muestra en la Figura N°2. En general este soporte suele ser astillas de madera, las que se mezclan con lodo mediante mezcladoras de paletas o tambor giratorio. El material se composta por un período de 21 a 28 días y se madura durante otro período de 30 días más, la altura de estas pilas oscila entre 2 y 2.5 m. Con el fin de aislar la pila se puede usar una capa de compost cribado encima de ésta (Silva, 1996).

Finalmente el compost ya maduro se criba para reducir el volumen de producto final que se evacuará y para recuperar el soporte.

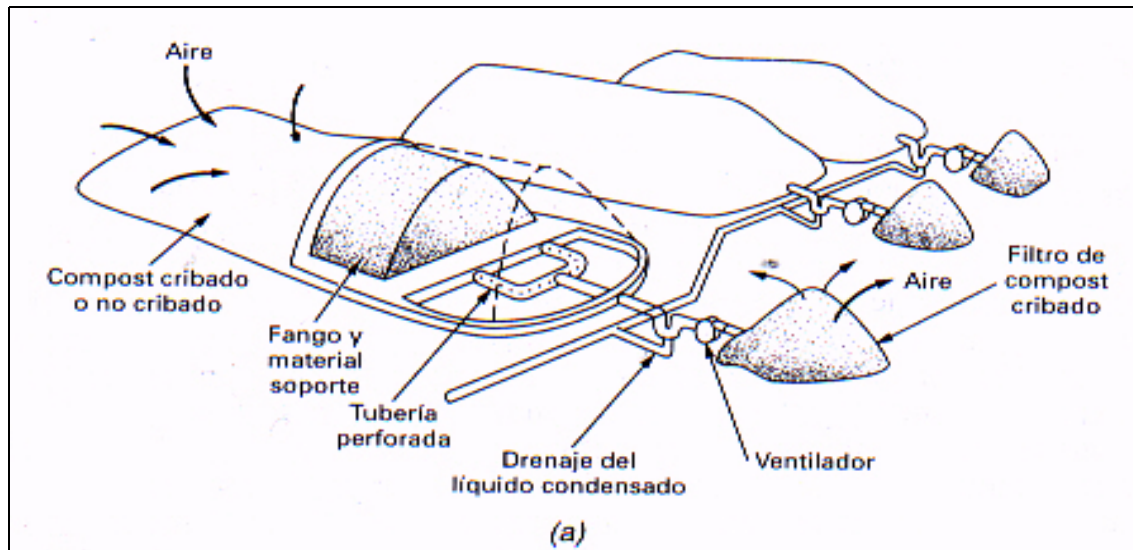


Figura N°2: Pila estática aireada.

2.3.5.2. Hileras con volteo periódico: A diferencia de las pilas estáticas aireadas, en este sistema la aireación se produce mediante el volteo en forma periódica de las pilas, el cual debe ir disminuyendo a medida que pasa el tiempo. Se recomienda, por ejemplo, que durante el primer mes se realice dos veces a la semana; en el segundo mes, una vez a la semana; el tercer mes, cada 15 días y los meses restantes, una vez al mes, dependiendo de la mezcla utilizada.

Con el volteo de las pilas se persigue obtener un buen mezclado, evitar compactación, facilitar el intercambio gaseoso y un mejor control de la temperatura, pH y humedad.

Las pilas son de 1 a 2 m. con un ancho de base de 2 a 4.5 m. (figura N°3). En condiciones normales de operación las pilas se voltean mínimo 5 veces mientras la temperatura esta a, o sobre 55°C (Metcalf et al., 1996 b).



Figura N°3: Hileras con volteo periódico.

2.3.5.3. Biorreactores o sistema cerrado: En este caso el Compostaje se realiza en depósitos o reactores cerrados que se diseñan para minimizar la producción de olores así como la duración del proceso controlando las condiciones como el caudal de aire, temperatura y concentración de oxígeno; en los últimos años estos sistemas han aumentado precisamente por el control de olores y del proceso, bajo costos en mano de obra y menor necesidad de terreno. Los biorreactores se pueden dividir en: reactores de flujo pistón y reactores dinámicos (lecho agitado) como se muestra en la Figura N°4. En los reactores de flujo pistón la posición relativa de las partículas de la matriz a compostar permanece idéntica a lo largo de todo el proceso; en cambio, en los reactores dinámicos, el material se mezcla durante el proceso en forma mecánica (Molina, 2002).

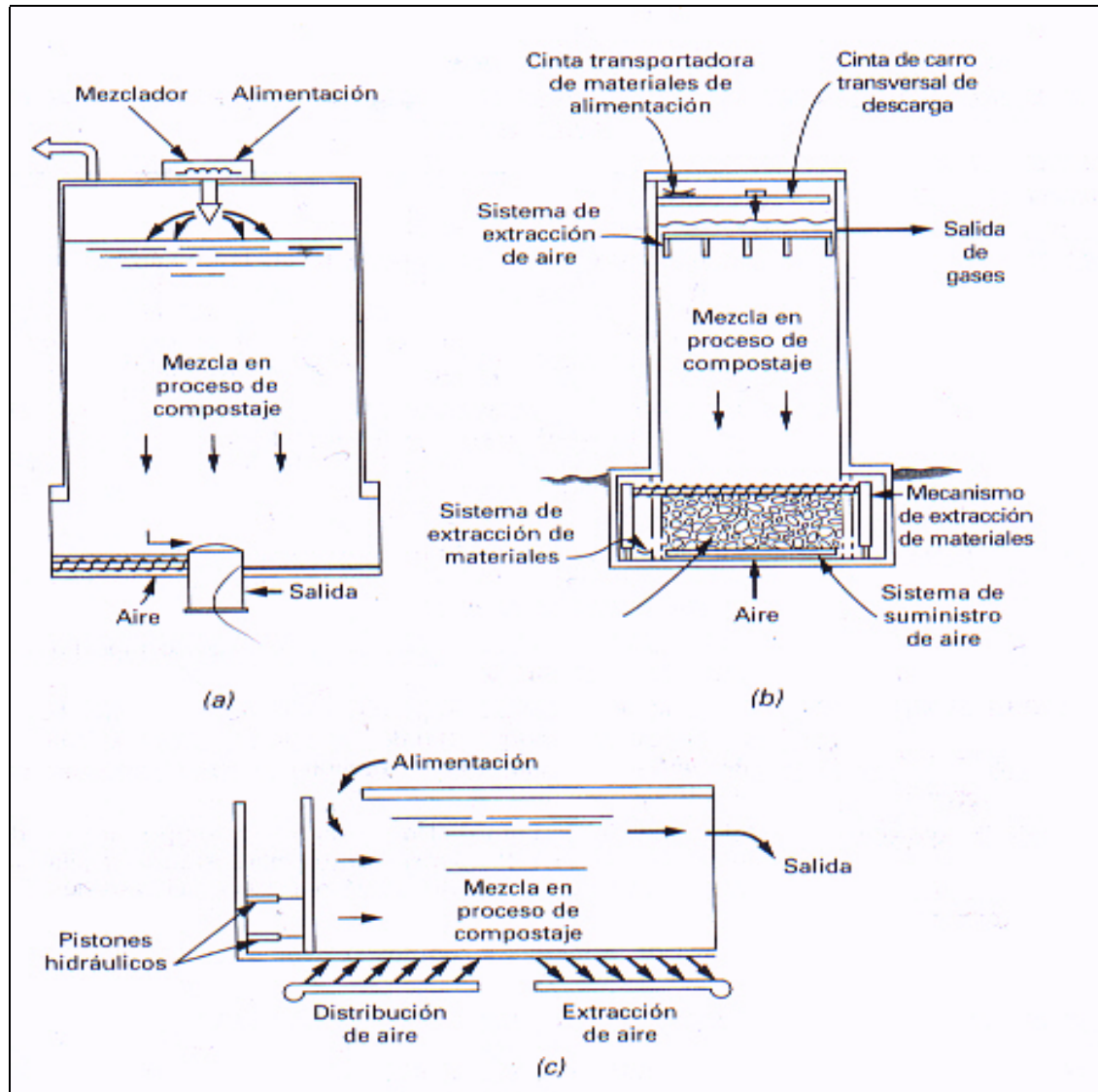


Figura N°4: Biorreactores. Ejemplos de reactores cerrados de compostaje de fango de flujo en pistón:(a) Torre cilíndrica, (b) rectangular, (c) de túnel.



2.3.6. Experiencias previas de Compostaje.

En 1996 en Austria se estudió el Compostaje de lodos de agua residuales en un recipiente rotatorio de 2m^3 , en esta experiencia la fase termófila del Compostaje demoró entre 4 y 5 días y las temperaturas llegaron cerca de 60 a 70 °C, al sustrato se le adicionó aserrín para aumentar la cantidad de materia orgánica y la humedad óptima fue de 65-70%.

Para llevar a cabo el período de maduración del Compost, este se dispuso en hileras, la humedad en estas hileras no fue inferior al 55%, para lo que se les adicionó agua. Con esta experiencia de Compostaje se logró una importante sanitización de los lodos en cuanto a virus, bacterias y parásitos, por lo que la calidad higiénica del lodo fue satisfactoria, llegando a una reducción de bacteriófago f2 en unidades formadoras de placas de 99.999% (Arriagada *et al.*, 2004).

En Finlandia en el año 1999 se realizaron experiencias de Compostaje de lodos de aguas residuales de la industria forestal, se realizaron cinco compostajes mediante el método de pilas estáticas con volteo, las pilas fueron monitoreadas durante el período de Compostaje mediante mediciones físicas, análisis químicos y test de toxicidad. Las relaciones C/N en los lodos a compostar varió entre 5 y 10 al inicio del proceso, excepto en una de las pilas donde la relación C/N fue 17. Los resultados finales mostraron que todos los lodos fueron fácilmente compostados y pueden ser adecuados para el uso del mejoramiento de suelos, además la toxicidad de los lodos decrece durante el proceso de Compostaje y se probó que los lodos no fueron tóxicos al final del Compostaje (Arriagada *et al.*, 2004).



2.4. Lombricultura

La lombricultura se define como la crianza en cautiverio e intensiva de lombrices, y surge como repuesta a muchos problemas de contaminación orgánica, dado que se trata de una técnica simple racional y reconocidamente económica puesto que la materia prima que se utiliza, es decir el alimento para las lombrices son desechos orgánicos que a menudo se desperdician, convirtiéndose en una molestia y hasta en un peligro de contaminación.

En la actualidad la lombricultura es una técnica que recicla todo tipo de materia orgánica y obtiene como fruto de esta actividad, dos productos:

- Por un lado el Humus, un fertilizante que representa una excelente calidad en fertilización orgánica y que es la feca de lombriz.
- Y una fuente de proteína de bajo costo que es la carne de lombriz, la cual tratada con procesos adecuados permite obtener una harina de alto nivel proteico que puede ser una buena alternativa para la alimentación humana y animal.

2.4.1. La lombriz

La mayor y más importante actividad realizada en la lombricultura la tiene a cargo la conocida en el ámbito comercial como: Lombriz roja “Californiana” por ser en este estado de los Estados Unidos donde se desarrollaron a partir de los años 50 los primeros criaderos intensivos de lombrices, desde entonces se han efectuado muchos estudios e investigaciones que han tenido como resultado la obtención de varios tipos de lombrices rojas (Compagnoni, 1985). Las lombrices actualmente más utilizadas son:

- *Eisenia foetida*
- *Lumbricus rubellus*
- Rojo híbrido

En Chile la especie que comúnmente se utiliza es la *Eisenia foetida*, esta al igual que todas las lombrices de tierra, se clasifica en Phillum *annelida*, clase *oligochaeta*, orden *opisthopora*, familia *Lumbricidae* (Compagnoni, 1985).

2.4.1.1. Morfología de la Lombriz

La lombriz roja pertenece al género de los anélidos que comprende como ya se mencionó en específico a la clase de los oligoquetos, es decir, las lombrices de tierra. Los oligoquetos son lombrices bastantes finas y alargadas. La lombriz roja Californiana mide entre 5 y 8 cm. de largo y su diámetro oscila entre 3 y 5 mm; su peso adulto es de 0.9 ± 0.1 g. y su color es rojo oscuro (Bollo, 2001).

La lombriz roja es de forma cilíndrica y está dividida en segmentos en forma de anillos revestida de una delgada capa de piel llamada cutícula, la extremidad anterior es ligeramente más alargada que la posterior, y en la extremidad anterior se encuentran grupos de células que perciben el grado de acidez de la base del terreno y los estímulos luminosos (Compagnoni, 1985).

En la siguiente figura se puede apreciar la apariencia de la lombriz.

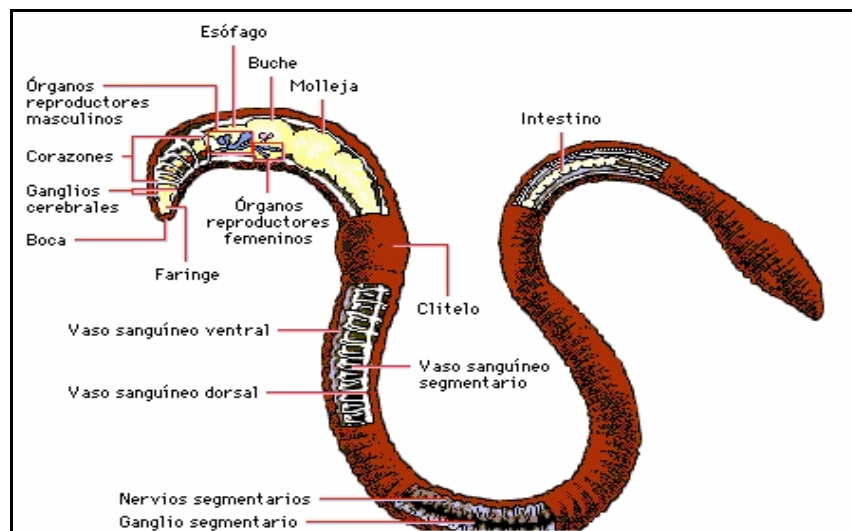


Figura N° 5: Características internas de la lombriz.

La lombriz posee una especie de grietas cortas y robustas que sobresalen de su cuerpo (8 cada segmento) y que contribuyen a la locomoción de la lombriz (Ferruzzi, 1987). En los metámeros (segmentos que posee entre la faringe y el estómago) se ubican 5 corazones y 6 pares de riñones, motivo por el cual si la lombriz se parte en dos, la parte

anterior sobrevive, es decir, la que posee la boca (Ferruzzi, 1987). La parte posterior muere por desnutrición.

El sistema digestivo de la lombriz se compone de boca, faringe, esófago, buche, molleja, estómago, intestino y ano (Compagnoni, 1985). La lombriz succiona la comida a través de su boca; en la faringe le adiciona sustancias que excreta a través de las glándulas faríngeas y pasa rápidamente al buche donde se almacena por un tiempo, en esta etapa las glándulas calcíferas se encargan de segregar carbonato de calcio con el fin de neutralizar los ácidos presentes en la comida ingerida (Bollo, 2001). Luego el alimento pasa en forma secuencial a la molleja donde se produce una molienda del material ingerido; finalizada la trituración pasa al intestino donde se produce la digestión y absorción de los nutrientes. En la siguiente figura se puede apreciar en forma esquemática el aparato digestivo de la lombriz.

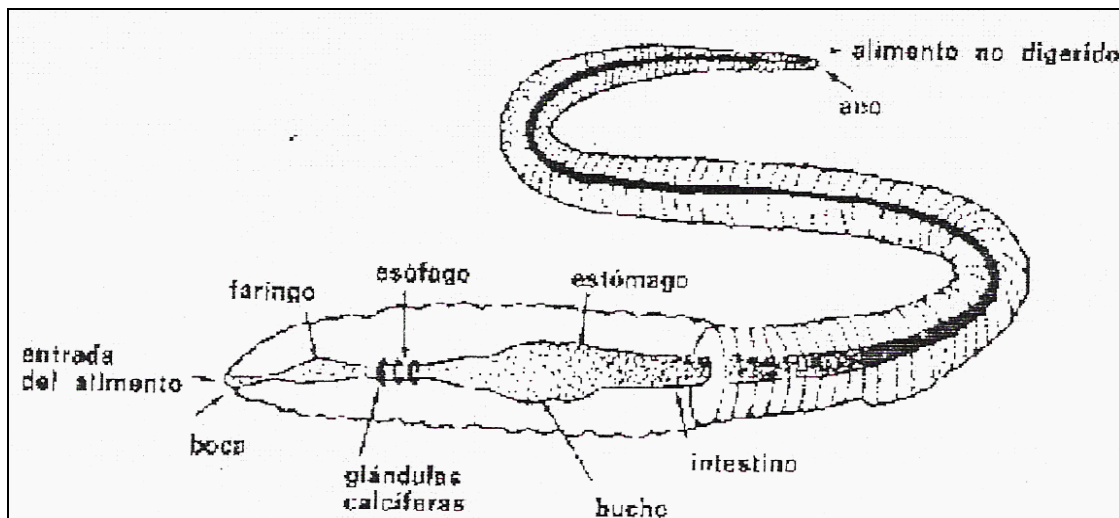


Figura N°6: Aparato digestivo de la Lombriz.

El intercambio gaseoso en la lombriz se lleva a cabo a través de la piel, mediante un fino retículo de capilares que desemboca en las cutículas por lo cual la cutícula permanece húmeda para producir el intercambio de oxígeno y salida de CO_2 a través del cuerpo, este oxígeno se puede tomar tanto en aire o bajo el agua siempre que exista oxígeno libre.

La *Eisenia foetida* es hermafrodita insuficiente, es decir, posee ambos sexos pero necesita aparearse para reproducirse, como todos los oligoquetos, las lombrices se



intercambian espermatozoides, estos no fertilizan de inmediato sino que se introducen un cierto tiempo dentro de unos revestimientos resbaladizos a través de la extremidad cefálica que representa aproximadamente una tercera parte de la longitud del cuerpo (clitelo) (Molina, 2002).

Los huevos fecundados de lombriz (entre 4 y 20) se encuentran dentro de una cápsula, también llamada “capullo o cocón”, si las condiciones ambientales son favorables la cápsula se abre luego de tres semanas o poco más con lo que nacen lombrices idénticas a la adulta salvo por la dimensión y de color blanco, a los tres días toman un color rosáceo y más tarde, a los tres meses ya son sexualmente adultas y pueden aparearse con intervalos de al menos 7 días entre cada apareamiento (Pasche, 1994).

La longevidad de la lombriz llega aproximadamente a los 16 años y un adulto en un año de vida puede generar alrededor de 1500 pequeñas lombrices. Si bien los datos son promedio, la reproducción de las lombrices depende de factores como densidad poblacional, calidad alimenticia, temperatura, estación del año y genética de la lombriz. (Molina, 2002).

2.4.1.2. Condiciones Óptimas Para la Lombriz

Como el resto de los seres vivos, la lombriz roja californiana requiere para su subsistencia y óptimo rendimiento, de condiciones que le favorezcan, entre las que se encuentran las siguientes:

- Una temperatura entre los 19 y los 20°C., bajo los 15°C la lombriz sufre problemas reproductivos y muchas de las crías no sobreviven.
- Un pH neutro por su sensibilidad al pH.
- Una alimentación equilibrada, sus requerimientos corresponden a 36.2% de C; 14.4% de N; 1.58% de Ca; 0.89% de P; 0.34 % de K y 0.34% de Mg; además se ha demostrado la importancia de la presencia de celulosa en la dieta de la lombriz, pues al disminuir el aporte de nutrientes orgánicos, estas sobreviven mejor en presencia de residuos carbónicos (Bollo, 2001).
- La humedad en el rango de 70 a 85% (Compagnoni, 1985).



2.4.2. La Lombricultura en el Tratamiento de Residuos Orgánicos

Ya en la antigüedad, la lombriz era conocida como “arado” o “intestino de la tierra” (Aristóteles) puesto que excava en el terreno galerías, volviéndolo y facilitando la oxigenación y permeabilidad del agua (Molina, 2002).

La lombriz es un eficiente fertilizador pues transforma la materia orgánica en compuestos que pueden ser directamente asimilables por las plantas. Las lombrices son de régimen alimenticio saprófago, es decir, comen materia en descomposición y de cualidad coprófaga, es decir, ingieren sus propias deyecciones; desde el punto de vista ecológico se clasifican en epígeas, esto es que viven sobre la superficie del suelo, se alimentan de materia orgánica y producen humus (Pasche, 1994); son una especie eurífaga, se le ha alimentado con los más diversos desechos, caracterizándose por su gran voracidad (9), y es una especie de alta tolerancia a aceptar aglomeración (hasta 40000 individuos por m²), lo que aumenta el rendimiento tanto en producción de humus como en carne de lombriz. La lombriz tiene también la cualidad de desodorar los excrementos de los animales y los desechos de los que se alimenta y en medio de los cuales vive, además de esto, les quita la acidez por el motivo que se explicó cuando se mencionó su aparato digestivo.

La descomposición de los residuos orgánicos mediante lombrices, se presenta como una sucesión de digestiones microbianas, debida esencialmente a la microflora de las heces y del mantillo vegetal y de digestiones por lumbrícidos. Se puede apreciar que las lombrices son descomponedores primarios, al igual que los microorganismos (Ferruzzi, 1987).

Un efecto importante, en el paso de la materia orgánica por el intestino de las lombrices y que se repite innumerables veces debido a las prácticas coprofágicas, es una pulverización de la microflora que es sucesivamente tragada y expulsada por los lumbrícidos. Algunas poblaciones (protozoos, algas) son total, o parcialmente, asimilados por el animal, mientras que otras poblaciones parecerían estar protegidas, este hecho más algunas condiciones pueden acelerar el ciclo del nitrógeno. Algunos han demostrado en un prado sujeto a observación que más del 50% de las bacterias fijadoras de nitrógeno se



encontraban en las paredes de las galerías de las lombrices, paredes que representaban el 1% del suelo (Ferruzzi, 1987).

Clásicamente se atribuía a los microorganismos la totalidad de la mineralización de la materia orgánica a elementos directamente asimilables por las plantas, pero hoy se les otorga al menos el 20% de la mineralización a las lombrices (Ferruzzi, 1987).

Quizás unas de las cualidades más interesantes, desde el punto de vista del tratamiento de Lodos de desecho, es la capacidad que ha demostrado la lombricultura para reducir la cantidad de microorganismos patógenos presentes en un residuo sólido, este hecho se ha atribuido por una parte a la ya mencionada práctica coprofágica donde algunas poblaciones de microorganismos serían pulverizadas. La otra posibilidad se basa en el hecho que las lombrices facilitan el desarrollo y la mantención de un entorno principalmente aeróbico, de esta forma las poblaciones de microorganismos patógenos pueden ser controladas a bajos niveles, puesto que estas condiciones aeróbicas promueven el rápido crecimiento y reproducción de bacterias aeróbicas, lo que va en desmedro de las poblaciones de patógenos, con lo que estas disminuyen. (Bollo, 2001).

2.4.3. Humus de lombriz

Se llama humus a la materia orgánica que se degrada a su último estado de descomposición por efecto de los microorganismos, en consecuencia se encuentra químicamente estabilizada como coloide, el que regula la dinámica de la nutrición vegetal en el suelo. Esto puede ocurrir en forma natural a través de los años, o en un lapso de horas, tiempo que demora la lombriz en digerir lo que come (Bollo, 2001). La acción microbiana emergente del humus de lombriz hace asimilable para las plantas materias inertes como fósforo, potasio, calcio, magnesio y también micro y oligoelementos.

El humus se presenta como una tierra muy ligera, oscura, suelta porosa y suave, es inodoro y hasta tiene un agradable aroma a tierra húmeda (Compagnoni, 1985).

En el humus hay dos aspectos de vital importancia, el pH que es prácticamente neutro y la flora bacteriana, por ejemplo, por cada gramo de humus de lombriz hay aproximadamente 2×10^{12} col/g, es decir, vive una comunidad compuesta de 2 billones de



colonias bacterianas en vez de pocos millones presentes en un gramo de estiércol animal fermentado considerado de los mejores fertilizantes. La flora bacteriana se reproduce constantemente y prácticamente no tiene fin si se conserva con la humedad y temperatura óptima, por ello se puede afirmar que las deyecciones de las lombrices que conforman el humus no tienen que ser utilizadas con fecha de caducidad como ocurre claramente en el caso de los fertilizantes químicos y esta es sólo una de las tantas ventajas que posee el humus de lombriz al compararlo con otros fertilizantes tradicionales. (Ferruzzi, 1985).

2.4.4. Antecedentes de Lombricultura en Lodos

En el año 1986 en la planta de tratamiento de aguas servidas, CEXAS, que la Empresa Metropolitana de Obras Sanitarias, EMOS S.A., mantenía en la ciudad de Melipilla, Región Metropolitana, Chile, se inició por iniciativa de una empresa particular, un proceso de lombricultura utilizándose para tales efectos, lombrices del género *Eisenia foetida* y como sustrato lodo deshidratado previamente estabilizado en forma anaerobia.

Se trabajó con lechos, varios lechos piloto y un lecho a escala de campo, en todos los lechos se colocó una base de 10 cm. de humus por sus características adsorbentes y absorbentes, y sobre éste un residuo con lombrices para colonizar los lechos, estimando una densidad poblacional de 2500 lombrices/m², el sustrato fue lodo mixto, proveniente directamente de los decantadores primarios de la planta de tratamiento.

Los resultados obtenidos en esta experiencia fueron muy satisfactorios pues se consiguió, por una parte reducir notablemente el volumen de los lodos a manejar, logrando reducirlo 7.5 veces durante el proceso de lombricultura, y por otra parte mejorar sustancialmente la calidad del residuo que queda transformado en humus de alto valor agrícola. Se logró reducir unos 10⁷ a 10⁸ coliformes fecales por cada 100 a 1000 coliformes fecales por cada 100 ml, de modo que se consiguió una reducción de entre 10.000 y 100.000 veces con respecto a la concentración original. De este modo el humus final demostró poseer características sanitarias aceptables, tanto bacteriológicas como



parasitarias, así también en términos agronómicos demostró ser un producto de alto interés (Pasche, 1994).

En Estados Unidos La División De Protección Ambiental (OCEPD) se encargó del potencial uso de las lombrices como un método alternativo para la estabilización de patógenos humanos en lodos de desecho. Los estudios sugirieron que la lombricultura puede ser efectiva en la estabilización de patógenos. En algunos casos un proceso previo de compostaje se puede realizar para eliminar patógenos, sin embargo la OCEPD estableció que las lombrices pueden eliminar patógenos durante la lombricultura haciendo el compostaje previo innecesario. En 1995 se formó una sociedad entre la OCEPD, American Earthworm Company y la ciudad de Ocoee, Florida con el objetivo de desarrollar un método de reducción de patógenos que fuera costo efectivo y que reuniera todos los criterios para la salud y salud pública, una vez que la EPA se enteró de los objetivos del proyecto y sus potenciales beneficios, desarrolló criterios para los cuales este proyecto y otras futuras investigaciones puedan ser aplicados a la salud pública y la seguridad. Se realizó una experiencia a gran escala, para lo cual se construyó una estructura protegida contra clima adverso. Los lodos de desecho (15 a 20%) fueron aplicados a dos hileras de las siguientes dimensiones: 6m. de largo por 1.5 m. de ancho por 0.2 m. de profundidad utilizando 1361 kg. De lodos de desecho en cada una, teniendo una hilera para el test y otra como control, ambas hileras fueron inoculadas con coliformes fecales, *Salmonella* y virus entéricos. La hilera destinada para el test fue sembrada con una proporción biomasa de lombrices a lodos de desecho de 1:1.5 correspondiente a la tasa de alimentación para las lombrices por un período de 24 horas. Las lombrices del género *Eisenia foetida* fueron alimentadas con 1361 kg. de lodos de desecho por un período de 14 días. También se analizó el efecto de la lombricultura sobre los huevos de helminto pero en forma separada en hileras de 2.3 m. de largo por 1.5 de ancho por 0.23 m. de profundidad, en este caso las lombrices fueron alimentadas con 531 kg. de lodos de desecho por un período de 7 días.

Como resultado de las experiencias se logró una reducción de coliformes fecales de 98.7 % dentro de un período de 24 horas en la hilera donde se dispusieron las lombrices mientras que en la hilera control la reducción fue de 20% en el mismo período, la reducción de coliformes continuó dentro de los 14 días de la experiencia. Los análisis para



Salmonella mostraron una reducción de 99.99% a las 72 h y las muestras control del 93.18 %. Para los virus entéricos la reducción fue de 98.92% a las 72 h y de 53.8% en las hileras control. Los test de viabilidad indicaron que los huevos de helminto a las 144 h la reducción en las hileras con lombrices fue de 98.97 %, mientras que las muestras control arrojan una reducción de 72.74%. De este modo la reducción de los patógenos requeridos por la EPA lograda en la lombricultura hace de este método una alternativa para la estabilización de lodos de desecho (EPA, 1997).

El consejo de la ciudad de Bathurst en conjunto con Advanced Waste Management Pty Ltda. condujeron un experimento científicamente controlado para evaluar los méritos del vermicompstaje (Lombricultura) de lodos de desecho y residuos verdes, y fue realizado en el Centro para el Manejo de Residuos de Bathurst entre el 14 de enero de 1999 y el 18 de marzo del mismo año. En el experimento se establecieron 3 tipos de mezclas, la primera 100% lodos de desecho, la segunda 50% lodos de desecho y 50% residuos verdes particulados por volumen (mezcla 50%/50%) y la tercera 65% lodos de desecho y 35% residuo verde particulado, se hicieron 6 lechos de dimensiones 2 m. de largo por 1 m. de ancho y 0.45 m. de alto los cuales estuvieron cubiertos, 3 de estos lechos fueron usados como controles y los otros 3 se usaron para los experimentos adicionándoles las lombrices.

En esta experiencia se concluyó que la lombricultura reduce patógenos, virus entéricos y huevos de helminto a una tasa mucho mayor que la disminución natural ocurrida en los controles (EPA, 1997).



CAPITULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materiales

El listado de materiales utilizados se anexa en el apéndice N°1.

3.2. Metodología

En la Figura N°7, se muestra un diagrama donde se divide la Metodología en dos fases.

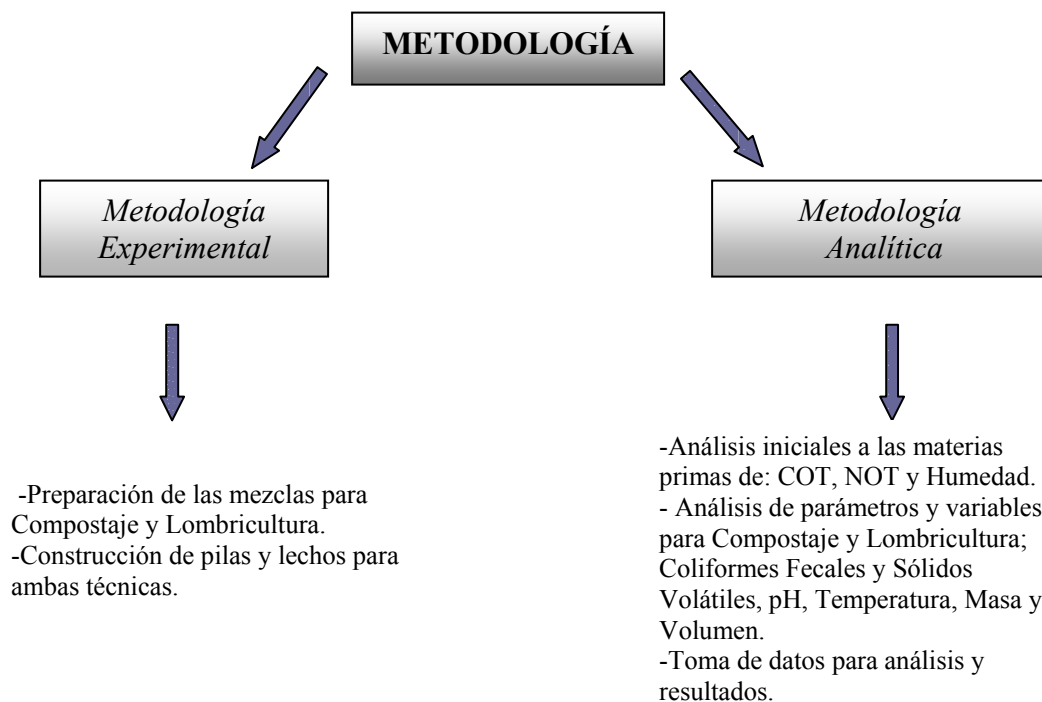


Figura N°7: Fases de la Metodología.

La metodología experimental consistió en la preparación de las mezclas que se utilizaron para llevar a cabo las técnicas de Compostaje y Lombricultura, así como también la construcción de pilas y lechos para ambos procesos. Por otro lado, también se utilizó para la toma de muestras necesarias para realizar los diferentes tipos de análisis.



La metodología experimental se llevó a cabo en el criadero de lombrices Lombricultura Pachamama S.A, ubicado en el sector de Lajarillas, Con – Con.

El lodo, compost maduro y el aserrín utilizados en esta experiencia, fueron otorgados por el Sr. Fernando Alcázar que presta sus servicios a la empresa Gestión Ambiente S.A.

Se utilizó compost reciclado y el aserrín como materiales esponjantes y aportadores de carbono ya que se basó en los resultados obtenidos por Aveldaño et al, 2004 que denotaron que dichos materiales eran con los que se obtuvieron mejores resultados para la técnica del compostaje, puesto que generaron una mejor homogenización de la mezcla, lo que implicó un menor número de volteos y la obtención de compost maduro en menor tiempo.

La metodología analítica consistió en la realización de los análisis iniciales a las materias primas utilizadas en ambas experiencias (COT, NOT y Humedad). Una vez realizadas las mezclas se analizaron los parámetros y las variables tanto para compostaje como lombricultura (Coliformes Fecales, Sólidos Volátiles, pH, Temperatura, Masa y Volumen).

Una vez llevado a cabo todos los análisis señalados en la etapa analítica, se procedió a la recolección de los datos obtenidos para la interpretación de resultados.

3.2.1. Análisis al Lodo, Compost maduro y Aserrín.

Se realizaron análisis de Carbono Orgánico Total, mediante el método de Oxidación Crómica. (Ver Apéndice N°2). Además, se analizó el Nitrógeno Total por el método del fenato (Ver Apéndice N°3) y la Humedad (Ver Apéndice N°4) del lodo, compost maduro y aserrín. Estos datos permitieron determinar las relaciones C/N de cada uno de los materiales y a su vez realizar el balance de masa para calcular la proporción en la cual debían ser mezclados, con el fin de lograr una mezcla que tuviera una relación C/N regulada entre 25 y 30 (Kiely, 1999) y una humedad regulada entre 50 y 60 %, para el caso del compostaje (Tchobanoglous, 1994 a). Cabe destacar que para el caso de Lombricultura, se debe realizar un precompostaje que requiere de los mismos rangos óptimos señalados anteriormente, es decir, la relación C/N debe estar entre 25 y 30 y la humedad entre 50 y 60%, luego al



inocular las lombrices al sustrato precompostado el rango óptimo de humedad debe oscilar entre 70 y 85%, siendo el valor óptimo 75% (Bollo, 2001).

La ecuación utilizada es la siguiente:

$$R = \frac{A1 [B1 (100-H1)] + A2 [B2 (100- H2)]}{A1 [N1 (100- H1)] + A2 [N2 (100- H2)]} \quad (\text{Aveldaño, et al., 2004})$$

Donde

R = Relación C/N de la mezcla

An = Masa del material n

Bn = % de carbono del material n

Nn = % del nitrógeno del material n

Hn = % de humedad del material n

3.2.2. Experiencia de Compostaje.

Para estudiar el efecto del compostaje como técnica de tratamiento de lodos secundarios se realizaron 2 tipos de pilas A y B, mediante el método de pilas volteadas.

Para entender mejor el proceso y facilitar mas adelante la comparación entre las etapas de compostaje y lombricultura, se separó este proceso en dos fases:

- 1) Fase de Fermentación, donde se produce la máxima degradación y estabilización de la materia orgánica.
- 2) Fase de Maduración y Secado, donde se reduce la actividad microbiana y se estabiliza el pH.

A continuación se muestra un esquema de las etapas del proceso de compostaje con sus respectivos períodos de tiempo:

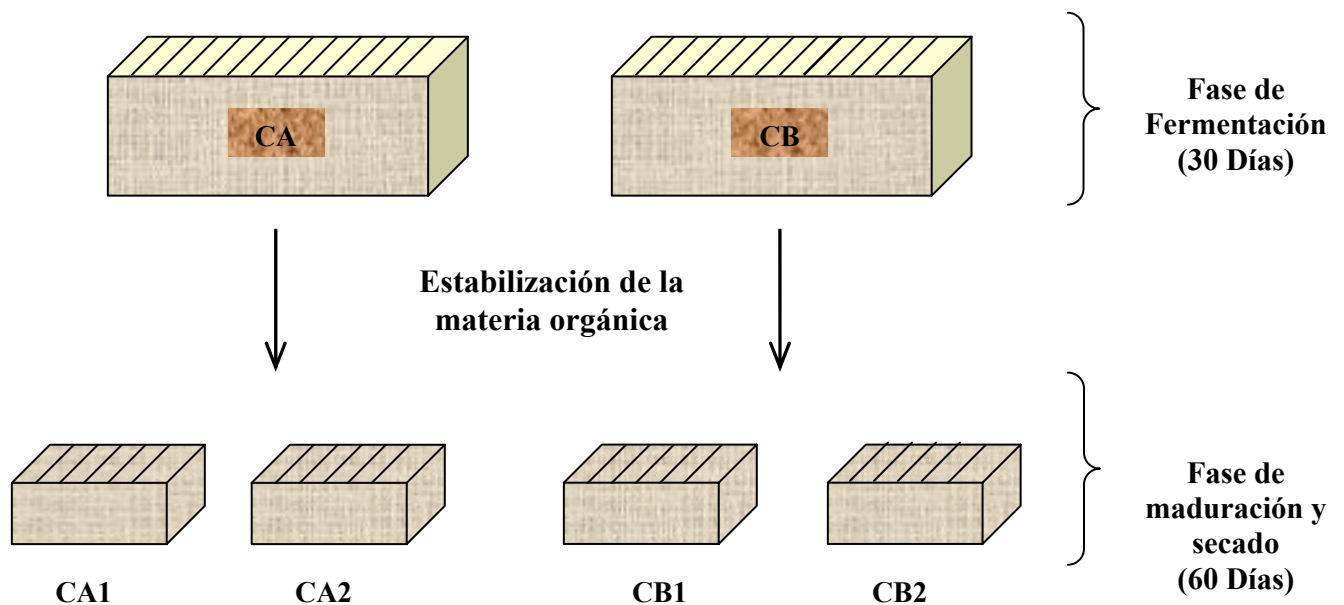


Figura N°8: Fases del proceso de Compostaje.

Para la primera pila de compostaje, se utilizó lodo secundario y aserrín, este último tiene dos cualidades, sirve como material de enmienda, es decir regula la relación C/N y además es útil como material de soporte, favoreciendo la aireación dentro de la mezcla. A este tipo de pila se le reguló la humedad. Se le llamó Compost A ó CA.

Al segundo tipo de pila se le reguló la humedad y se conformó de lodo y compost maduro, este último tiene el fin único de ser promotor del compostaje sin el cuál éste no se habría producido. A este tipo de mezcla se le llamó compost B ó simplemente CB.



3.2.2.1 Soportes para las pilas de Compostaje:

Los soportes de las pilas utilizadas para la experiencia de compostaje en la etapa de fermentación fueron cajas de plástico. En su interior se colocó una base de plástico con perforaciones para permitir posibles percolados. Las dimensiones de los soportes, sin importar su tipo, fueron: 0.5 m de ancho, por 0.7 m de largo por 0.4 m de alto. A continuación se muestra un esquema de las cajas:

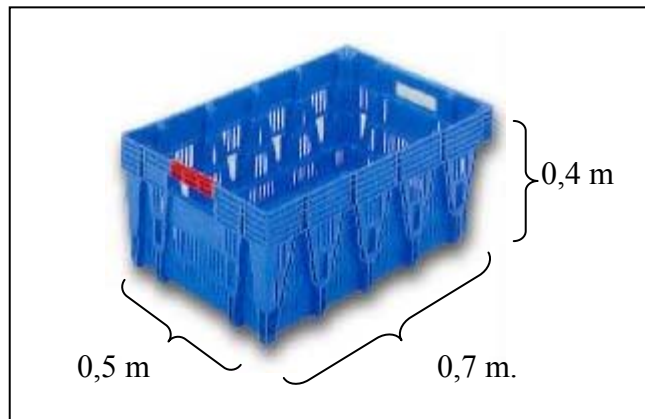


Figura N°9: Dimensiones de las cajas para la etapa de fermentación.

Para la etapa de maduración y secado del compost se utilizaron cajas de plumavit pequeñas de dimensiones 0.18 m de ancho, por 0.3 m de largo por 0.1 m de alto. A continuación se muestra un esquema de las cajas:

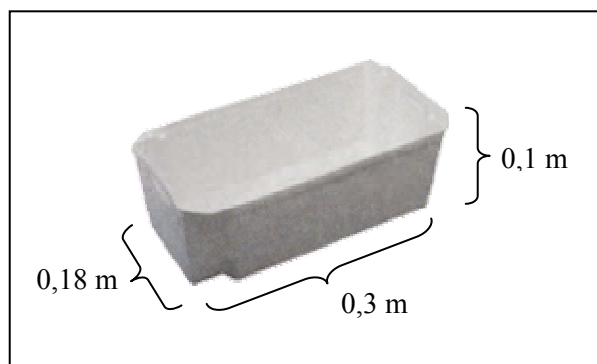


Figura N°10: Dimensiones de las cajas para la etapa de maduración y secado.



3.2.2.2. Establecimiento de las Pilas de Compostaje.

Una vez conocidos los datos de los análisis iniciales realizados al lodo, compost maduro y aserrín en cuanto al contenido de carbono y nitrógeno; y del balance de masa de estos para obtener la relación deseada, se procedió a mezclar los materiales en las siguientes proporciones mostradas en la tabla:

Tabla N°1: Proporciones de material mezclado en Pilas de Compostaje.

Tipo de Compostaje	Material	Partes (en masa)
Compost A	Lodo	8
	Aserrín	1
Compost B	Lodo	1
	Compost Maduro	4

3.2.2.3 Parámetros de Control en el Compostaje:

Los parámetros a controlar en el Compostaje, se mantuvieron dentro de los rangos establecidos para las distintas etapas del proceso. A continuación se presenta una tabla con los parámetros y la periodicidad con que fueron medidos:



Tabla N°2: Parámetros de Control en Compostaje.

Tipo de Compostaje	Parámetro Controlado	Período de control
Compost A	Relación C/N	Sólo inicialmente
	% de Humedad	Cada 5 días
	Aireación	Cada 3 días
Compost B	Relación C/N	Sólo inicialmente
	% de Humedad	Cada 5 días
	Aireación	Cada 3 días

Para asegurar que la humedad se mantuviese dentro del rango deseado, se realizaron los análisis semanalmente durante todo el período que duró la experiencia de compostaje, cuidando que se mantuviera dentro de un rango óptimo correspondiente a 50-60%.

La aireación se realizó mediante volteo periódico efectuado manualmente a cada una de las pilas, cada 3 días mientras la temperatura estuviera a ó sobre 40°C, es decir en la etapa termofílica, con el fin de evitar un aumento brusco de la temperatura que pueda calcinar el material, luego de esto se volteó cada 1 semana y más tarde cada 1 mes.

3.2.2.4 Medición de Variables del Compostaje:

La medición de variables en el tiempo se llevó a cabo con diferente periodicidad según el tipo de variable, y estas fueron las mismas para ambos tipos de compostaje como se aprecia en la siguiente tabla:



Tabla N°3: Variables y periodicidad de control para pilas de Compostaje.

Tipo de Compostaje	Variable	Periodicidad de Medición
Compost A y B	Temperatura de la pila	Cada 5 días
	pH	Cada 5 días
	Sólidos volátiles	Semanalmente
	Coliformes fecales	Semanalmente
	Masa	Inicial y final
	Volumen	Inicial y final

3.2.2.5 Medición de Temperatura y pH en pilas de Compostaje.

Se midió semanalmente la temperatura de las pilas con un instrumento digital Hanna Instruments, modelo HI 8915 que contempla rangos de temperatura de 0 °C / 100°C, (Ver Apéndice N°7); la medición se realizó en 3 puntos distintos en un corte transversal al centro de la pila, puesto que se trata de la zona donde se produce en forma efectiva la fase termofílica y mesofílica del proceso. Luego de medir en estos 3 puntos se procedió a calcular el promedio de ellos obteniendo un único valor.

A continuación se muestra la figura con los puntos de medición:

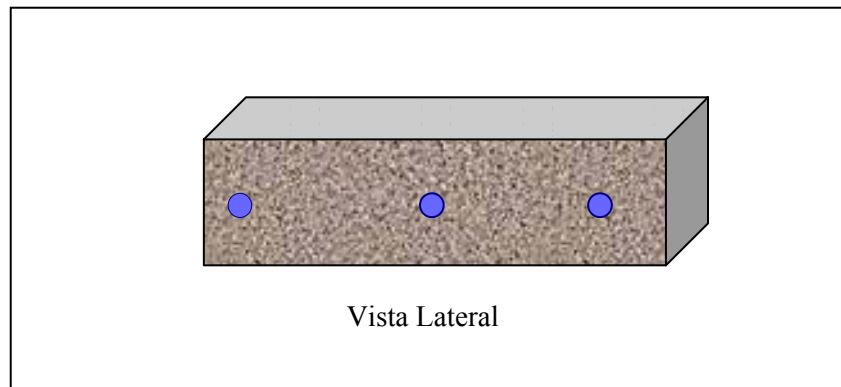


Figura N° 11: Puntos de medición de temperatura y pH en las pilas de fermentación y maduración de Compostaje.



3.2.2.5.1. Medición de pH.

Para la medición de esta variable, se utilizó el mismo instrumento descrito en el punto anterior, el cual lee valores de pH entre 0 y 14. Se obtuvieron muestras en los mismos puntos donde se tomó para el caso de la temperatura (Ver figura N°11), y por consiguiente de la misma forma se obtuvieron valores promediando las mediciones de los 3 puntos obteniendo así un valor final de pH.

3.2.2.6. Medición de Sólidos Volátiles y Humedad.

La medición de Sólidos Volátiles (Ver Apéndice N°5) y de la Humedad (Ver Apéndice N°4), se realizó tomando muestras en los puntos de la figura 7 homogenizándolas para obtener una muestra final a la cual se le hicieron los análisis, esto se hizo por duplicado para cada una de las pilas de Compostaje.

3.2.2.7. Medición de Coliformes fecales.

Los análisis de coliformes fecales (Ver Apéndice N°6) se realizaron con la técnica de los tubos múltiples (INE, 1995) y los resultados fueron expresados como MNP de coliformes fecales/gramo de lodo base seca. Las muestras se tomaron del mismo modo que se menciona en 3.2.2.6.

3.2.3. Experiencia de Lombricultura

De modo similar al caso del compostaje, se utilizó la técnica de lombricultura para tratar los lodos secundarios, montando también dos tipos de lechos.

Se debe señalar que para el proceso de Lombricultura se realizó un precompostaje para estabilizar el sustrato con el objetivo de no dañar a las lombrices, puesto que el material en el cual se deben inocular debe haber pasado por la etapa de fermentación, de esta forma se asegura el buen funcionamiento, metabolismo y reproducción de las lombrices y por ende el éxito de esta biotécnica.



Una vez que el sustrato se estabilizó, se procedió a realizar una prueba de supervivencia para las lombrices durante una semana, con el fin de determinar si el material precompostado presentaba las condiciones favorables para que éstas fueran inoculadas al sustrato. Transcurrida esta semana y comprobado que el material era apto y favorable para las lombrices, se procedió a inocularlas en los lechos destinados para el proceso de lombricultura.

A continuación se presenta un esquema que explica el período de precompostaje y el proceso de Lombricultura una vez inoculadas las lombrices.

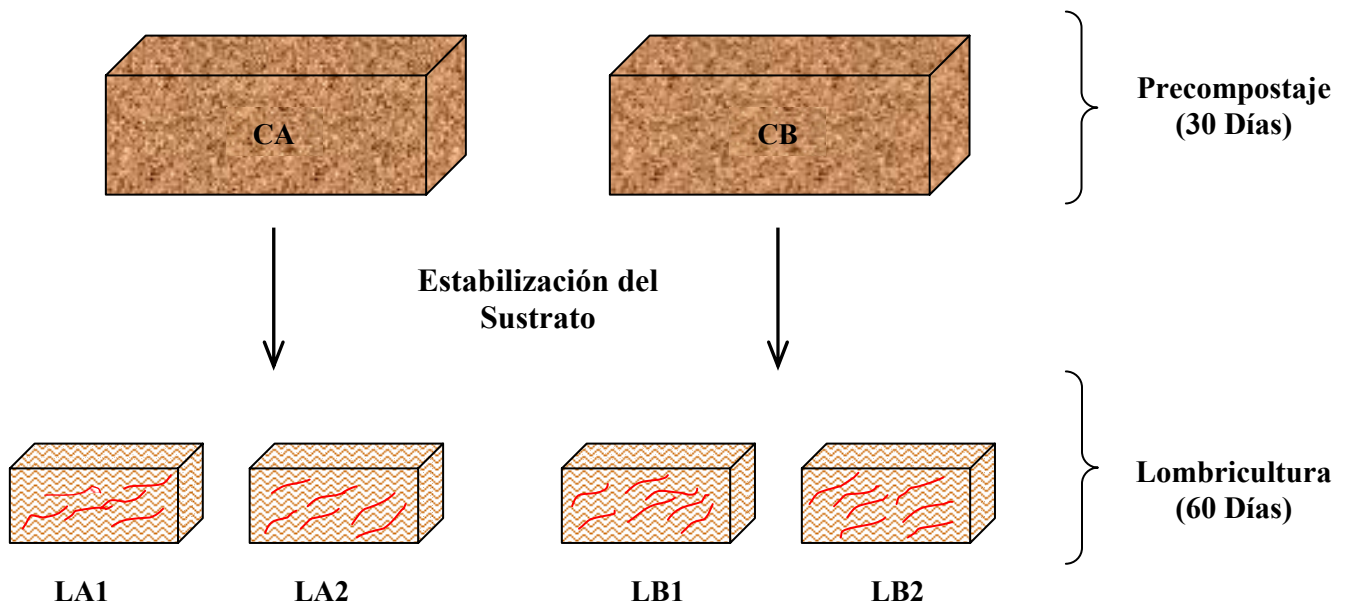


Figura N°12: Etapas del proceso de Lombricultura.

Para la etapa de precompostaje de lombricultura se procedió a mezclar las materias primas; aserrín/lodo y compost maduro/lodo, en proporciones que determinen una relación C/N regulada en 25 y una humedad entre 50 y 60%.



Los dos tipos de lechos se constituyeron de la siguiente manera:

- a) En el primer tipo de lecho se reguló la relación C/N inicial de la mezcla en 25, la cual tiene los mismos materiales que el compostaje: lodo y aserrín. Además se regularon otros parámetros para la mejor residencia de las lombrices en el sustrato, tales como: el pH, cuyo rango deseado debe estar entre 6.5 y 7.5; la humedad óptima entre 75 y 85%, y la temperatura que debe oscilar entre los 19-20 °C. Este tipo de lecho fue llamado y rotulado como Lombricultura A o simplemente LA (LA1 y LA2 por duplicado).
- b) En el segundo tipo de pila, se regularon los mismos parámetros que para la lombricultura A y está conformada por una mezcla de lodo y compost reciclado. Este tipo de lecho se le llamó y rotuló como Lombricultura B ó LB.

3.2.3.1. Construcción de pilas de precompostaje y lechos de Lombricultura.

Los soportes de las pilas utilizadas para la experiencia de precompostaje fueron las mismas que se utilizaron en el proceso de compostaje tratado en el punto 3.2.2.1

En la etapa de la inoculación de lombrices, se utilizaron cajas de plumavit para ambos tipo de lechos (LA y LB). Este tipo de lecho tuvo una cubierta de plumavit con el fin de proteger a las lombrices de la luz solar, de temperaturas bajas y de posibles depredadores. Los soportes de los lechos utilizados para la experiencia de lombricultura fueron las mismas que se utilizaron en el proceso de compostaje tratado en el punto 3.2.2.1

3.2.3.2. Establecimiento del sustrato para los lechos de lombricultura.

Conocidos los valores iniciales realizados a las materias primas en relación al contenido de carbono, nitrógeno y humedad; se procedió a mezclar los materiales en las mismas proporciones mostradas en el punto 3.2.2.2., de manera que la relación C/N resultante se regulara en 25 y la humedad se mantuviera en un 60%, tanto para el caso de Precompostaje A como Precompostaje B.



3.2.3.3. Inoculación con lombrices.

Una vez que el material se encontró estabilizado, se inocularon 250 lombrices de la especie *Eisenia foetida* por $5,4 * 10^{-3} \text{ m}^3$ correspondiente al volumen de cada caja de plumavit, entre las que se encontraba lombrices jóvenes y adultas.

3.2.3.4. Control de parámetros óptimos para la lombricultura.

El control de parámetros óptimos en la lombricultura tiene mucha importancia, puesto que las lombrices son sensibles a varios factores físicos que determinan el buen funcionamiento del proceso. A continuación se muestra una tabla con los controles mencionados:

Tabla N°4: Parámetros de control en lombricultura.

Tipo de lombricultura	Parámetro Controlado	Periodicidad de Medición
Lombricultura A y B	Relación C/N	Sólo inicialmente
	% de Humedad	Semanalmente
	pH	Cada 5 días
	T°	Cada 5 días
	Aireación	Semanalmente

A diferencia del compostaje, en la lombricultura, la temperatura y el pH no son variables, sino parámetros que deben mantenerse en un rango óptimo, para lo cual, los valores de pH se mantuvieron siempre entre 6,5 y 7,5. El contenido de humedad osciló entre el 75-85%, lo cual corresponde al rango óptimo de este parámetro estimado para la lombricultura. El parámetro de la temperatura no tenía manera de ser ajustado a un óptimo; favorablemente, las condiciones climáticas naturales hicieron que este parámetro se mantuviera muy cercano a la de la temperatura ambiente y dentro de los valores que no son perjudicables para el correcto desempeño de las lombrices.

3.2.3.5. Medición de Temperatura, pH y Humedad en Lombricultura.

Para la medición de la temperatura y pH de los lechos, al igual que en el caso del compostaje, se tomaron muestras en 3 puntos como se muestra en la Figura 11, promediando estos valores con el fin de conseguir un valor final para estos parámetros.

Para el cálculo de la humedad (Ver Apéndice N°4), al igual que en el caso del compostaje, se logró obteniendo muestras en los puntos de la figura 9 homogenizándolas para conseguir una muestra final a la cual se le calculó el contenido de humedad, esto se hizo por duplicado para cada una de los lechos de Lombricultura.

En la siguiente figura se muestran los puntos de medición.

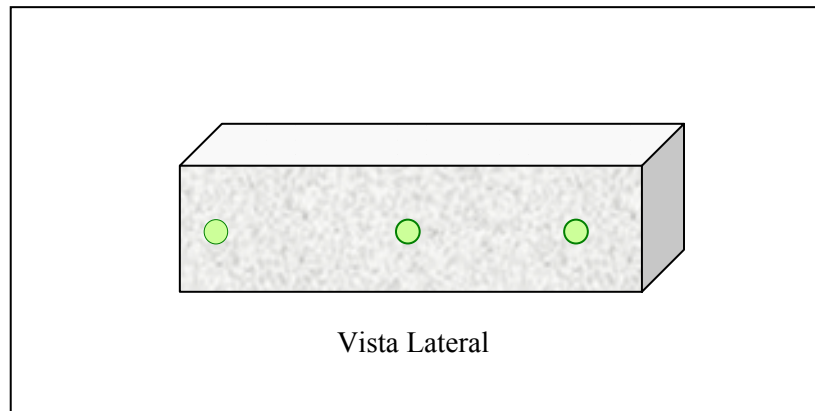


Figura N°13: Puntos de medición en los lechos de lombricultura.

3.2.3.6. Medición de Variables en la Lombricultura.

Al igual que en el Compostaje, la medición de variables para la lombricultura; Sólidos Volátiles, Coliformes Fecales, Masa y Volumen presenta las mismas periodicidades, a continuación se detalla cada una en la tabla:



Tabla N°5: Variables de la Lombricultura y su periodicidad de medición.

Tipo de Lombricultura	Variable	Periodicidad de medición
Lombricultura A y B	Sólidos Volátiles	Semanalmente
	Coliformes fecales	Semanalmente
	Masa	Inicial y final
	Volumen	Inicial y final

3.2.3.7. Separación final de las lombrices.

Finalmente, y una vez que se dio por terminado el período de lombricultura, se procedió a separar las lombrices del sustrato, para esto, se las atrajo hacia un extremo del lecho con residuos de fruta, consiguiendo que la mayor parte de las lombrices migrara rápidamente hacia estos, esto demoró 2 a 3 días, para luego ser retiradas en forma manual con el menor daño para ellas, con el fin de calcular los valores finales de masa y volumen de cada uno de los lechos de lombricultura.

3.2.3.8. Análisis realizados a los lechos de lombricultura.

La medición de Sólidos Volátiles (Ver Apéndice N°5) y de Coliformes Fecales (Ver Apéndice N°6) en la experiencia de Lombricultura, se realizó semanalmente y de la misma forma que en el caso del Compostaje. Por otro lado, la medición de masa y volumen sólo se realizó en forma inicial y final.



CAPITULO 4: RESULTADOS



4. RESULTADOS

4.1. Compostaje

De los análisis iniciales a la materia prima para el Compostaje y la Lombricultura se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N°6: Análisis iniciales al lodo, compost maduro y aserrín.

Material	% Carbón	% Nitrógeno	Relación C/N
Lodo	18.78	1.68	11.18
Compost Reciclado	51.35	1.98	25.93
Aserrín	60.16	0.12	501.3

Una vez obtenidos los datos de la Tabla N°6 se procedió a realizar el correspondiente balance de masa para mezclar los materiales y lograr una relación C/N regulada en 25 y una humedad entre el 50 % y 60 % para el período de Compostaje.

4.1.1. Medición de Temperatura y pH en pilas de Compostaje

La temperatura es la variable más importante para la correcta ejecución del proceso, a continuación se muestran las figuras de todas las pilas de Compostaje.

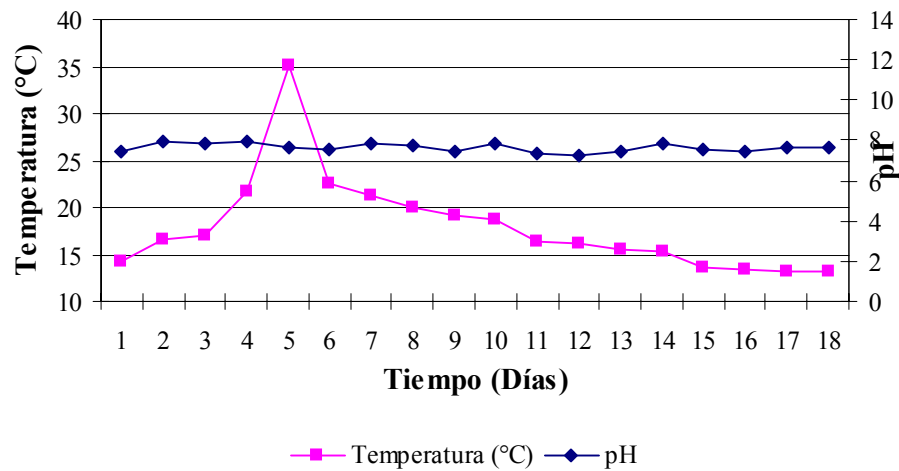


Figura N°14: Evolución de Temperatura y pH en Pila CA.

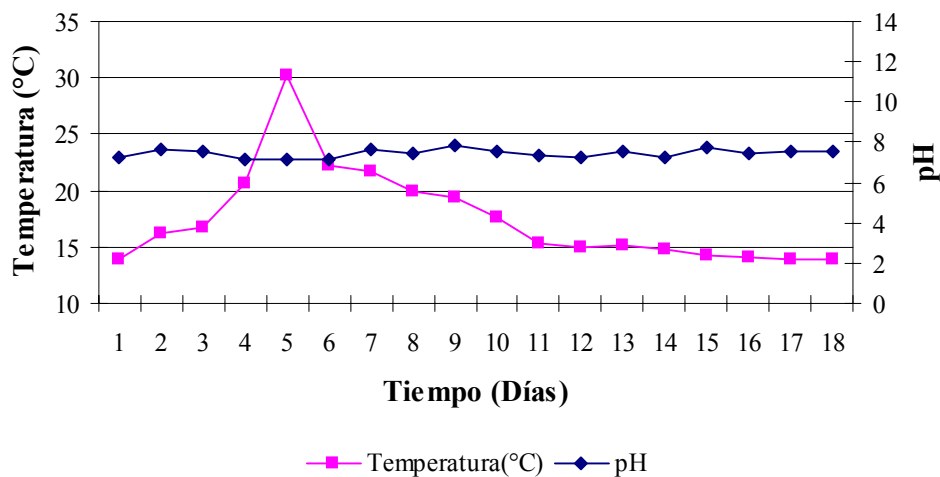


Figura N°15: Evolución de Temperatura y pH en Pila CB.

La temperatura alcanza su valor máximo alrededor del día 21 correspondiente a la etapa mesofílica del proceso de Compostaje, donde se registra para CA una temperatura de 35,1°C y 30,2°C para CB. Se observa que después de este período la temperatura va disminuyendo hasta alcanzar un promedio de 15°C para ambas pilas.

El pH final al cabo de 3 meses de proceso de las pilas de Compostaje no aparece graficado, pero éste llega a valores cercanos al neutro. Los pH finales de cada pila se muestran a continuación:



- Compostaje A1 : 7.23
- Compostaje A2 : 7.58
- Compostaje B1 : 7.74
- Compostaje B2 : 7.85

4.1.2. Control del Porcentaje de Humedad en Compostaje.

El porcentaje de humedad, uno de los parámetros más importantes para el Compostaje, se mantuvo dentro del rango óptimo planteado por la literatura en casi todos los casos.

En cuanto a la generación de percolados, estos no se generaron en ninguna de las pilas, en los 90 días de experimentación. Por otro lado, las pilas durante el proceso tendieron a perder humedad muy rápidamente, sin embargo, la adición de agua no hizo que se generaran líquidos percolados.

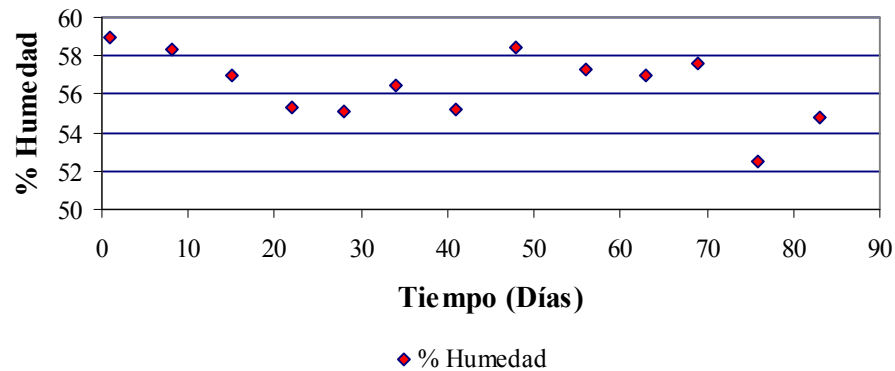


Figura N°16: Porcentaje de Humedad en Pila CA.

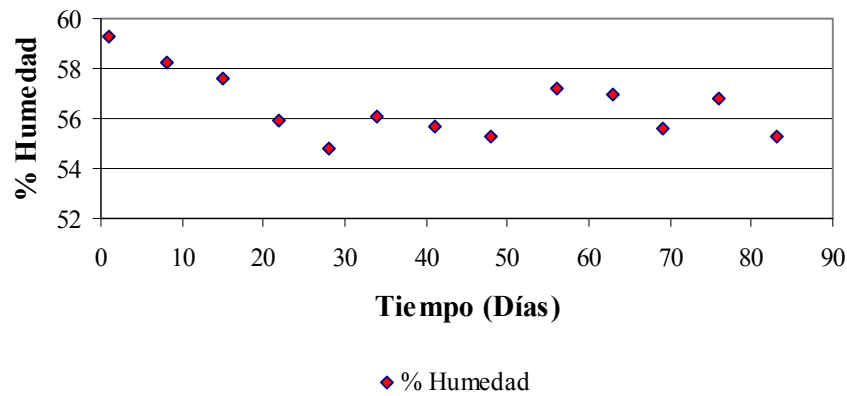


Figura N°17: Porcentaje de Humedad en Pila CB.

4.1.3. Medición de Masa y Volumen inicial y final en el Compostaje.

Para determinar el porcentaje de reducción en masa de todo el proceso de compostaje, se calculó el porcentaje de reducción de cada etapa (fermentación y maduración) determinando así la masa final de la mezcla.

Para el caso del volumen se calculó de igual manera que la descrita anteriormente.

- **Masa final = [Masa inicial * (100- X)] * (100 - Y)**
- **Volumen Final = [Volumen Inicial * (100-X)] * (100-Y)**

Donde;

X= % de reducción de la etapa de fermentación.

Y =% de reducción de la etapa de maduración y secado.

A continuación se muestra una tabla con las masas y volúmenes iniciales y finales del proceso de Compostaje:



Tabla N°7: Masa y Volumen inicial y final de las Pilas de Compostaje.

Pila de Compostaje	Masa Inicial (Kg)	Masa Final (Kg)	% Reducción de Masa	Volumen Inicial (m ³)	Volumen Final (m ³)	% Reducción Volumen
CA1	54.0	19.1	64.7 %	0.14	0.046	67%
CA2	54.0	19.5	63.9 %	0.14	0.043	69%
CB1	64.0	14.1	55.8 %	0.14	0.057	59%
CB2	64.0	14.4	55.0 %	0.14	0.055	61%

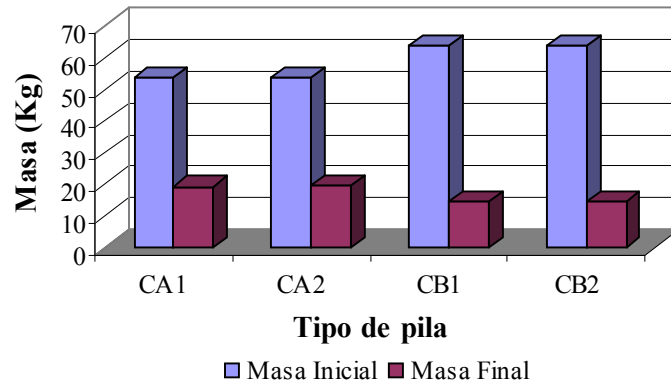


Figura N° 18: Reducción de Masa en Pilas de Compostaje.

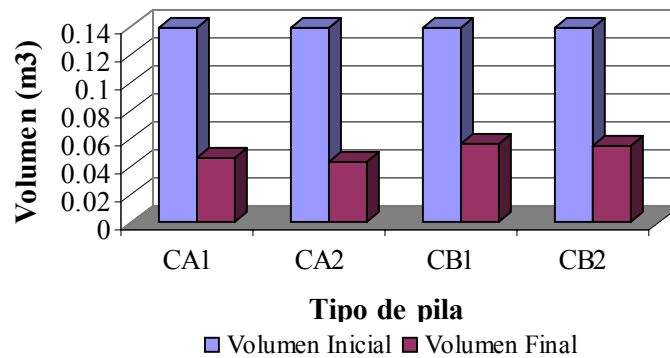


Figura N° 19: Reducción de Volumen en Pilas de Compostaje.



4.1.4. Medición de Sólidos Volátiles en las Pilas de Compostaje.

La medición de Sólidos Volátiles se realizó semanalmente y a continuación se muestran los resultados:

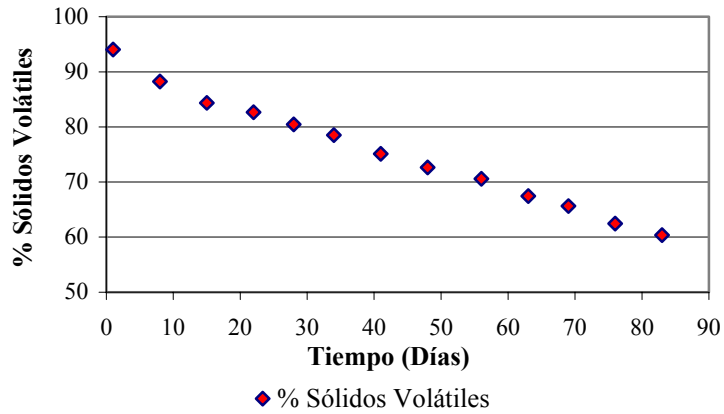


Figura N°20: Porcentaje de Sólidos Volátiles en Pila CA.

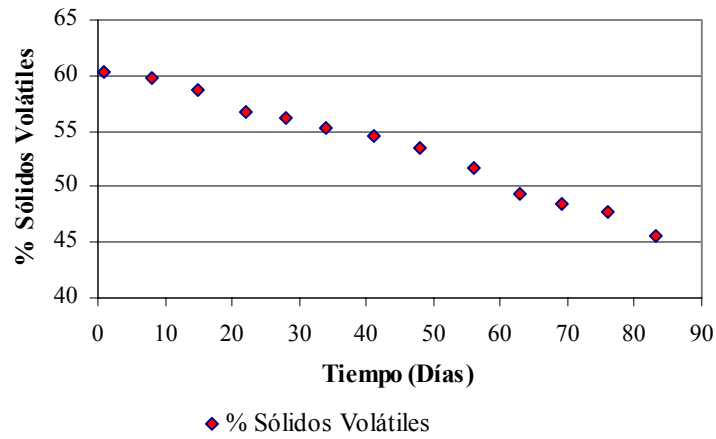


Figura N°21: Porcentaje de Sólidos Volátiles en Pila CB.

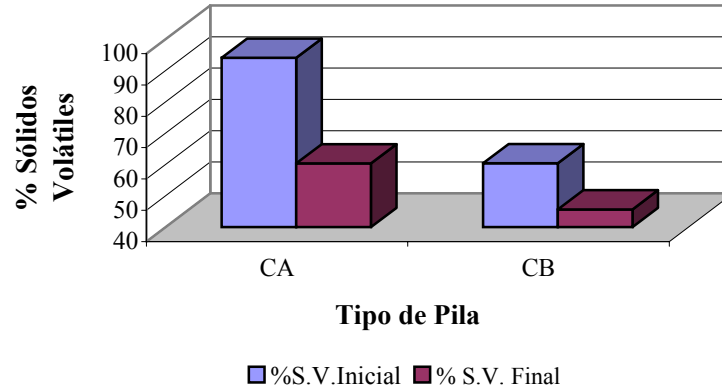


Figura N°22: Reducción de Sólidos Volátiles en Pilas de Compostaje.

Tal como se muestra en las figuras, el porcentaje inicial de sólidos volátiles registrado fue 94,05 % para la pila CA y 60,39 % para CB, el que durante la etapa mesofílica disminuyó a 82,65% y 56,75% para las pilas CA y CB respectivamente. Luego, la disminución del contenido volátil se hizo cada vez más evidente al transcurrir el tiempo de compostaje llegando a un valor final de 60,35% para CA y 45,65% para CB.

4.1.5. Medición de Coliformes Fecales.

De la medición semanal de coliformes fecales los resultados en cada pila, se muestran los siguientes gráficos, donde se aprecia la disminución del Número Más Probable (NMP) de Coliformes Fecales/g lodo base seca en el tiempo.

Tabla N°8: NMP de Coliformes fecales/g de lodo base seca en la Pila CA.

Día	NMP/g lodo Base seca
1	2.40E+04
8	2.40E+04
15	1.60E+04
22	9.20E+03
28	2.20E+03
34	1.40E+03
41	7.90E+02
48	4.90E+02
56	4.30E+02
63	2.70E+02
69	1.70E+02
76	9.00E+01
83	6.00E+01

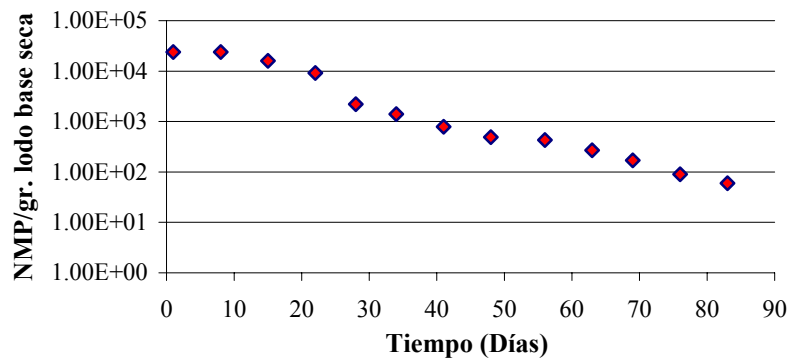


Figura N°23: Coliformes Fecales en Pila CA



Tabla N°9: NMP de Coliformes fecales/g de lodo base seca en la Pila CB.

Día	NMP/g lodo base seca
1	2.40E+04
8	2.40E+04
15	1.60E+04
22	1.60E+04
28	9.20E+03
34	5.40E+03
41	2.40E+03
48	2.20E+03
56	1.10E+03
63	9.40E+02
69	6.30E+02
76	4.60E+02
83	1.70E+02

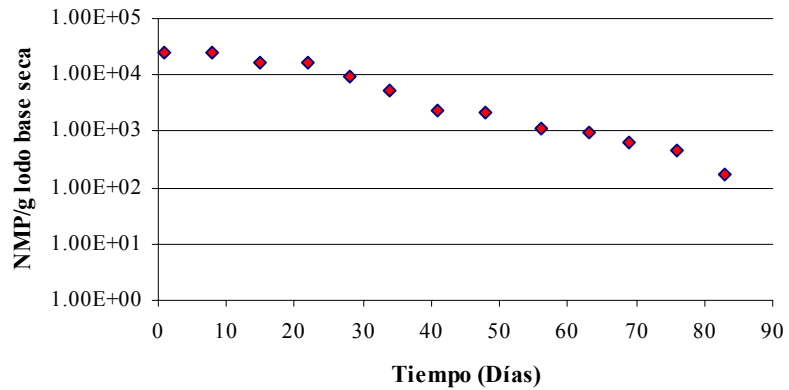


Figura N°24: Coliformes Fecales en Pila CB

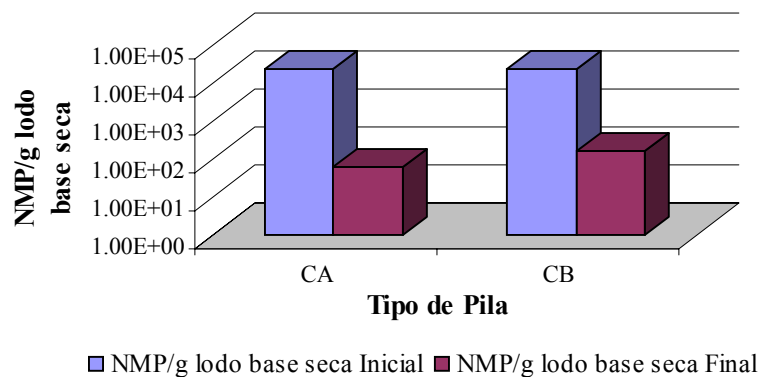


Figura N°25: Reducción de Coliformes Fecales en Pilas de Compostaje.

Se puede apreciar en las tablas N°8 y N°9 que la pila CA comenzó con una concentración de coliformes fecales de 24.000 NMP/gr lodo base seca, la que al cabo de 3 semanas disminuyó a 9.200 NMP/gr lodo base seca, para finalizar con un nivel de 60 NMP/gr lodo base seca. Por otro lado la pila CB empezó con la misma concentración de CA para llegar a un valor final de 170 NMP/gr lodo base seca al final del proceso de compostaje.



4.2. Lombricultura

Los resultados obtenidos se dividieron en 2 etapas, puesto que para realizar esta biotécnica se necesita realizar un precompostaje con el fin de no dañar a las lombrices en el momento de inocularlas al sustrato. Las etapas son:

- a) Etapa de Precompostaje.
- b) Etapa de Lombricultura.

4.2.1. Control de Temperatura y pH en Precompostaje.

Las mediciones de Temperatura y pH son parámetros muy importantes para la etapa de precompostaje, estos controles se realizaron semanalmente y a continuación se muestran las figuras que muestran la evolución de estos parámetros:

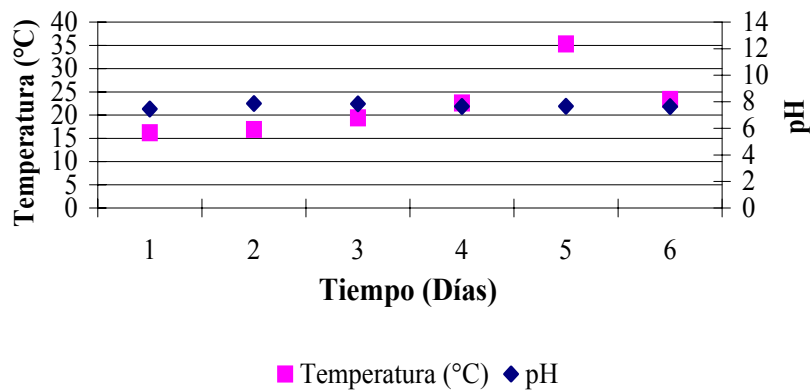


Figura N°26: Evolución de Temperatura y pH en pila CA de Precompostaje.

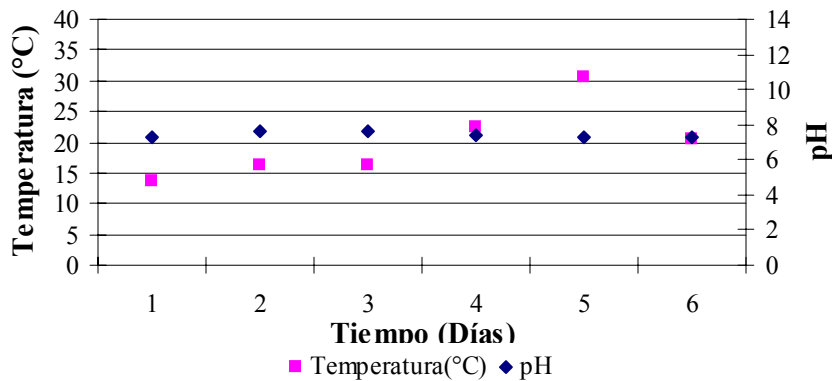


Figura N°27: Evolución de Temperatura y pH en pila CB de Precompostaje.



En estas figuras se aprecia que los valores no difieren mucho de los obtenidos en la etapa de Compostaje mostrados anteriormente en el punto 4.1.1. Se puede señalar que en la etapa de Precompostaje en la Lombricultura se obtienen valores muy similares al observar que la evolución tanto para la temperatura como el pH mantienen los mismos comportamientos.

4.2.2. Control del Porcentaje de Humedad en Precompostaje.

En los siguientes gráficos se muestran los resúmenes de los datos de la experiencia:

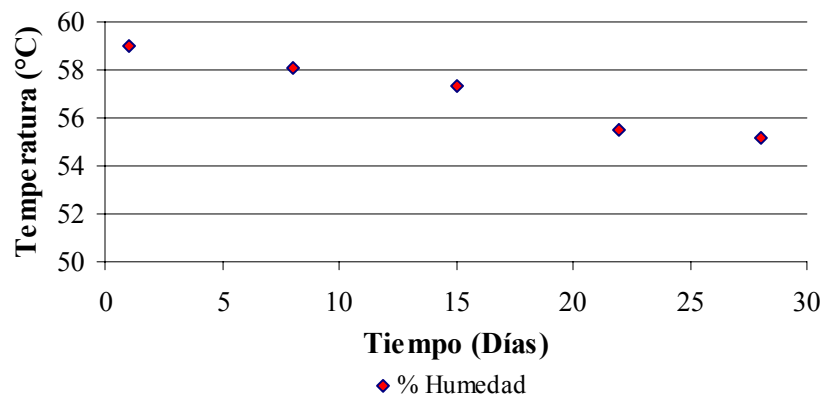


Figura N° 28: Porcentaje de Humedad en Pila CA en Precompostaje.

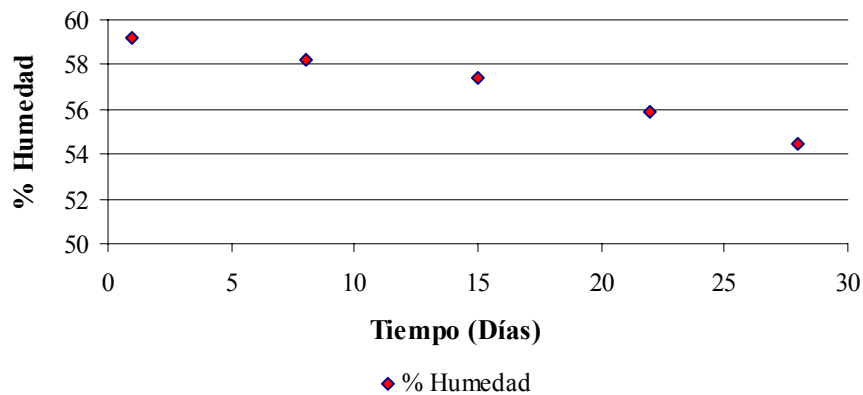


Figura N°29: Porcentaje de Humedad en Pila CB en Precompostaje.



4.2.3. Medición de Sólidos Volátiles en pilas de Precompostaje.

A continuación se grafican los resultados obtenidos en las distintas pilas:

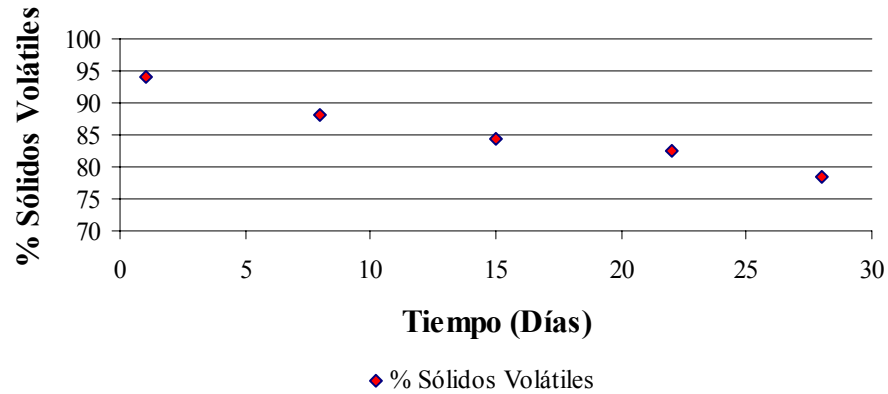


Figura N°30: Porcentaje de sólidos volátiles en pila de precompostaje CA.

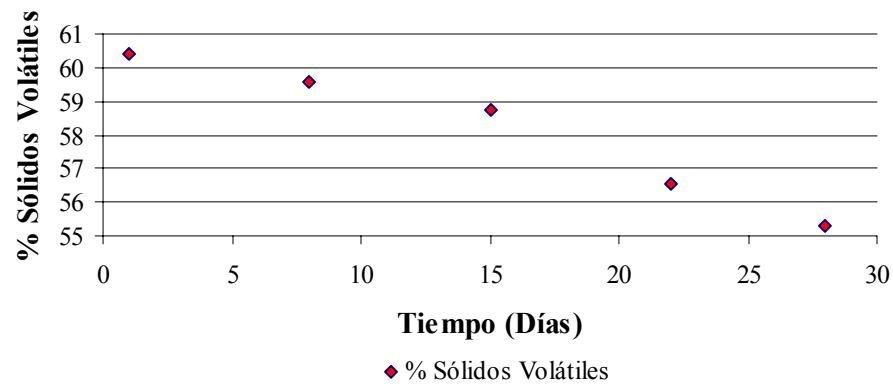


Figura N°31: Porcentaje de sólidos volátiles en pila de precompostaje CB.

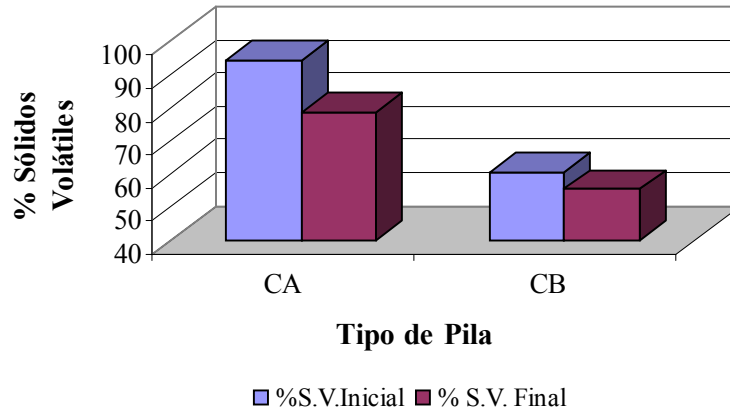


Figura N°32: Reducción de Sólidos Volátiles en pilas de Precompostaje.

En las figuras anteriores se observa una clara disminución del % de Sólidos Volátiles tanto en la pila CA como CB, y que esta reducción se acelera en la etapa mesofílica del proceso de Precompostaje alrededor del día 21.

4.2.4. Medición de Coliformes Fecales en pilas de Precompostaje.

De la medición de los Coliformes Fecales realizada semanalmente a cada una de las pilas de precompostaje se obtuvieron los datos tabulados y mostrados a continuación:

Tabla N° 10: Reducción de Coliformes Fecales en pila de precompostaje CA.

Días	NMP Colif.Fecales/g lodo base seca
1	2.40E+04
8	1.60E+04
15	9.20E+03
22	2.40E+03
28	1.40E+03

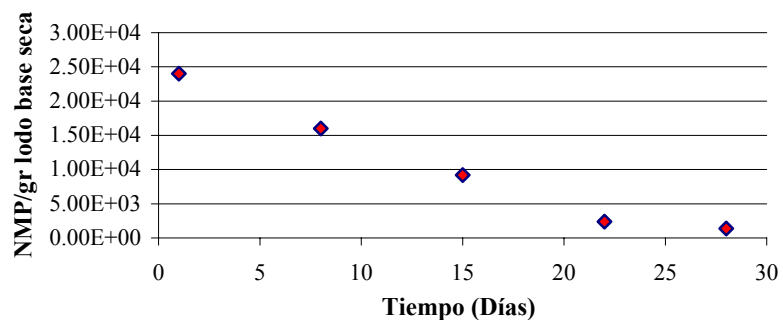


Figura N°33: Coliformes Fecales en pila de Precompostaje CA



Tabla N° 11: Reducción de Coliformes Fecales en pila de precompostaje CB.

Días	NMP Colif.Fecales/g lodo base seca
1	2.40E+04
8	1.60E+04
15	9.20E+03
22	9.20E+03
28	3.50E+03

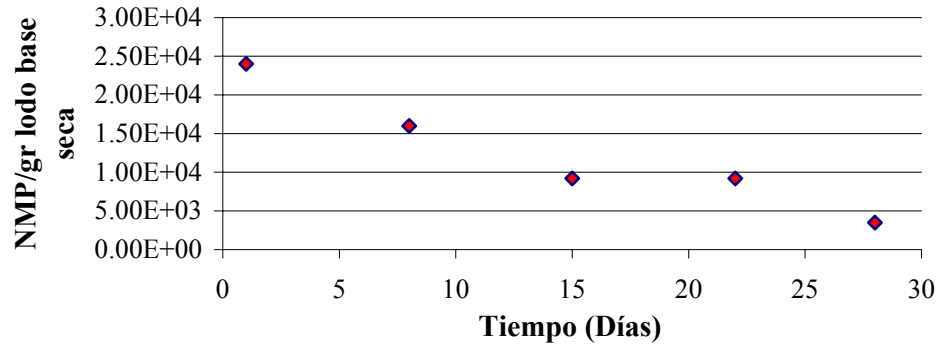


Figura N°34: Coliformes Fecales en pila de precompostaje CB

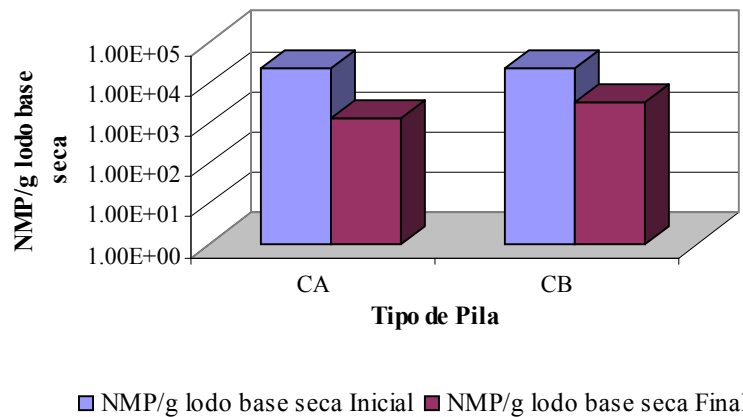


Figura N°35: Reducción Coliformes Fecales en pilas de Precompostaje CA y CB.

Se observa en las Tablas N°10 y N°11 que hay una clara disminución de Coliformes fecales en ambas pilas a medida que transcurre el período de precompostaje, y se distingue que la máxima reducción la logra la pila CA al transcurrir 1 mes de proceso.

4.2.5. Medición de Temperatura y pH en Etapa de Lombricultura.

Una vez inoculadas las lombrices al sustrato, se midió la temperatura y el pH a los distintos tipos de lechos. Estos controles se realizaron semanalmente durante los 60 días que duró esta etapa. A continuación se presenta de forma detallada estos resultados:

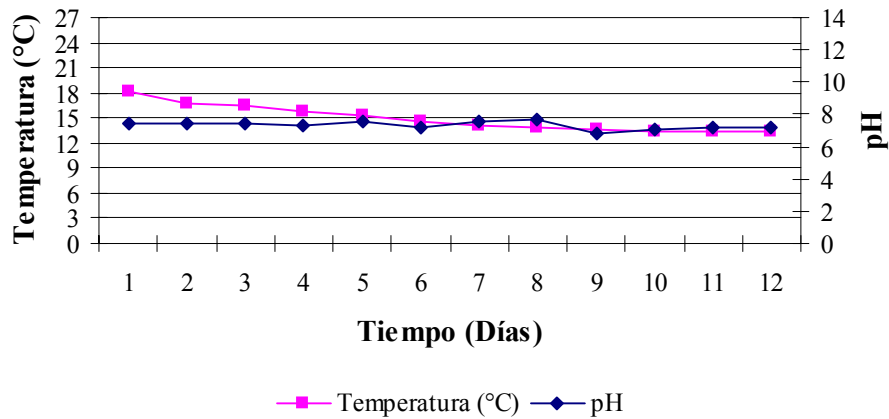


Figura N°36: Evolución de Temperatura y pH en lecho LA de Lombricultura.

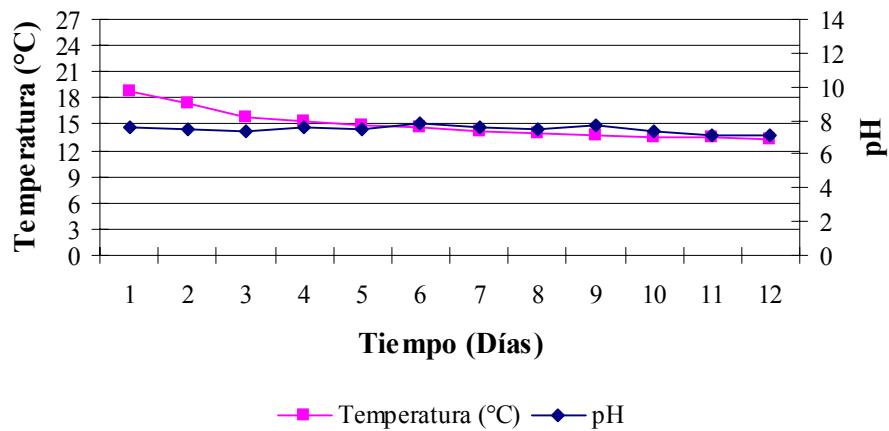


Figura N°37: Evolución de Temperatura y pH en lecho LB de Lombricultura.

En estas figuras se puede apreciar que el grado de acidez de los lechos LA y LB se mantiene dentro del rango óptimo para el proceso de Lombricultura. Por otro lado los registros de temperatura alcanzan valores promedios de 15-16°C.



4.2.6. Control del porcentaje de Humedad en Lombricultura.

El contenido de humedad que debe tener el sustrato es un parámetro muy importante para el proceso de lombricultura, ya que asegura un buen desempeño de las lombrices. En esta etapa, la humedad se mantuvo dentro del rango óptimo planteado por la literatura, que oscila entre el 70% y el 85%.

Cabe señalar, que en relación a la generación de líquidos percolados, estos no se generaron en ninguna de los lechos, en los 90 días de experimentación.

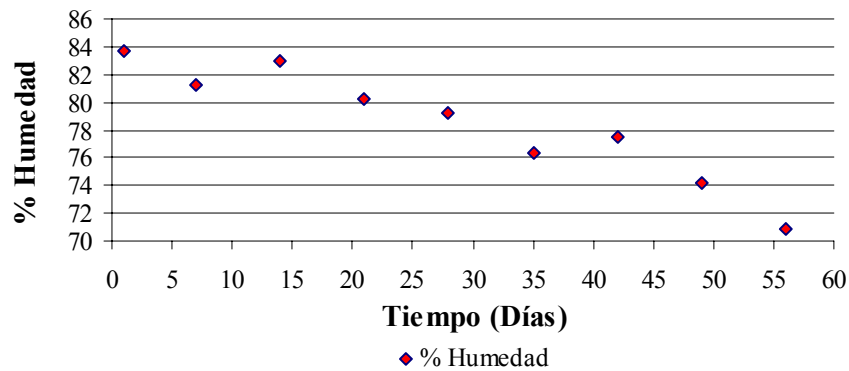


Figura N°38: Porcentaje de Humedad en lecho LA de Lombricultura.

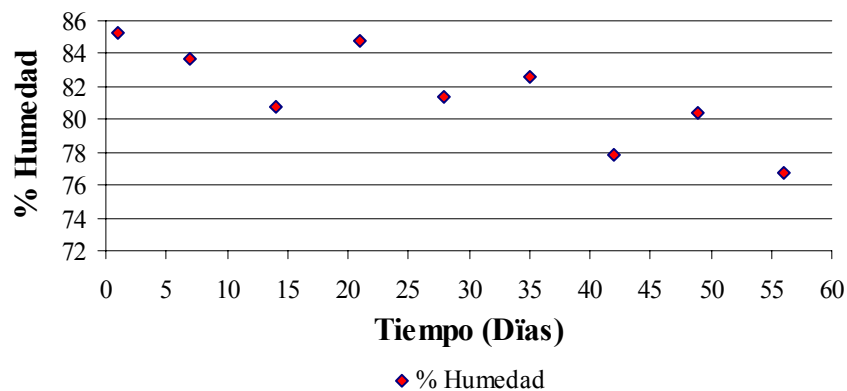


Figura N°39: Porcentaje de Humedad en lecho LB de Lombricultura.



4.2.7. Medición de Sólidos Volátiles en Lechos de Lombricultura.

La medición de sólidos volátiles se realizó semanalmente, obteniendo los siguientes valores que se muestran a continuación:

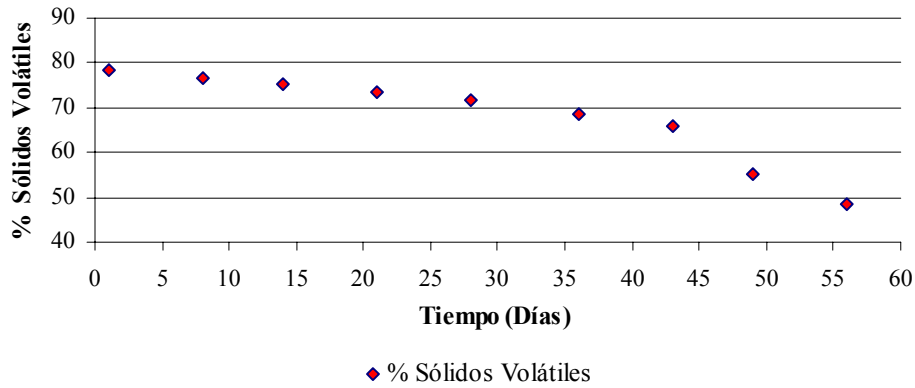


Figura N°40: Porcentaje de Sólidos Volátiles en lecho de Lombricultura LA.

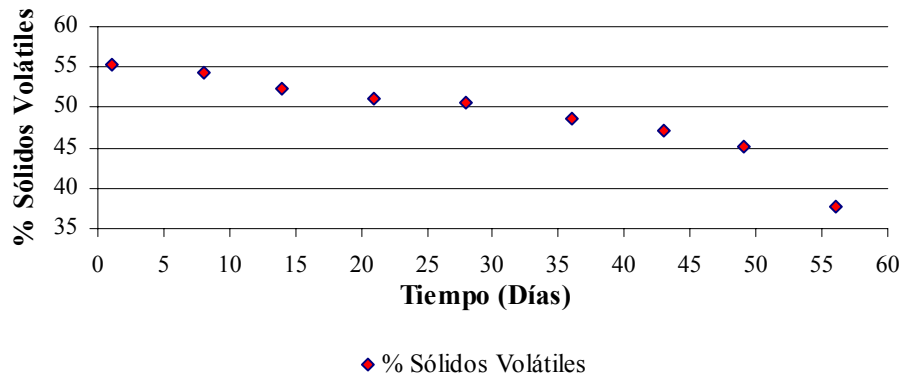


Figura N°41: Porcentaje de Sólidos Volátiles en lecho de Lombricultura LB.

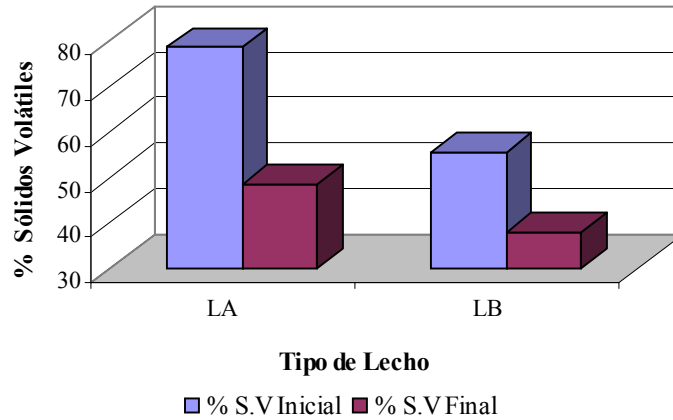


Figura N°42: Reducción de Sólidos Volátiles en lechos de Lombricultura.

Como se muestran en las figuras anteriores, el % Sólidos Volátiles en el lecho LA llega al final de la etapa de Lombricultura con un valor de 48,46% y un valor de 37,82% para el lecho LB.

4.2.8. Medición de Coliformes Fecales en Lombricultura.

Las mediciones de coliformes fecales fueron realizadas semanalmente para cada uno de los lechos, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla N°12: Reducción Coliformes Fecales en lecho LA.

Días	NMP Colif Fecales/g lodo base seca
1	1.40E+03
8	1.10E+03
14	7.90E+02
21	7.00E+02
28	6.30E+02
36	4.30E+02
43	2.10E+02
49	1.20E+02
56	2.00E+01

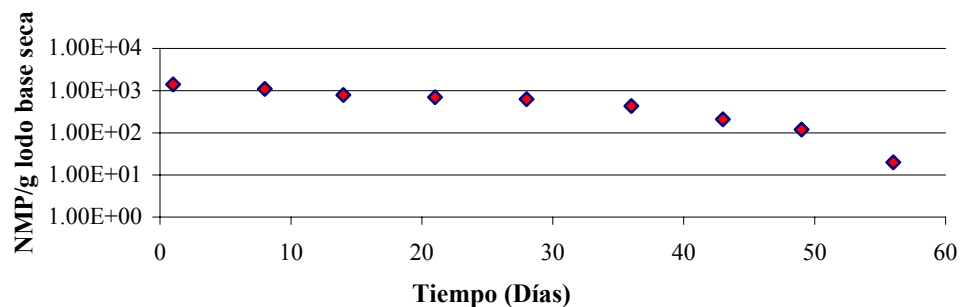


Figura N°43: Coliformes Fecales en Lecho LA



Tabla N°13: Reducción Coliformes Fecales en lecho LB.

Días	NMP Colif Fecales/g lodo base seca
1	3.50E+03
8	2.80E+03
14	2.20E+03
21	1.70E+03
28	1.40E+03
36	7.00E+02
43	2.10E+02
49	9.00E+01
56	4.00E+01

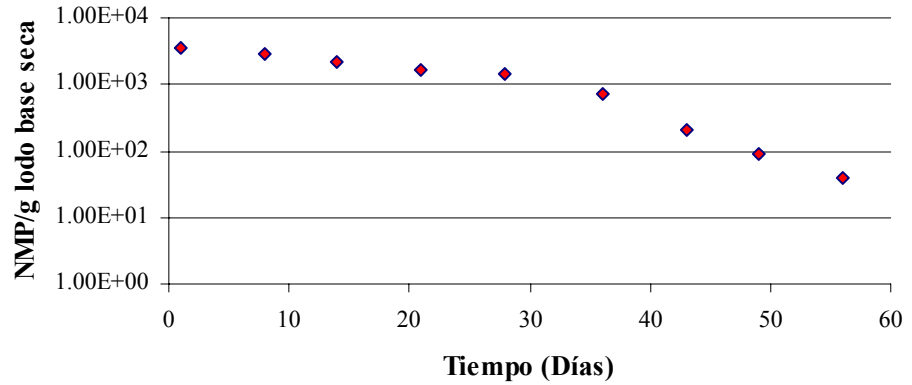


Figura N°44: Coliformes Fecales en Lecho LB

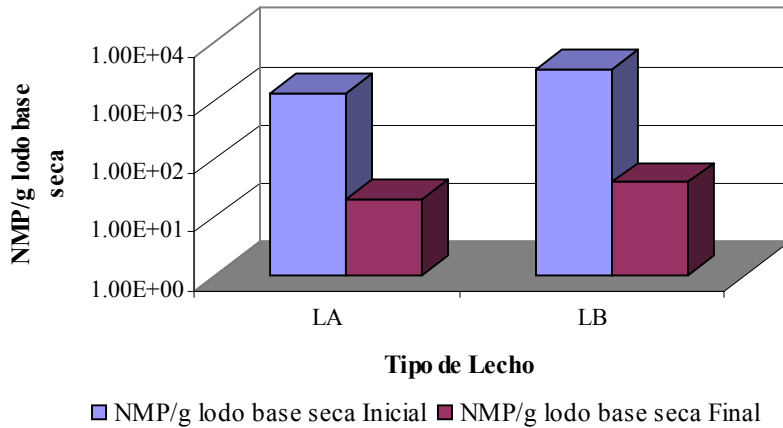


Figura N°45: Reducción Coliformes Fecales en lechos de Lombricultura.

En las Tabla N°12 y N°13 se muestra la reducción de Coliformes fecales en LA y LB, llegando a una concentración final de 20 NMP/gr lodo base seca y de 40 NMP/gr lodo base seca respectivamente para ambos lechos.



4.2.9. Medición de Masa y Volumen inicial y final en Lombricultura.

La reducción de masa y volumen también es una de las virtudes importantes en el proceso de lombricultura, si bien aquí no se produce un proceso termofílico, la digestión que realizan las lombrices contribuye a la reducción de estos parámetros físicos.

Al igual que en la técnica de Compostaje, se procedió a calcular la masa y el volumen de la misma forma que la descrita en el punto 4.1.3.

A continuación se muestra una tabla resumen con los datos obtenidos al inicio y al final de los dos procesos:

Tabla N°14: Masa y Volumen inicial y final del proceso de Lombricultura.

Lecho de Lombricultura	Masa Inicial (Kg.)	Masa Final (Kg.)	% Reducción de masa	Volumen Inicial (m ³)	Volumen Final (m ³)	% Reducción de Volumen
LA1	27.0	7.2	73.4 %	0.14	0.028	80%
LA2	27.0	7.5	72.3 %	0.14	0.029	79%
LB1	32.0	12.5	61.0 %	0.14	0.032	77%
LB2	32.0	12.3	61.5 %	0.14	0.035	75%

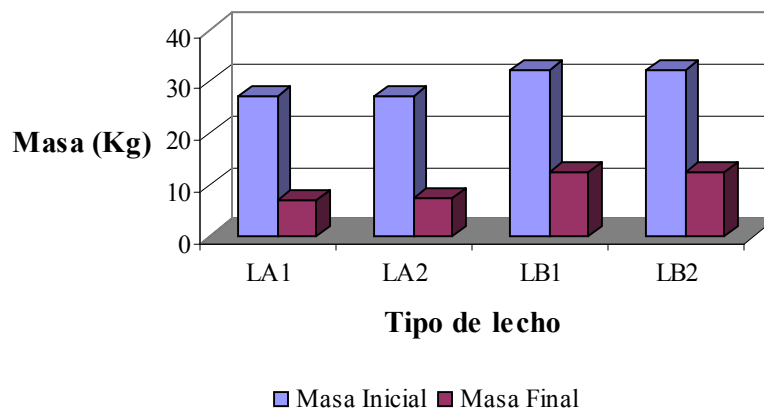


Figura N° 46: Reducción de Masa en Lechos de Lombricultura.

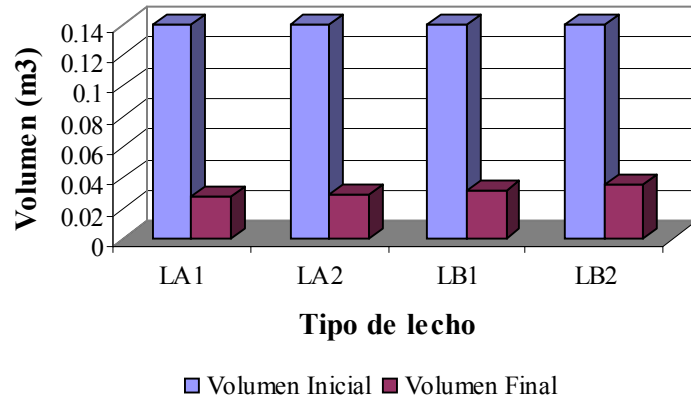


Figura N°47: Reducción de Volumen en Lechos de Lombricultura.



CAPITULO 5: DISCUSIONES



5. DISCUSIONES

Se puede mencionar que tanto en los compostajes del tipo A y B no alcanzaron a producirse las etapas termofílicas, esto es debido a que los volúmenes de las pilas no eran lo suficientemente grandes para alcanzar la temperatura óptima perteneciente a esta etapa (40 a 70°C). Sin embargo, en esta experiencia sólo llegó a producirse la etapa mesofílica, en que la temperatura de la pila de compostaje aumenta desde la temperatura ambiente hasta los 40°C donde predominan las bacterias mesofílicas productoras de ácidos y aparición de hongos (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 1999). La máxima temperatura se registró el día 21 del proceso de Compostaje con un valor que llegó a los 35,1°C para el caso de la pila CA y una temperatura de 30,2°C para CB, estos valores duraron aproximadamente 3-4 días, lo que imposibilitó que todo el volumen de las pilas se encontrara a la temperatura necesaria para la destrucción de organismos patógenos.

Al término de la etapa de fermentación y al entrar a la etapa de maduración y secado de las pilas, los registros de temperatura se mantuvieron cerca de los 15°C. Cabe señalar que los registros tomados en las pilas fueron realizados siempre por las mañanas, generalmente a las 8:00 am, hora donde se produce la temperatura ambiente mínima del día.

Se pudo apreciar además por los puntos en los cuales se tomaron las mediciones de temperatura como se muestra en Figura N°11, que esta no es uniforme en la pila, por el contrario, esta presenta un núcleo central de máxima temperatura el que va disminuyendo hacia los extremos (Aveldaño *et al.*, 2004). La evolución de la temperatura y el pH en los Compostajes tipo A y B no presentaron mayores diferencias lo que se puede apreciar claramente en las Figuras N°14 y N°15, los cuales son muy similares, lo que hace presumir que la regulación de la relación C/N en este tipo de pila con las dimensiones mencionadas y con los materiales utilizados no es un factor que determine diferencias en el comportamiento de estas variables.



En cuanto a los registros de pH obtenidos para cada una de las pilas de Compostaje, se puede mencionar que se mantuvieron durante todo el proceso dentro del rango óptimo, obteniendo un pH promedio de 7,6 para CA y 7,5 para CB, este parámetro es importante para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de residuos (Aveldaño *et al.*, 2004).

Por otro lado, el porcentaje de Humedad tanto para CA como para CB se mantuvo dentro de los rangos óptimos para el proceso de Compostaje (50%-60%) (Metcalf *et al.*, 1996 a). Se obtuvieron valores promedios para CA de 56,5% y para CB de 56%. Las variaciones de humedad registradas durante todo el proceso se puede apreciar en las figuras N°16 y N°17.

Una de las ventajas que presenta la técnica de Compostaje es la reducción de masa y volumen, en el caso de esta experiencia las pilas de Compostaje tipo A tuvieron una reducción en masa de aproximadamente 64% y las pilas tipo B una reducción de 55,4%. Esta aparente superioridad en la reducción de peso de las pilas A se da porque a pesar que este tipo de pila constaba de una mezcla de lodo y aserrín, materiales que al digerirse reducen rápidamente su masa, las pilas tipo B constaban además de lodo con compost maduro, el cual aporta mayor densidad a la mezcla, y no se degrada ni disminuye su masa en forma tan fácil y rápida. Las diferencias entre los dos tipos de Compostaje se aprecia visiblemente en la reducción de volumen donde las pilas tipo A alcanzan una reducción promedio de 68% y las pilas tipo B una reducción de 60%. Los efectos de la reducción de masa y volumen se pueden apreciar claramente en las figuras N° 18 y 19.

Los Compostajes de tipo A muestran una tendencia más clara a la reducción de sólidos volátiles, comparados con los del tipo B. Hay que recordar que los Compostajes tipo B poseen compost maduro lo que interfiere en la reducción de Sólidos Volátiles (% S.V), por ser un residuo de lenta degradación. La mayor reducción de sólidos volátiles se registró durante la etapa mesofílica alrededor del día 21 del proceso total de Compostaje. El valor máximo de sólidos volátiles obtenido experimentalmente para la pila CA ascendió a los 94,05% y a los 60,39% para CB para luego descender después de 90 días a un 60,35%



y 45,65% respectivamente, lo que evidencia una gran diferencia entre ambos tipos de compostaje.

Tal como se muestra en la Tabla N°8 y N°9, las pilas de Compostaje CA y CB registraron un valor máximo de 24.000 NMP/gr lodo base seca, la que al cabo de 90 días de proceso se redujo a 60 NMP/gr lodo base seca para CA y a 170 NMP/gr lodo base seca para CB, manifestando con estos resultados que la pilas de Compostaje A redujeron con mayor facilidad la cantidad de coliformes fecales que las pilas de Compostaje B.

El material esponjante y aportador de Carbono con el que se obtuvieron mejores resultados en la técnica de Compostaje es el aserrín (Compostaje A), este material genera una mejor homogenización de la mezcla, lo que implica un menor número de volteos y se obtiene una mayor reducción tanto de Coliformes Fecales como de Sólidos Volátiles a diferencia del Compostaje B, que si bien logra reducir los valores iniciales de estas dos variables, no alcanza a obtener el valor máximo de reducción alcanzado por el Compostaje A.

El control de temperatura para la experiencia de Lombricultura no representó un gran problema, salvo en la etapa de precompostaje donde se registra un alza en la temperatura producto de la fermentación del sustrato, la que se atenuó a los pocos días y que nunca sobrepasó niveles peligrosos para la lombriz ya que afortunadamente se dieron condiciones naturales que permitieron mantener la temperatura de todos los lechos cerca de los 15 - 20°C, si bien no es el rango óptimo para el buen desempeño de las lombrices (19 – 20°C) (Bollo, E. 2001), no las afectaron ni las perjudicaron durante todo el proceso de Lombricultura. A diferencia del Compostaje, los lechos de lombricultura presentan una temperatura uniforme en todo el volumen del sustrato lo que se puede evidenciar al observar las figuras de temperatura N°36 y N°37 donde la temperatura máxima medida casi se sobrepone a la temperatura promedio de los lechos.



En relación al tipo de material esponjante utilizado en la etapa de precompostaje en Lombricultura, tanto las mezclas realizadas con aserrín y compost maduro; se puede señalar que en todas ellas existe actividad biológica ya que las temperaturas superan los 30 °C. Las alzas de temperatura observadas en los residuos en fermentación se producen por las reacciones exotérmicas asociadas con el metabolismo respiratorio de los microorganismos en la mezcla (Aveldaño *et al.*, 2004)

Los controles de pH se mantuvieron cercanos al neutro, los valores máximos de pH registrados fueron de 7,48 y 7,58 para LA y LB respectivamente, y los valores mínimos llegaron a 7,11 para el caso del lecho LA y 7,38 para LB, lo que se puede apreciar en las figuras de Lombricultura.

El control del porcentaje de humedad en los lechos no presentó tampoco una gran dificultad, puesto a que a diferencia de lo que se pensaba, no perdieron agua con demasiada facilidad, es así como este parámetro se mantuvo en el rango óptimo (75 – 85%) en casi todos los casos, como se muestran en las figuras N°38 y N°39. Cabe señalar que no se produjeron líquidos percolados durante todo el proceso de Lombricultura, aún cuando se adicionaba agua en el momento del riego de los lechos.

La mayor y más rápida reducción del porcentaje de Sólidos Volátiles lograda en las experiencias de Lombricultura, permite apreciar que este tipo de biotécnica poseería una mayor capacidad y eficiencia para degradar residuos como los tratados en esta tesis, puesto que como se apreció en los resultados, los porcentajes de reducción de Sólidos Volátiles alcanzados en Lombricultura son bastantes mayores a los del Compostaje así también los tiempos en que logran esta reducción son bastantes menores.

La reducción de Coliformes Fecales lograda en la Lombricultura demostró ser más rápida que las pilas de Compostaje, y en particular la Lombricultura tipo A logró la mayor reducción de coliformes fecales en menor tiempo, alcanzando fácilmente al cabo de 38 días de proceso la clasificación tipo B definida por la Norma de Compost-Clasificación y



Requisitos. A pesar que los coliformes fecales llegaron al final del proceso de Lombricultura con un valor de 20 NMP/gr lodo base seca para LA y 40 NMP/gr lodo base seca para LB, no se consigue cumplir con los requisitos para clasificarlo como Compost A, puesto que se exige que alcance temperaturas termofílicas mayores o iguales a 55°C por un período de, al menos, tres días consecutivos conseguidos antes de un volteo, y como hemos visto durante este capítulo no se alcanzaron dichas temperaturas en ninguno de los dos procesos.

En comparación con las Experiencias de Lombricultura realizada en Cexas, Chile (Pasche, 1994), la reducción de Coliformes Fecales fue algo menor. La comparación con la Experiencia llevada a cabo en Estados Unidos, por La División de Protección Ambiental (OCEPD) (Molina, 2002), se hace más difícil, pues la relación entre biosólidos que se usó en este experimento fue mucho mayor a la utilizada en este trabajo por los tiempos en los que se logra la reducción de coliformes fecales, también están muy lejos de ser comparativos, de todas formas la reducción alcanzada, en porcentaje en el presente trabajo por la mejor de las técnicas, es decir la Lombricultura A, y sin considerar el tiempo, fue 99,92 %, es decir mayor a la alcanzada por la experiencia de la OECPD.

Si bien la técnica de Lombricultura no consta de una etapa termofílica como el Compostaje la cual le permite destruir patógenos a este; también consigue la reducción de la población de patógenos como los coliformes fecales por medio de sus prácticas Coprofágicas, es decir, que ingieren sus propias heces y las sucesivas digestiones que llevan a cabo van pulverizando las poblaciones de patógenos, pero también esta reducción se explica porque las lombrices, al crear entorno aeróbico favorecen el crecimiento precisamente de microorganismos aeróbicos (Ferruzzi, C. 1987). Pero existe un factor no menos importante con respecto a la mayor reducción lograda por la Lombricultura A y es que esta por poseer su mezcla con aserrín como material de soporte y enmienda genera condiciones de mayor ventilación y voluminosidad, en donde las lombrices pueden moverse con mayor facilidad y alcanzar más rápido su alimento.



En cuanto a la reducción de masa y volumen en los lechos de lombricultura, la reducción del volumen no presenta grandes diferencias entre las Lombriculturas tipo A y las B lo que queda de manifiesto en la Figura N°47, pero si nos referimos a la reducción de masa, las diferencias entre los dos tipos de lombricultura se hacen evidentes, de este modo la lombricultura tipo A alcanza una reducción promedio de 72,9%, mientras que la lombricultura tipo B alcanza una reducción de masa de 61,3%, ambas hacia el día 90 de experimentación fenómeno apreciable claramente en la Figura N°46.

Se puede señalar que entre el compostaje tradicional y la Lombricultura, ésta última presenta una mayor descomposición de la materia orgánica, puesto que la lombricultura además de contar con una fase de precompostaje donde los microorganismos degradan el material, cuenta con un compostaje posterior con lombrices que facilita la degradación del sustrato, obteniendo menores concentraciones de coliformes fecales y sólidos volátiles, así como también la reducción de masa y volumen a diferencia del compostaje tradicional lo que se evidencia en las figuras del Capítulo 4.



CAPITULO 6: ESTUDIO DE MERCADO



6.1 OFERTA Y DEMANDA ACTUAL DE COMPOST Y VERMICOMPOST

La oferta de compost y vermicompost con destino a la agricultura, paisajismo, jardinería y mejora y recuperación de suelos, entre otros, procede de los siguientes sectores productivos:

- Plantas de compostaje que procesan la fracción orgánica de los RSU (residuos sólidos urbanos).
- Empresas que se dedican a compostar y a mezclar diferentes tipos de residuos, incluyendo los procedentes de la Agricultura, Ganadería e industrias Agroalimentarias.
- Empresas que tratan lodos de depuradoras urbanas con el fin de producir compost y vermicompost.

Hoy en día, ha empezado a desarrollarse, por parte de algunas empresas del sector, la producción de compost a partir de la materia prima de lodos de depuradora, que son resultado de combinar el producto orgánico con material de enmienda o de soporte cuya finalidad es aportar una fuente de carbono para lograr la relación óptima de C/N y de esta manera realizar una adecuada compostación.

Sin embargo en Chile el tratamiento de lodos por medio de la técnica de lombricultura es un tema poco difundido y generalizado, procesándose mayoritariamente RSU y en menor cantidad residuos de ganadería, agricultura y otros.

Por otro lado, actualmente la demanda de compost y vermicompost corresponde a los siguientes tipos de consumo:

- Agricultura (cultivos orgánicos)
- Forestaciones
- Empresas de viveros y centros de jardinería y productores de semillas de exportación
- Instituciones o empresas que organizan y mantienen jardines y espacios verdes.
- Empresas que realizan obras de infraestructura en las que es necesaria la creación de suelo vegetal.
- Consumidor final (Corporación de Investigación Tecnológica de Chile, 1999)



La demanda de compost es creciente pero debido a que no hay mucha variación de precios entre los distintos tipos de compost, hace que el comprador no valore como es debida la diferencia de calidad. Es importante que se controle y apoye una buena información sobre contenidos, de modo que el consumidor prefiera dicha calidad, en beneficio del compost bien elaborado. En el caso de la lombricultura este escenario es similar con respecto a la falta de información de los tipos de vermicompost que ofrece el mercado.

En general, estas empresas denotan desconfianza hacia un compost que no venga bien presentado y exigen que se demuestre su efectividad, sobre todo los viveros y empresas de jardinería. (Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, 2000)

En el caso de la agricultura existe un desconocimiento general sobre usos y aplicaciones del compost y vermicompost y una desconfianza hacia su equiparación con abonos orgánicos, esto se debe a una falta de oferta concreta y bien conocida de estos productos cuya imagen aparece ligada a residuos y a procesos de escasa confianza. Pero la demanda por este tipo de producto mejorador de suelo (compost o vermicompost) en Chile no solo se limita al sector agrícola. Es de conocimiento público el daño que se está causando a todo el sector de pie de monte de Santiago de Chile debido a la extracción de “tierra de hoja de litre”. Más aún, ya existe la preocupación de varios sectores por evitar que continúe este proceso e intentar revertirlo, para suspender así el proceso erosivo y recuperar un cinturón de área verde tan necesario para Santiago. Experiencias en el extranjero han demostrado que un compost de calidad aceptable, reemplaza eficientemente la tierra de hoja natural siendo además el recuso por excelencia usado en la recuperación de áreas verdes naturales y artificiales como son bordes de autopistas, parques y jardines. (Centro de Educación y Tecnología, 2001)

Como consecuencia de la falta de normativa específica que obligue a una definición y caracterización concretas de las materias primas utilizadas para los procesos de compostaje y lombricultura de lodos y productos obtenidos, el mercado del compost y vermicompost a partir del tratamiento de lodos secundarios no se ha masificado en su totalidad en nuestra sociedad. Por otro lado, hay un desconocimiento y desconfianza general sobre usos y



aplicaciones del compost y vermicompost producido a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas servidas y esto afecta directamente a la demanda de estos productos.

Frente a la desconfianza del compost y vermicompost producido a base de lodos secundarios, y puesto que existen escasas empresas relacionadas a este rubro, estos productos serían apenas un pequeño porcentaje del que podría ofrecerse al mercado a partir de este residuo, puesto que el agricultor no valora estos productos y solo los usaría en caso de que el precio fuera bajo.

El establecimiento de algún esquema de certificación que permitiera diferenciar el compost urbano separado en origen del compost separado en destino, podría posibilitar su consideración como biofertilizante autorizado. En relación a la recuperación de suelos, el reconocimiento del compost urbano separado en origen o el vermicompost (procesado mediante lombricultura), como un producto diferenciado y que accediera a precios en al menos 2 veces el actual, podría generar un gran impulso a la reutilización productiva de residuos orgánicos.

Mientras estas restricciones no sean superadas, el principal mercado de destino del compost es el sector inmobiliario y los invernaderos con producción intensiva. (Centro de Educación y Tecnología, 2001).

6.2. PRECIOS DEL COMPOST Y VERMICOMPOST

El precio del compost obtenido a partir de los RSU puede llegar a un valor de venta de 4,6 UF /ton¹. Hoy en día existen más bien clientes de oportunidad (algunas explotaciones agrarias o elaboradores de enmiendas y mantillos en la zona), por lo que no puede hablarse de un mercado continuo sino más bien de operaciones puntuales que no abarca a un segmento de mercado significativo.

¹ Fuente SAG -INDAP, 2005



CAPITULO 7: ESTUDIO TECNICO



7.1. LOCALIZACIÓN ÓPTIMA DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA

La ubicación adecuada de un proyecto de compostaje es importante para la óptima ejecución de las operaciones de recolección, transporte y tratamiento de los desechos orgánicos.

Existen varios criterios de ubicación que deben tomarse en cuenta para un proyecto de compostaje y lombricultura. Así tenemos:

- Distancia de la planta de compostaje y lombricultura a la fuente generadora de residuo: La planta debe ser ubicada en terrenos cercanos al sitio de origen del residuo, con el objetivo de reducir los costos del transporte de los residuos hacia la planta (Arriagada et al., 2004).
- Accesibilidad a la planta de compostaje o lombricultura: El terreno debe contar con caminos o vías que proporcionen un buen acceso a la planta para así evitar problemas en el transporte del residuo hacia el proyecto. (Arriagada et al., 2004).
- Riesgos de inundación: Se debe evitar la construcción de instalaciones en terrenos que presentan riesgos de inundación, como planicies aluviales, ya que el proceso de descomposición del material puede ser afectado por aumento de los niveles de humedad o dispersión del material causando la liberación de residuos contaminantes hacia el medio ambiente. (Lugo, 1998)
- Acceso a fuentes fijas de agua: Técnicamente los procesos de compostaje y lombricultura deben asegurar una humedad adecuada por lo cual la cercanía a fuentes fijas de agua es muy importante para la descomposición de los residuos tratados. (Arriagada et al., 2004)
- Tamaño y capacidad del terreno: El terreno debe ser lo suficientemente amplio para la recepción de una cantidad dada de materia orgánica y el tratamiento de la misma. Los terrenos demasiado pequeños causan problemas en el manejo mismo de los desechos. (Lugo, 1998)



- Condición climática: Los terrenos para el compostaje y lombricultura de preferencia no deben ser demasiado secos, excesivamente húmedos o con una actividad eólica muy fuerte. La ubicación de estos proyectos en áreas con éstas características requieren de la implementación de una mejor infraestructura para contrarrestar los efectos del clima sobre el proceso. Además se debe tener en cuenta la dirección preferente del viento debido al potencial de generación de olores en el caso del compostaje.(Arriagada et al., 2004)
- Distancia de Separación: Es importante que exista una zona de amortiguación o distancia de separación entre la planta de compostaje o criadero de lombrices y los acuíferos y zonas con alta densidad poblacional o zonas exclusivamente residenciales para mantener un control de la calidad del agua y evitar malestares por malos olores o ruidos de maquinarias. En la tabla siguiente se señalan ciertas distancias recomendadas basadas en trabajos publicados y en regulaciones medioambientales españolas. (Arriagada et al., 2004)

Tabla 15: Distancias de seguridad del área de compostaje a zonas sensibles ¹

Área sensible	Distancia de separación mínima (m) ²
Residencias o parques empresariales	15-30
Pozos privados u otras fuentes de agua potable, humedales o aguas superficiales (ríos, lagos, etc)	60-150
Aguas Subterráneas	7
Capa freática	0,6 – 1,5
Lecho de roca	0,6 – 1,5

Fuente: Dirección General de Tecnologías Agrarias, 2000 (12)

- (1) Estos valores son orientativos y en cada caso del tipo de material comportado así como la reglamentación medio ambiental local.
- (2) La distancia señalada son medidas en horizontal cuando se trata de aguas superficiales y en vertical para aguas subterráneas.



- Requerimientos de drenaje: Emplazamientos con mal drenaje dan lugar a encharcamientos, a materiales de compostaje saturados de agua, a sitios fangosos que dificultan las labores de equipos y operarios y a una excesiva producción de lixiviados. La inclinación del terreno ha de ser como mínimo de un 1%, aunque lo ideal es entre 2 y 4%, pendientes superiores a 7% no son aconsejables, pues además de requerir mayor vigilancia de los lixiviados. (Lugo, 1998)

En resumen, encontrar un terreno adecuado para la implementación de un proyecto de compostaje o lombricultura requiere de factores como: fácil acceso a vías de tráfico y a los insumos necesarios para operar las plantas, los usos que se dedican las tierras colindantes, conveniente disponibilidad y costo de los terrenos de la zona, la localización de sistemas acuáticos así como de la población entre otras y por último la posibilidad de comercializar el producto elaborado. Es por esto que la ubicación de las plantas de compostaje y lombricultura escogidas es la correspondiente a la de la localidad de Quillota, asignada en el momento de seleccionar la producción de la planta de tratamiento de aguas servidas de ESVAL S.A. de dicha zona.



7.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA

El aumento de la demanda de fertilizantes orgánicos tanto en nuestro país, como en países desarrollados y la actual tendencia de sustentabilidad con relación al manejo de los residuos industriales, minimizando los impactos ambientales, son dos situaciones que se consideraron relevantes en la formulación de este proyecto. En este contexto, se contempla causar un impacto ambiental positivo buscando alternativas productivas orientadas al uso de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas para la producción de un fertilizante orgánico, el compost y el vermicompost.

La afortunada relación entre la utilización de este recurso aprovechable y la producción de fertilizantes orgánicos tiene un gran sentido, sobretodo si se considera que la aplicación del producto generaría amplias posibilidades de comercialización en el sector agropecuario, tanto en la agricultura orgánica como en actividades silvoagropecuarias, hortofrutícola y floricultura especialmente a nivel nacional e internacional. Una adecuada estrategia comercial orientada a determinar las exigencias del mercado en los países de mayor demanda, permitiría una buena acogida por parte de los consumidores de estos productos (Carvallo, 2004)

Asumiendo que el compost y vermicompost de lombriz pueda ser comercializado como fertilizante o enmienda orgánica, se procede a dimensionar 2 plantas, una de compostaje por sistema de pilas volteadas y otra de lombricultura con lechos de lombrices para tratar los lodos provenientes de una planta de tratamiento de aguas servidas. Para determinar la capacidad de las plantas fue necesario recopilar información sobre la producción de lodos de las plantas de tratamiento existentes en nuestro país, pero debida a la escasa información encontrada al respecto, se optó por utilizar los datos proporcionados por la empresa ESVAL S.A en el año 2003 que opera con plantas de tratamiento de aguas que utilizan el sistema de lodos activados mostradas a continuación:

**Tabla 16:** Producción de lodos de las plantas de tratamiento de ESVAL S.A, año 2003

PTAS	Caudal Tratado (m³/mes)	Población habitantes	Lodos kg/día
Planta La Ligua	67.400	19.803	693,1
Planta San Felipe	939.780	50.366	1762,8
Planta Los Andes	342.420	58.489	2047,1
Planta Quillota	493.800	95.777	3.930,0
Planta Papudo	64.800	1.278	44,73

(Fuente: Donoso, 2003)

Para dimensionar las plantas de compostaje y lombricultura se escogió la producción de lodos de la planta de tratamiento de agua servidas de ESVAL en Quillota la cual asciende a 3.930 kg/ día. Para el caso de la planta de compostaje, se estima trabajar con pilas volteadas, ésta operará diariamente durante 300 días al año, cada día se recepcionará la producción de la planta de tratamiento, las pilas se armarán cada 3 días, el tiempo aproximado de operación de las pilas es de 90 días, por lo que se trabajará con 10 pilas en la planta al mes.

Para el caso de la planta de lombricultura se estima trabajar con lechos de madera para crianza de lombrices, que operará 300 días al año y cada día se recepcionará la producción de la planta de tratamiento. Las pilas de precompostaje se armarán cada 3 días, el tiempo aproximado de operación de éstas es de 30 días, por lo que se trabajará con 10 pilas de precompostaje. Luego en la etapa de inoculación de lombrices se trabajaran con 10 lechos de lombricultura al mes con un tiempo aproximado de operación de 60 días.



7.3 BALANCES DE MASA

Se requiere una serie de balances de masa para definir las cantidades de material requerido para el diseño de una instalación de una planta. Estos balances proporcionan una herramienta de cálculo útil ante variaciones en las características y cantidad de material que intervienen en el proceso, de esta forma las instalaciones y equipos pueden ser dimensionados para operar adecuadamente.

7.3.1. Balances de masa para la etapa de preparación y mezclado de materias primas

Para realizar correctamente los balances es necesario conocer la composición de las materias primas a tratar, las que se presentan en la tabla N°17, a partir de los valores obtenidos en la etapa experimental.

Tabla N°17: Análisis iniciales a las materias primas

	Hm %	N %	C %	C/N
Lodo	70.44	1.68	18.78	11.18
Aserrín	0.28	0.12	60.16	501.3
Compost reciclado	19.8	1.98	51.35	25.93

Luego de obtener estos datos se procedió a realizar el balance de masa para determinar en que cantidades se deben mezclar los materiales y lograr una relación C/N regulada en 25 y una humedad entre 50 y 60% para el caso del Compostaje. Para la etapa de precompostaje de la Lombricultura estos parámetros fueron los mismos, pero una vez inoculadas las lombrices al sustrato, se mantiene la relación C/N y la humedad tiene su rango óptimo entre 70-85% (Bollo, 2001). El cálculo se realizó a través de la siguiente ecuación:



$$R = \frac{A1 [B1 (100-H1)] + A2 [B2 (100- H2)]}{A1 [N1 (100- H1)] + A2 [N2 (100- H2)]}$$

Donde

R = Relación C/N de la mezcla

An = Masa del material n

Bn = % de carbono del material n

Nn = % del nitrógeno del material n

Hn = % de humedad del material n

Como resultado de estos cálculos, en la tabla N°18 se presenta la proporción en que se deben mezclar los materiales tanto para el compostaje como para la lombricultura de acuerdo con los balances realizados.

Tabla N° 18: Proporciones de material mezclado

Técnica	Materia prima	Partes (en peso)
Compostaje A	Lodo secundario	8
	Aserrín	1
Compostaje B	Lodo secundario	1
	Compost reciclado	4
Lombricultura A	Lodo secundario	8
	Aserrín	1
Lombricultura B	Lodo secundario	1
	Compost reciclado	4



Calcular el contenido de humedad inicial de la mezcla es importante para verificar que este valor se encuentre lo más cercano al rango óptimo para las dos técnicas según la bibliografía citada. Para el caso del compostaje este valor fluctúa entre un 50-60%, por otro lado para la técnica de lombricultura se debe hacer un precompostaje que consiste en la preparación del alimento para las lombrices, el cual debe contener un porcentaje de humedad entre 50 y 60% y una vez realizada la inoculación de éstas, este valor debe mantenerse entre un 70-85% que corresponde al rango óptimo para llevar a cabo este proceso. El valor de la humedad de la mezcla se obtiene a través de la siguiente fórmula: (Avendaño *et al.*, 2004)

$$\text{Contenido de agua} = \frac{\text{Peso del agua en A} + \text{Peso del agua en B}}{\text{Peso total}}$$

El porcentaje de humedad de la mezcla para el Compostaje A y Lombricultura A es de 63%. Este valor se ajusta dentro del rango óptimo para estos procesos.

Para el caso del Compostaje B y Lombricultura B el porcentaje de humedad inicial de las mezclas es de 30%. Este valor queda fuera de los rangos óptimos establecidos para Compostaje y Lombricultura., por lo tanto se deberá agregar un 30% más de agua para las dos técnicas.

A continuación se mostrarán los esquemas de balance para cada tratamiento y los datos disponibles para el balance:



7.3.1.1. Mezclado de materias primas para Compostaje A

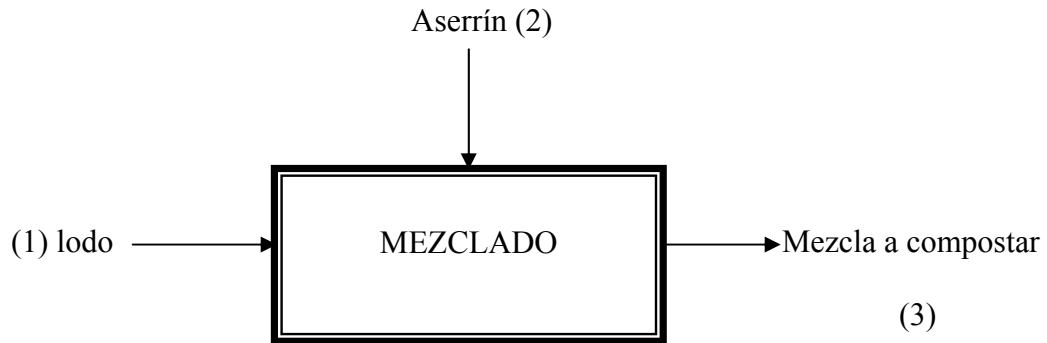


Tabla 19: Resultados de los balances de materiales para etapa de mezclado Compostaje A

	Nomenclatura	Unidad	Lodo	Aserrín	Mezcla a compostar
Masa de la pila	Q	Kg.	11.790	1.474	13.264
% de sólidos	X	---	29,56	99,72	37
Densidad	ρ	Kg/m ³	1.030	450	385,71 ²

Balances Globales y parciales

Balance de sólidos:

$$Q1 * X1 + Q2 * X2 = (Q1 + Q2) * X3$$

$$X3 = \frac{Q1 * X1 + Q2 * X2}{(Q1 + Q2)}$$

Balance en la etapa de mezcla:

$$Q3 = Q1 + Q2$$

$$V3 * \rho3 = V1 * \rho1 + V2 * \rho2 \quad \text{Donde } V = \frac{Q}{\rho}$$

$$V3 = \frac{V1 * \rho1 + V2 * \rho2}{\rho3}$$

² Valor obtenido experimentalmente



7.3.1.2 Mezclado de materias primas para Compostaje B

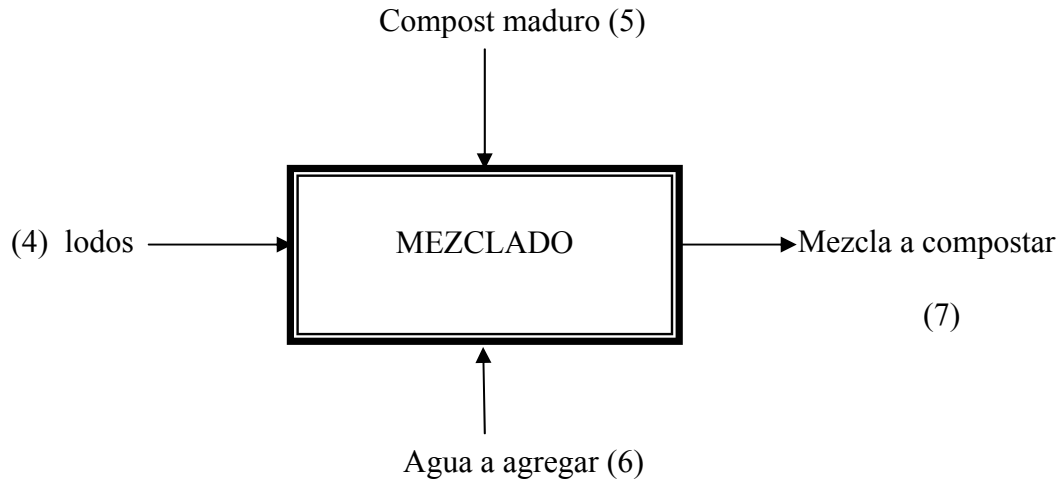


Tabla 20: Resultados de los balances de materiales para etapa de mezclado Compostaje B

	Nomenclatura	Unidad	Lodo	Compost	Agua	Mezcla a compostar
Masa de la pila	Q	Kg.	11.790	47.160	17.685	76.635
% de sólidos	X	---	29,56	80,2	---	40
Densidad	ρ	Kg/m ³	1.030	500	1.000	457,14 ³

Balances Globales y parciales

Balance de sólidos:

$$Q4 * X4 + Q5 * X5 = (Q4 + Q5) * X7$$

$$X7 = \frac{Q4 * X4 + Q5 * X5}{(Q4 + Q5)}$$

Balance en la etapa de mezcla:

$$Q7 = Q4 + Q5 + Q6$$

$$V7 * \rho7 = V4 * \rho4 + V5 * \rho5 + V6 * \rho6 \quad \text{Donde } V = \frac{Q}{\rho}$$

$$V7 = \frac{V4 * \rho4 + V5 * \rho5 + V6 * \rho6}{\rho7}$$

³ valor obtenido experimentalmente



7.3.1.3 Mezclado de materias primas para Lombricultura A

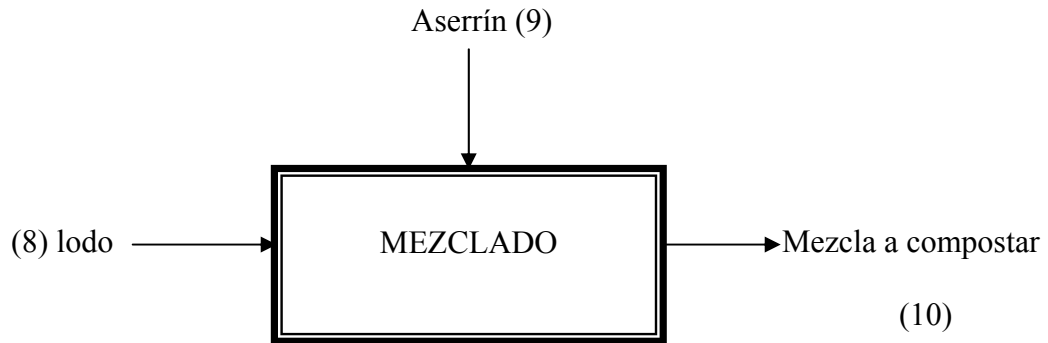


Tabla 21: Resultados de los balances de materiales para mezclado Lombricultura A

	Nomenclatura	Unidad	Lodo	Aserrín	Mezcla a compostar
Masa de la pila	Q	Kg.	11.790	1.474	13.264
% de sólidos	X	---	29,56	99,72	37
Densidad	ρ	Kg/m ³	1.030	450	385,71 ⁴

Balances Globales y parciales

Balance de sólidos:

$$Q9 * X9 + Q8 * X8 = (Q9 + Q8) * X10$$

$$X10 = \frac{Q9 * X9 + Q8 * X8}{(Q9 + Q8)}$$

Balance en la etapa de mezcla:

$$Q10 = Q8 + Q9$$

$$V10 * \rho10 = V8 * \rho8 + V9 * \rho9$$

$$V10 = \frac{V8 * \rho8 + V9 * \rho9}{\rho10}$$

Donde $V = \frac{Q}{\rho}$

⁴ Valor obtenido experimentalmente



7.3.1.4 Mezclado de materias primas para Lombricultura B

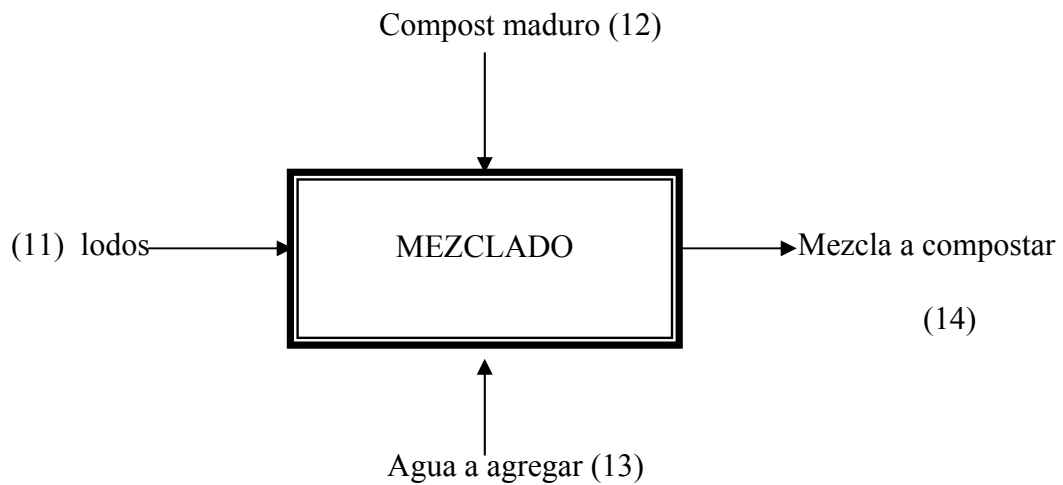


Tabla 22. Resultados de los balances de materiales para mezclado Lombricultura B

	Nomenclatura	Unidad	Lodo	Compost	Agua	Mezcla a compostar
Masa de la pila	Q	Kg.	11.790	47.160	17.685	76.635
% de sólidos	X	---	29,56	80,2	---	40
Densidad	ρ	Kg/m ³	1.030	500	1.000	457,14 ⁵

Balances Globales y parciales

Balance de sólidos:

$$Q_{11} * X_{11} + Q_{12} * X_{12} = (Q_{11} + Q_{12}) * X_{14}$$

$$X_{14} = \frac{Q_{11} * X_{11} + Q_{12} * X_{12}}{(Q_{11} + Q_{12})}$$

Balance en la etapa de mezcla:

$$Q_{14} = Q_{11} + Q_{12} + Q_{13}$$

$$V_{14} * \rho_{14} = V_{11} * \rho_{11} + V_{12} * \rho_{12} + V_{13} * \rho_{13}$$

Donde $V = \frac{Q}{\rho}$

$$V_{14} = \frac{V_{11} * \rho_{11} + V_{12} * \rho_{12} + V_{13} * \rho_{13}}{\rho_{14}}$$

⁵ valor obtenido experimentalmente



A continuación se presentan los volúmenes finales de los tratamientos previos al proceso de compostaje y lombricultura de lodos residuales.

Tabla 23: Volúmenes finales de los tratamientos previos

	Compostaje A	Compostaje B	Lombricultura A	Lombricultura B
Nomenclatura	V3	V7	V11	V15
Volumen (m³)	34,39	167,64	34,39	167,64

7.3.2. Balances de masa para la etapa de compostaje y precompostaje de la técnica de lombricultura.

Este balance se realiza para determinar la cantidad de material que resulta de la etapa de fermentación hacia la etapa de maduración en el caso del compostaje e inoculación de lombrices para el caso de la lombricultura. La reducción de las pilas de compostaje y precompostaje fueron determinadas de acuerdo a valores obtenidos en forma experimental.



7.3.2.1 Esquema proceso de Compostaje A

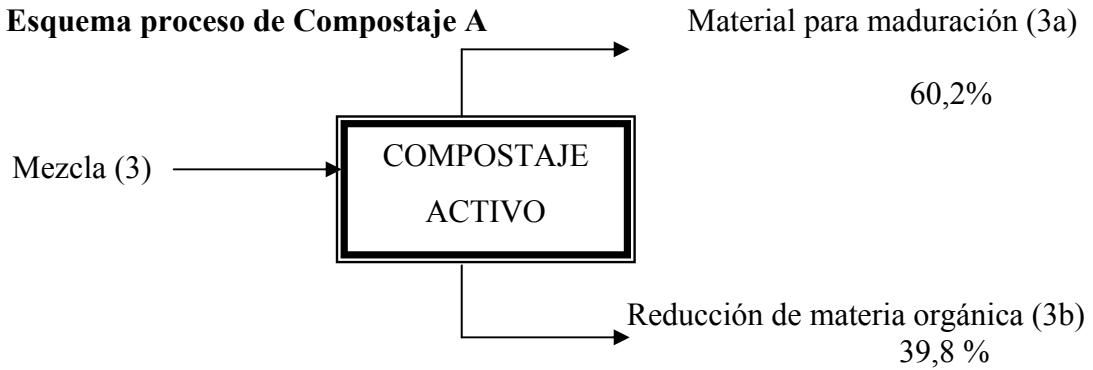


Tabla 24. Resultados de los balances del proceso Compostaje A

	Nomenclatura	Unidad	Mezcla	Mat. para maduración	Reducción mat. orgánica
Masa de la pila	Q	Kg.	13.264	7.985	5.279
% de sólidos	X	---	37	61,4	---

Balances Globales y parciales

Balance de sólidos:

$$(1) Q3 * X3 = Q3a * X3a$$

Balance Global:

$$(2) Q3 = Q3a + Q3b$$

Despejando la ecuación (1)

$$X3a = \frac{Q3 * X3}{Q3a}$$



7.3.2.2 Esquema proceso de Compostaje B

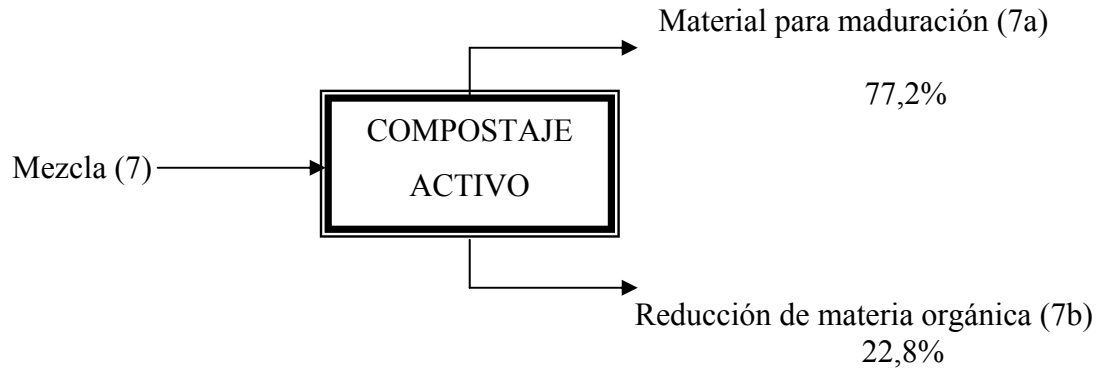


Tabla 25. Resultados de los balances del proceso Compostaje B

	Nomenclatura	Unidad	Mezcla	Mat. para maduración	Reducción mat. orgánica
Masa de la pila	Q	Kg.	76.635	59.162	17.473
% de sólidos	X	---	40	51,8	---

Balances Globales y parciales

Balance de sólidos:

$$(1) Q7 * X7 = Q7a * X7a$$

Balance Global:

$$(2) Q7 = Q7a + Q7b$$

Despejando la ecuación (1)

$$X7a = \frac{Q7 * X7}{Q7a}$$



7.3.2.3 Esquema proceso de Lombricultura A

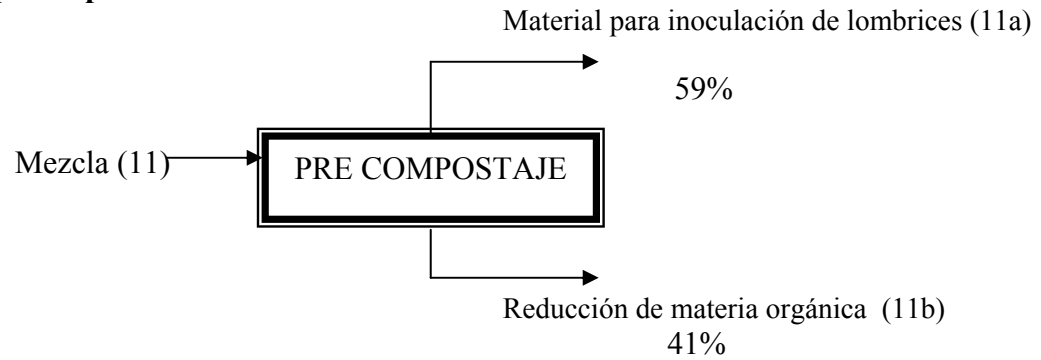


Tabla 26. Resultados de los balances del proceso Lombricultura A

	Nomenclatura	Unidad	Mezcla	Mat. para inoculación	Reducción mat. orgánica
Masa de la pila	Q	Kg.	13.264	7.826	5.438
% de sólidos	X	---	37	62,7	---

Balances Globales y parciales

Balance de sólidos:

$$(1) Q_{11} * X_{11} = Q_{11a} * X_{11a}$$

Balance Global:

$$(2) Q_{11} = Q_{11a} + Q_{11b}$$

Despejando la ecuación (1)

$$X_{11a} = \frac{Q_{11} * X_{11}}{Q_{11a}}$$



7.3.2.4 Esquema proceso de Lombricultura B

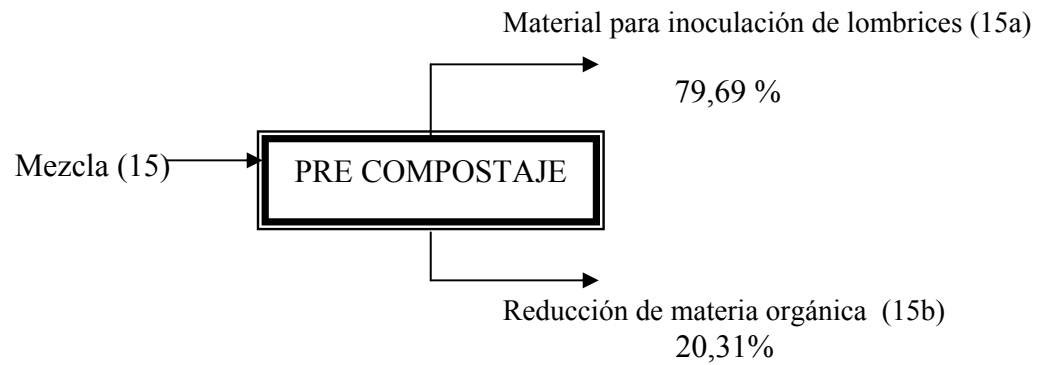


Tabla 27. Resultados de los balances del proceso Lombricultura B

	Nomenclatura	Unidad	Mezcla	Mat. para inoculación	Reducción mat. orgánica
Masa de la pila	Q	Kg.	76.635	61.070	15.565
% de sólidos	X	---	40	50,2	---

Balances Globales y parciales

Balance de sólidos:

$$(1) Q_{15} * X_{15} = Q_{15a} * X_{15a}$$

Balance Global:

$$(2) Q_{15} = Q_{15a} + Q_{15b}$$

Despejando la ecuación (1)

$$X_{15a} = \frac{Q_{15} * X_{15}}{Q_{15a}}$$



7.3.3. Balances de masa para la etapa de maduración y secado en el compostaje y compostaje activo con lombrices y secado en la técnica de lombricultura.

7.3.3.1 Esquema proceso maduración y secado Compostaje A

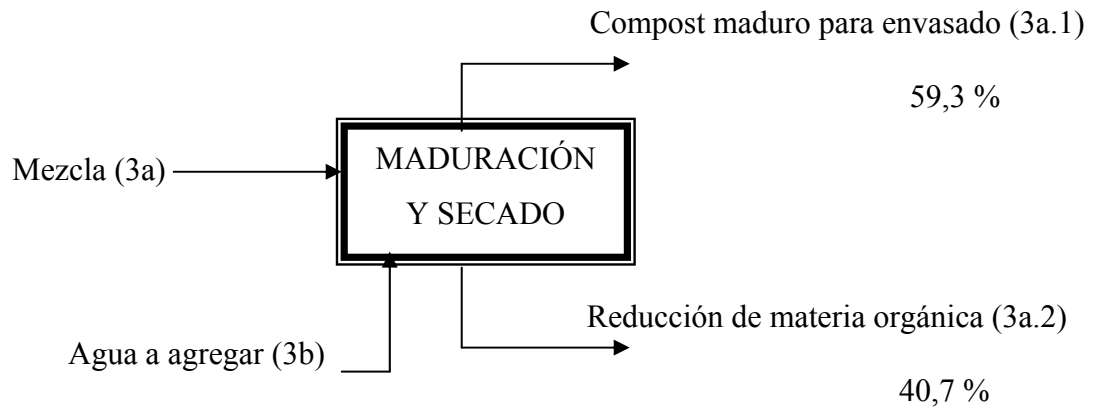


Tabla 28. Resultados de la etapa de maduración del Compostaje A

	Nomenclatura	Unidad	Mezcla	Agua(*)	Mat. para envasado	Reducción mat. orgánica
Masa de la pila	Q	Kg.	7.985	1.709	5.749	3.945
% de sólidos	X	---	61,4	---	---	---

(*) Adición de agua para alcanzar el rango óptimo de humedad de 60%.

Balance Global:

$$(1) Q_{3a} + Q_{3b} = Q_{3a.1} + Q_{3a.2}$$

Cálculo de agua a agregar:

$$(2) \frac{(X_{3a} - 40) * Q_{3a}}{100} = Q_{3b}$$



7.3.3.2 Esquema proceso maduración y secado Compostaje B

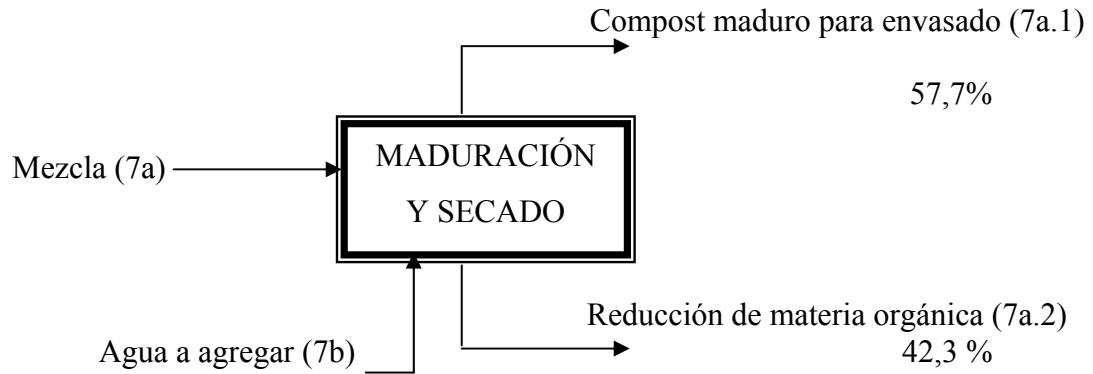


Tabla 29. Resultados de la etapa de maduración del Compostaje B

	Nomenclatura	Unidad	Mezcla	Agua (*)	Mat. para envasado	Reducción mat. orgánica
Masa de la pila	Q	Kg.	59.162	6.981	38.165	27.978
% de sólidos	X	---	51,8	---	---	---

(*) Adición de agua para alcanzar el rango óptimo de humedad de 60%.

Balance Global:

$$(2) Q7a + Q7b = Q7a.1 + Q7a.2$$

Cálculo de agua a agregar:

$$(2) \frac{(X7a - 40) * Q7a}{100} = Q7b$$



7.3.3.3 Esquema proceso de compostaje con lombrices y secado de Lombricultura A

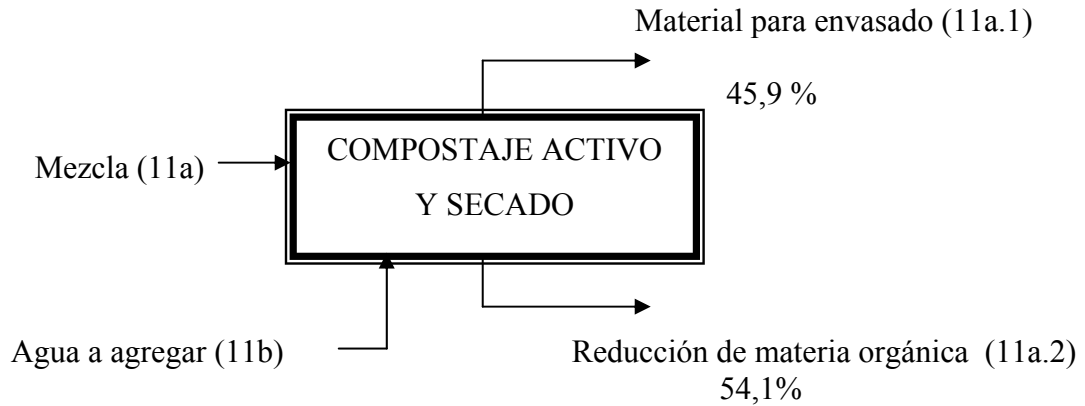


Tabla 30. Resultados de la etapa de Lombricultura A

	Nomenclatura	Unidad	Mezcla	Agua (*)	Mat. Para envasado	Reducción mat. orgánica
Masa de la pila	Q	Kg.	7.826	2.950	4.946	5.830
% de sólidos	X	---	62,7		---	---

(*) Adición de agua para alcanzar el rango óptimo de humedad de 75%.

Balance Global:

$$(1) Q_{11a} + Q_{11b} = Q_{11a.1} + Q_{11a.2}$$

Cálculo de agua a agregar:

$$(2) \frac{(X_{11a} - 25) * Q_{11a}}{100} = Q_{11b}$$



7.3.3.4 Esquema proceso de compostaje con lombrices y secado Lombricultura B

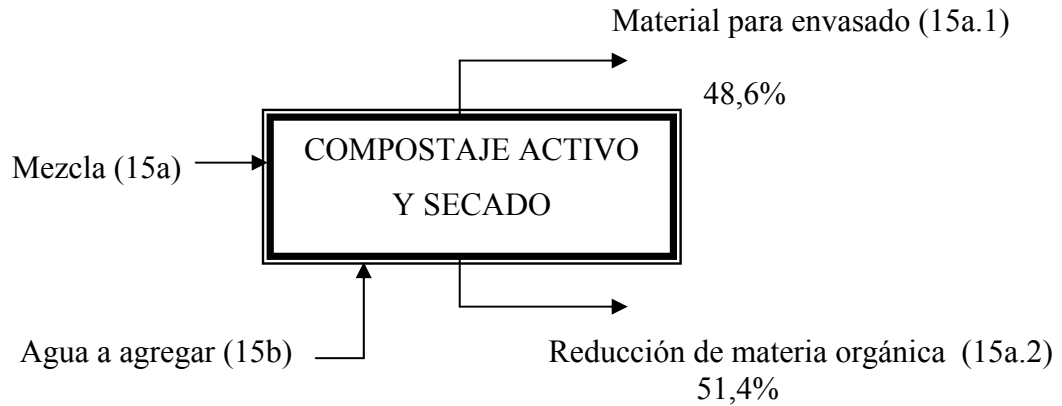


Tabla 31. Resultados de la etapa de Lombricultura B

	Nomenclatura	Unidad	Mezcla	Agua (*)	Mat. para envasado	Reducción mat. orgánica
Masa de la pila	Q	Kg.	61.070	15.390	37.160	39.300
% de sólidos	X	---	50,2	---	---	---

(*) Adición de agua para alcanzar el rango óptimo de humedad de 75%.

Balance Global:

$$(2) Q_{15a} + Q_{15b} = Q_{15a.1} + Q_{15a.2}$$

Cálculo de agua a agregar:

$$(2) \frac{(X_{15a} - 25) * Q_{15a}}{100} = Q_{15b}$$



7.3.4 Resultados

A continuación en la tabla se presentan los resultados finales de los balances de masa del material resultante para la distribución y venta del proceso de compostaje y lombricultura.

Tabla 32. Resultados finales de los balances de masa.

Material para envasado y venta	Nomenclatura	Unidad	Valor
Compostaje A	3a.1	Kg.	5.749
Compostaje B	7a.1	Kg.	38.165
Lombricultura A	11a.1	Kg.	4.946
Lombricultura B	15a.1	Kg.	37.160

Obs: Estos son los flujos que corresponden para 1 pila y 1 lecho de lombrices.

Si se toma en cuenta que mensualmente se procesan 10 pilas aireadas (5 de compostaje A y 5 de compostaje B) y en caso de la lombricultura 10 lechos de lombrices (5 de lombricultura A y 5 de lombricultura B), se tendrá que la producción en un mes de compost y vermicompost es de:

- 28.745 kg/mes de compost A
- 190.825 kg /mes de compost B
- 24.730 kg /mes de vermicompost A
- 185.800 kg /mes de vermicompost B



La eficiencia del proceso del cribado se estima en un 90%, con lo cual la producción en un mes de compost y vermicompost para su distribución y venta es de:

- 25.871 kg /mes de compost A
- 171.143 kg/mes de compost B
- 22.257 kg /mes de vermicompost A
- 167.220 kg /mes de vermicompost B

En resumen la planta de compostaje producirá 197.014 kg/mes de compost y una planta de lombricultura 189.477 kg/mes de vermicompost. Al año la producción sería de 2.364 toneladas para el compostaje y de 2.274 toneladas para el vermicompost.

7.4 SELECCIÓN DE MAQUINARIA

La selección de los equipos y maquinarias se realizó de acuerdo a las actividades a realizar dentro de la planta de compostaje y de lombricultura.

7.4.1 Traslado de materias primas

Para efecto de este proyecto se utiliza el lodo residual obtenido de una planta de tratamiento de aguas servidas y 2 tipos de materiales de enmienda para el compostaje de lodos residuales: aserrín y compost reciclado. Para el primero se estimó utilizar un camión tolva herméticamente sellado para evitar la emanación de olores del lodo y su derramamiento.

Para el traslado de las materias primas aserrín y compost reciclado se estimo utilizar un camión tolva de capacidad de traslado de 50 toneladas.

Además para la formación de las pilas de compostaje es práctico el manejo de estos camiones puesto que tienen una báscula para depositar los materiales e ir formando las pilas de compostaje.



7.4.2 Fase de mezclado

Existen 2 métodos para realizar el mezclado: el sistema manual y el mecánico. El volteo manual se realiza generalmente para compostaje casero y el volteo mecánico para sistemas de compostaje industrial. Dentro de los sistemas mecánicos existen 2 modalidades, una corresponde a utilizar equipos específicos denominados volteadores y la otra se relaciona con el empleo de cargadores frontales.

Pese a que las ventajas de utilizar volteadoras es requerir una menor área para el volteo y una mayor eficiencia en el mezclado, se seleccionó un minicargador frontal para voltear debido principalmente al ahorro de costos y por ser el método preferentemente usado en instalaciones de compostaje de tamaño pequeño a medio. (Arriagada *et al.*, 2004)

7.4.3 Cribado del compost

Existen 2 métodos de cribado: el sistema manual y el sistema motorizado. El sistema manual es adecuado para producciones de compost hasta 2-3 m³ diarios, en cambio los sistemas motorizados son adecuados para producciones de compost superiores a 3 m³ diarios (Arriagada *et al.*, 2004).

Se estima que nuestra producción de compost se encontrará dentro del rango mas pequeño de producción, para el caso del compostaje con aserrín por esta razón se selecciona el sistema de criba manual. Sin embargo a pesar de que para el compostaje con material de soporte compost reciclado la producción de compost es mayor, se selecciona de todas maneras la criba manual por ser más económica y así abaratar costos.

7.4.4 Envasado del compost

Para el envasado del compost se contemplan 2 métodos: el envasado por sistema mecanizado mediante dosificadora y el manual. En este proyecto se realizará el envasado manualmente puesto que operativamente es realizable. Solo se utilizará una cosedora mecánica de sacos y una balanza romana para el pesaje de éstos.



7.4.5 Medición de parámetros en el proceso de compostaje

-Temperatura: Este parámetro se mide con un medidor portátil que permite obtener una medición precisa de temperatura que va desde los 0°C a 100°C.

-pH: Para la medición de pH existen 2 métodos: el primero consistente en tomar una muestra de aproximadamente 100 grs. La muestra recogida se tamiza para eliminar las impurezas de gran tamaño, de manera que queden homogéneas. Para realizar las mediciones se pesan 50 grs. de agua destilada y 25 grs. de muestra en una balanza analítica, los cuales se mezclan en un vaso de precipitado de 250 ml., obteniendo una solución homogénea. Luego se mide este parámetro con un papel especial, llamado papel pH tornasol, que muestra distintos colores dependiendo del grado de acidez de la solución. El otro método, es midiendo este parámetro con un instrumento llamado phmetro.

El primero contempla gastos muchos menores puesto que solo se necesitan pocos implementos. Sin embargo, se selecciona el instrumento digital puesto que a pesar de que se realiza una inversión mayor, a largo plazo es más conveniente, por su durabilidad, exactitud y comodidad para tomar los valores en las pilas.

-Granulometría: Para el análisis de granulometría se pesan 250 g de muestra y es dispuesta en el horno de secado con luz infrarroja y extracción de aire. La luz infrarroja alcanza 120 °C por un período de tiempo aproximado de 48 horas. El horno se programa para funcionar 18 horas encendido y 6 horas apagado. De la muestra seca se pesan 100 g para luego ser tamizados, para posteriormente pesar el material retenido en el tamiz.

-Conductividad Eléctrica: Para este parámetro se toma una muestra de aprox. 100 g. La muestra recogida se tamiza para eliminar las impurezas y material de gran tamaño, de manera que quede homogénea. Luego, para realizar las mediciones se pesan 50 g de agua destilada y 25 g de mezcla en una balanza analítica, los cuales se mezclan en un vaso de precipitado de 250 mL, obteniendo una solución homogénea, midiendo la conductividad eléctrica de la mezcla con un instrumento llamado conductivímetro.



-Humedad: Para el análisis de humedad se toman 100 g (peso húmedo) de muestra y se coloca sobre una cápsula de Petri, la que se dispone en el horno de secado por un período de tiempo aproximado de 48 horas. Transcurrido este tiempo, se pesa nuevamente la placa, obteniendo de esta forma el peso seco. La fórmula utilizada para calcular el porcentaje de humedad es la siguiente:

$$\% \text{ Humedad en base húmeda: } \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100 \text{ (Avendaño et al, 2004)}$$

7.5 CÁLCULO DE MANO DE OBRA NECESARIA

La organización de la planta debe entenderse como un sistema coordinado compuesto por un conjunto de partes definidas con funciones específicas capaces de interactuar entre sí para alcanzar objetivos en conjunto.

Las funciones específicas de las partes cumplen objetivos asignados los que una vez alcanzados tienden a un objetivo global, por lo que los resultados inciden directamente sobre las otras partes, lo que supone necesario contar con una buena coordinación y administración realizada por ejecutivos capaces encargados de las distintas partes que conforman la planta de compostaje y lombricultura. Los operarios y empleados cumplen un rol de importancia debido a que son los ejecutores de las medidas tomadas a nivel de dirección, además que existe generalmente un consenso en cuanto a la toma de decisiones dando incluso un cierto grado de autodirección que reemplazaría en algunas ocasiones la dirección jerárquica, lo que manifiesta necesario mantener un compromiso, lealtad y participación directa por parte de todo el personal en persecución de los objetivos planteados por la empresa. (Baca, 2001)



7.5.1 Distribución de las funciones del personal en las plantas de compostaje y lombricultura

Para el caso del proyecto de compostaje y lombricultura de lodos, el personal requerido consiste en:

- 1 Jefe de Planta (Agrónomo, Ing. Ambiental o similar.)
- 1 Operario supervisor
- 5 Operarios
- 1 Secretaria

Los servicios de un contador serían necesarios sólo 2 veces al mes para el manejo de la contabilidad. Es por esto, que dicho profesional no se considera dentro del personal fijo de la planta.

Las principales funciones del jefe de planta y operarios de las plantas de compostaje y lombricultura son:

a) Jefe de Planta :

- Administrar la adquisición de materias primas, suministros, equipos y repuestos varios.
- Administración general del personal: distribución de las funciones y responsabilidades dentro de la planta y bienestar general de los empleados.
- Elaborar informes de gestión
- Programación, coordinación y dirección de actividades de operación de la planta.
- Control y supervisión de las etapas del proceso.
- Control de la calidad del producto.



b) Operarios:

Para las plantas de compostaje y lombricultura se requieren como mínimo cinco operarios para llevar a cabo las siguientes funciones:

- Realizar actividades de monitoreo y control de las etapas del proceso (registro de temperaturas, humedad, riego de las pilas o de lechos de lombrices, control de olores, etc.)
- Manejo de la criba manual, envasado del compost o vermicompost.
- Conducción del minicargador (construcción, volteo, traslado y cribado de las pilas) y camiones de la empresa.
- Labores de limpieza y mantención de las máquinas.

Las funciones del contador general externo son:

- Contrataciones, despidos, remuneraciones, previsión social de los operarios.
- Manejo de la contabilidad, inversiones y auditoria de los fondos de dineros funciones del personal.

7.5.2. Distribución de Turnos

Se propone que la planta opere de Lunes a Viernes desde las 9:00 am a 6:00 pm, es por esto que se considerará un turno de 8 horas diarias para todo el personal, como es señalado en la Tabla N° 33.

Tabla N° 33: Distribución de turnos para el personal de la planta

Personal	Turno (*)
Jefe de Planta	9:00 am- 6:00 pm
Secretaria	9:00 am- 6:00 pm
Operarios	9:00 am- 6:00 pm

(*) Para la hora de colación, se contemplan descansos de 1 hora.



En la figura 48 se detalla el organigrama que describe la empresa:

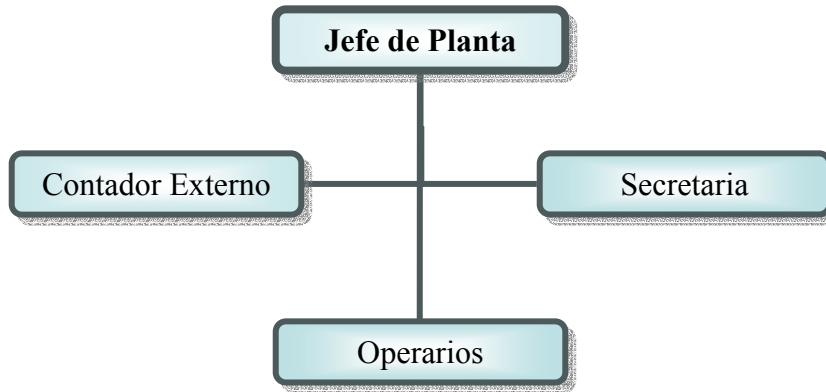


Figura 48: Organigrama de la empresa para la planta de Compostaje y Lombricultura



7.6 ORGANIZACIÓN DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA

7.6.1. TÉCNICA COMPOSTAJE

7.6.1.1. Estimación de las dimensiones de las pilas de compostaje y almacenamiento

La experiencia señala que las dimensiones más apropiadas para pilas de compostaje con sistemas de aireación por volteos deben ser en lo posible de sección trapezoidal o piramidal y el largo depende de la cantidad del material a tratar. Es deseable que el grado de inclinación del talud que se forma respecto a la horizontal sea mayor de 30° para lograr un fácil escurrimiento de las aguas lluvias y que sea menor que el ángulo de reposo ó de sustentación propia del material (Ramírez, 2004). Se estima que para el caso de pilas volteadas, el ángulo de inclinación ó talud adecuado debe ser aproximadamente de 45°. La altura de la pila varía entre 1 y 2 m y la anchura de la base entre unos 3 - 4 m (Kiely, 1999). Para una mayor exactitud en los cálculos, se estimará una reducción de 2 m³ por pila debido a que se produce una pérdida de material producto de la inclinación que éstas deben tener.

7.6.1.1.1 Estimación de las dimensiones de las pilas de compostación activa.

Teniendo en cuenta, que la cantidad de mezcla húmeda inicial a compostar es de 13,264 toneladas para el compostaje A y 76,635 toneladas para el compostaje B que corresponden a la capacidad de cada una de las 10 pilas de compostaje procesadas al mes (5 pilas de compostaje A y 5 de compostaje B), según como se determina en la sección de balances de masa, se estima formar pilas piramidales de 32,39 m³ para compostaje A y 165,64 m³ de compostaje B cada tres días.

La distribución de las pilas en la cancha de compostaje es en 2 filas de cinco pilas cada una. Las dimensiones de las pilas destinadas a la compostación activa se determinan de acuerdo al volumen de material a tratar en cada fila, manteniendo fijos la altura y el ancho de cada pila, variando sólo el largo de ellas, de acuerdo a esto las dimensiones de las pilas se presentan a continuación:

Pilas de compostaje A: 8,1 m de largo, 4 m de ancho y 2 m de alto

Pilas de compostaje B: 41,4 m de largo, 4 m de ancho y 2 m de alto

Las dimensiones de las pilas son presentadas a continuación:

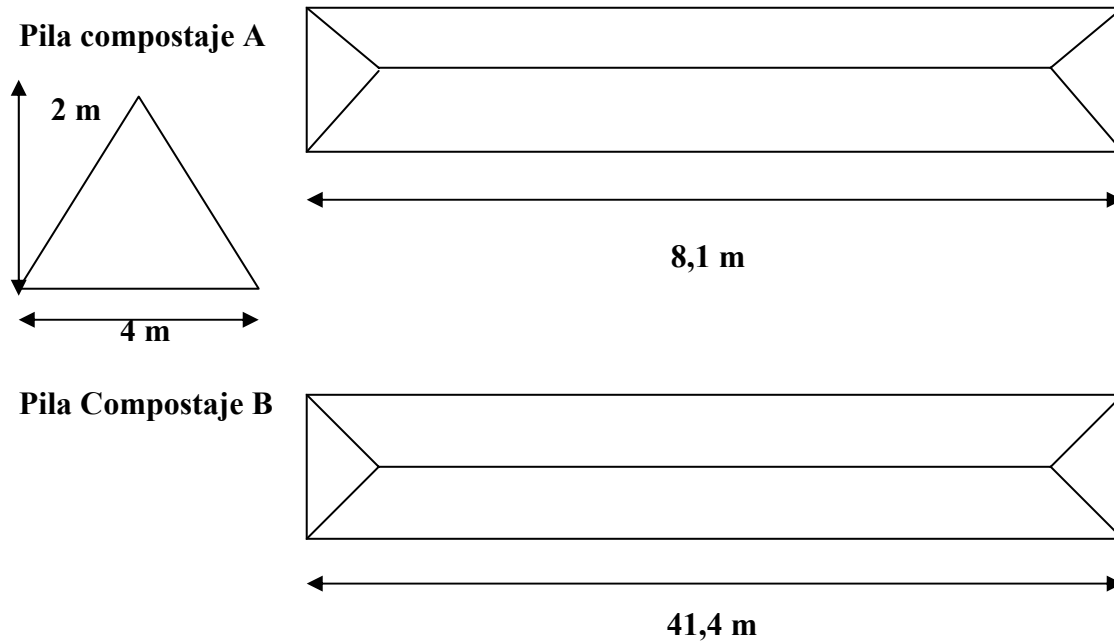


Figura 49: Dimensiones de las pilas de compostación

7.6.1.1.2 Estimación de las dimensiones de las pilas de maduración, secado y almacenamiento.

Una vez finalizada la etapa de compostación activa la cantidad de compost bruto producido asumiendo una densidad aparente de la mezcla de Compost A de $385,71 \text{ kg/m}^3$ y de compost B de $457,14 \text{ kg/m}^3$, es de 7.985 kg y 59.162 kg respectivamente, equivalente a $18,7 \text{ m}^3$ y $127,4 \text{ m}^3$ de compost bruto por pila en compostación. Las dimensiones de las pilas para la etapa de maduración, secado y almacenamiento son las presentadas en figura 50.

Pilas de maduración compostaje A: 4,7 m de largo, 4 m de ancho y 2 m de alto

Pilas de maduración compostaje B: 32 m de largo, 4 m de ancho y 2 m de alto.

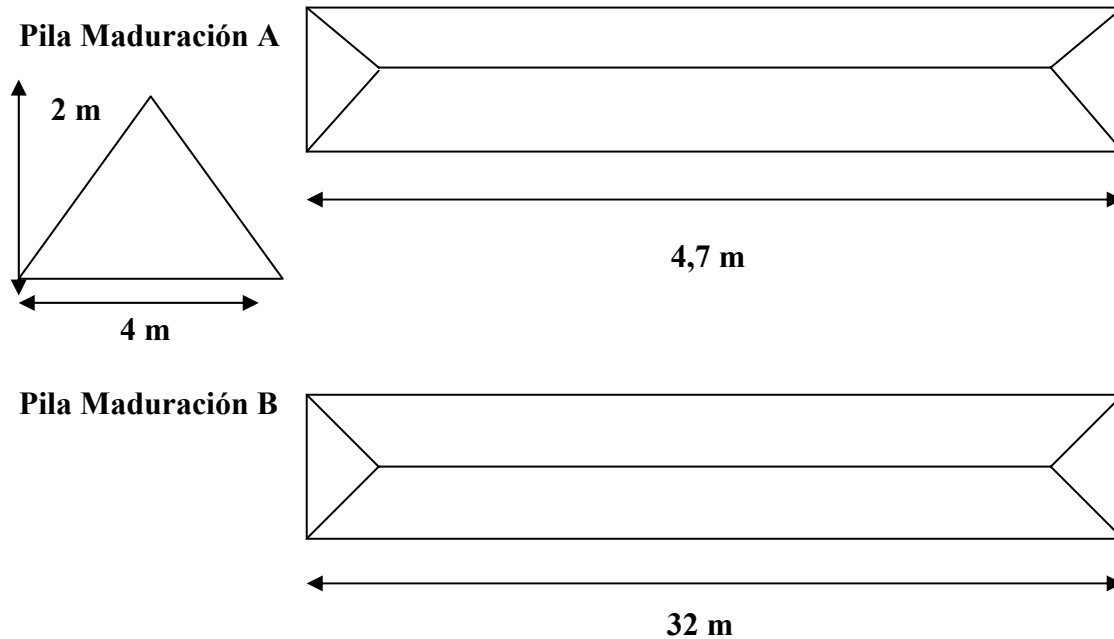


Figura 50: Dimensiones de las pilas de maduración, secado y almacenamiento

7.6.1.2. Estimación de las dimensiones de las áreas necesarias para el proceso de compostaje.

7.6.1.2.1. Estimación de las dimensiones del área de recepción de camiones.

El área de recepción de camiones debe tener la capacidad permitir la recepción, carga y descarga de los camiones que ingresan las materias primas a la planta y que sacan compost producido, una vez que haya sido vendido. Para ello se estima la necesidad de una superficie de 150 m² (10 x 15) y se trata sólo un espacio físico destinado a la carga y descarga de camiones.

7.6.1.2.2. Estimación de las dimensiones del área de recepción y almacenamiento de materias primas.

Las materias primas involucradas en el proceso de compostaje tales como lodos, compost reciclado y aserrín deben ser recibidas desde los camiones tolva, para ser descargadas en el lugar de almacenamiento, el cual debe contar con un fácil acceso y con



una zona de maniobras amplia para los vehículos. Los lodos recibidos de los camiones, deben ser descargados directamente a las canchas de mezclado para iniciar la operación. El lugar de recepción y almacenamiento debe constar entonces de un área de 150 m^2 (10 x 15), además de un techo de zinc que proteja los materiales en caso de lluvia.

7.6.1.2.3. Estimación de las dimensiones del área de bodega de materiales y de herramientas.

Los materiales involucrados en el proceso de compostaje tales como palas, carretillas, clavos, martillos, serruchos, hasta los mini cargadores frontales deben ser almacenados en una bodega especialmente destinada para ello.. La bodega de materiales y herramientas debe constar entonces de un área de 150 m^2 (10 x 15), además de un techo de zinc que proteja los materiales en caso de lluvia. Acá también se incluye un sector especial donde se almacenaran los instrumentos de mediciones tales como phmetro, termómetro digital y otros.

7.6.1.2.4 Estimación de las dimensiones del área del pozo de lixiviado.

Para determinar las dimensiones del pozo se considera que debe tener la capacidad de recibir los lixiviados de las pilas de compostaje si los hubiera y a la vez de él se obtendrá el líquido para humedecer las pilas durante los volteos. Por lo cual las dimensiones escogidas serán:

Profundidad: 3 m

Ancho: 2 m

Largo: 3 m

Volumen: 18 m^3

7.6.1.2.5. Estimación del área de compostación activa.

El área de compostación activa debe tener la capacidad de recibir las cantidades de mezcla destinadas a compostaje. Teniendo en cuenta que la cantidad de mezcla húmeda inicial a compostar es de 13,264 y 76,635 toneladas para el compostaje A y B respectivamente, que corresponden a la capacidad de cada una de las 10 pilas tratadas en



esta etapa, según se determinó en el Capítulo de Estudio de Mercado se estima formar pilas de 32,39 y 165,64 m³ cada tres días, las que permanecen en la cancha de compostación durante los 30 días que dure el proceso de compostación activa.

Las dimensiones del área de compostación activa de la planta fueron calculadas de forma aproximada como se señala a continuación:

Compostaje A

- Tiempo de compostaje: 30 días
- Dimensiones de pila: 4 m de ancho, 2 m alto y 8,1 m largo
- Área base pila: 32,4 m²
- Separación entre pilas: 4 m
- Área necesaria para 5 pilas (32,4*5) = 162 m²
- Área necesaria para pasillos = (separación entre pilas * largo pila) = (4*8,1) = 32,4 m² * 6 = 194,4 m²

$$\text{Área de compostaje A} = 162 + 194,4 = 356,4 \text{ m}^2$$

Compostaje B

- Tiempo de compostaje: 30 días
- Dimensiones de pila: 4 m de ancho, 2 m alto y 41,4 m largo
- Área base pila: 165,6 m²
- Separación entre pilas: 4 m
- Área necesaria para 5 pilas (165,6*5) = 828 m²
- Área necesaria para pasillos = (separación entre pilas * largo pila) = (4*41,4) = 165,6 m² * 6 = 993,6 m²

$$\text{Área de compostaje B} = 828 + 993,6 = 1821,6 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de compostaje total} = \text{área de compostaje A} + \text{Área compostaje B} = 2.178 \text{ m}^2$$



7.6.1.2.6. Estimación del área de maduración y secado.

Una vez finalizada la etapa de compostación activa la cantidad de compost bruto producido se traslada a la segunda etapa que es de maduración y secado para terminar con el proceso final del compost. Las 10 pilas formadas en esta etapa permanecerán en la cancha de maduración y secado por 60 días.

Compostaje A

- Volumen de la pila a curar: $18,7 \text{ m}^3$
 - Volumen de las 5 pilas: $18,7 * 5 = 93,5 \text{ m}^3$
 - Se considera la formación de 5 pilas en forma piramidal alargada en el área de maduración. Tiempo de maduración: 60 días
 - Dimensiones pila de maduración: 4,7 m de largo, 2 m de alto y 4 m ancho.
 - Área base pila: $18,8 \text{ m}^2$
 - Separación entre pilas de maduración: 2 m
 - Área necesaria para 5 pilas de maduración (sin espacio entre pilas) = 94 m^2
 - Área de separación entre pilas = [separación entre pilas de maduración * largo de pilas] = $(2*4,7) = 9,4 * 6 = 56,4 \text{ m}^2$
- Área de maduración compostaje A = $94 + 56,4 = 150,4 \text{ m}^2$

Compostaje B

- Volumen de la pila a curar: $127,4 \text{ m}^3$
- Volumen de las 5 pilas: $127,4 \text{ m}^3 * 5 = 637 \text{ m}^3$
- Se considera la formación máxima de cuatro pilas en forma piramidal sobre área de maduración. Tiempo de maduración: 60 días
- Dimensiones pila de maduración: 32 m de largo, 2 m de alto y 4 m ancho.
- Área base pila: 128 m^2
- Separación entre pilas de maduración: 2 m
- Área necesaria para 5 pilas de maduración (sin espacio entre pilas) = 640 m^2



- Área de separación entre pilas = [separación entre pilas de maduración* largo de pilas] = $(2*32) = 64 * 6 = 384 \text{ m}^2$

$$\text{Área de maduración compostaje B} = 640 + 384 = 1.024 \text{ m}^2$$

$$\text{Área de maduración total} = \text{área de maduración compostaje A} + \text{área de maduración compostaje B} = 150,4 \text{ m}^2 + 1.024 \text{ m}^2 = \mathbf{1.174 \text{ m}^2}$$

7.6.1.2.7. Estimación del área de cribado.

El retiro de las pilas se realizará con el minicargador desde la zona de curado para ser pasada por la criba y depositada momentáneamente en esta zona de cribado. Posteriormente, la fracción de material de cribado y el rechazo será depositada en el área de almacenamiento del producto final, posteriormente los rechazos del tamizado se retornan a la etapa de compostación activa

Compostaje A

- Masa de producto final a cribar: $5.749 * 5 = 28.745 \text{ Kg}$.
- Si se considera una densidad del compost de 500 kg/ m^3 , entonces se obtiene un volumen $57,5 \text{ m}^3$.
- Volumen del producto final = $57,5 * 0,9 = 51,8 \text{ m}^3$ (se considera un 90% de eficiencia del proceso de cribado).
- Dimensiones de pila cribada = 2 m de alto y 10 m de diámetro.
- Área base de pila cribada = $78,5 \text{ m}^2$
- Volumen de material de rechazo = $5,7 \text{ m}^3$
- Dimensiones de pila material de rechazo = 1 m de alto y 4,7 m de diámetro.
- Área base de material de rechazo = 17 m^2

$$\text{Área cribado Compostaje A} : 78,5 \text{ m}^2 + 17 \text{ m}^2 = \mathbf{150,5 \text{ m}^2}$$



Compostaje B

- Masa de producto final a cribar: $38.165 * 5 = 190.825$ Kg.
- Masa del producto final = $190.825 \text{ kg.} * 0,9 = 171.743 \text{ kg.}$ (se considera un 90% de eficiencia del proceso de cribado).
- Si se considera una densidad del compost de 500 kg/ m^3 , entonces se obtiene un volumen final de $343,5 \text{ m}^3$.
- Dimensiones de 5 pilas cribadas = 2 m de alto y 11,5 m de diámetro. (para cada una de las 5 pilas)
- Área base de cada pila cribada = 103 m^2
- Área de 5 pilas cribadas = 515 m^2
- Separación entre pilas = 1 m
- Área total espacio entre pilas = separación entre pilas * diámetro de pila * número de pilas = $1*11,5*5 = 57,5 \text{ m}^2$
- Volumen de material de rechazo = $38,16 \text{ m}^3$
- Dimensiones de pila material de rechazo = 2 m de alto y 8,5 m de diámetro.
- Área base de material de rechazo = $57,3 \text{ m}^2$.

Área cribado Compostaje B: $515 \text{ m}^2 + 57,3 \text{ m}^2 + 57,5 \text{ m}^2 = \mathbf{629 \text{ m}^2}$

Área de cribado total: Área cribado Compostaje A + Área cribado Compostaje B = $150,5 \text{ m}^2 + 629 \text{ m}^2 = 779,5 \text{ m}^2 + 4,5 \text{ m}^2$ (Área que ocupa la criba) = $\mathbf{784 \text{ m}^2}$



2.6.1.2.8 Área de almacenamiento total

Para obtener el área de almacenamiento total se deben considerar las siguientes subáreas:

Compostaje A

Almacenamiento de producto final

- Tiempo de almacenamiento: 60 días
- Área base de pila cribada = $78,5 \text{ m}^2$

Área total de almacenamiento de producto final = $78,5 \text{ m}^2$

Almacenamiento de material de rechazo

- Tiempo de almacenamiento: 15 días
- Área base de material de rechazo = 17 m^2

Área total de almacenamiento de material de rechazo = 17 m^2

Almacenamiento de materia prima (aserrín)

- Se considera la utilización de 1.474 kg. de aserrín por pila y considerando una densidad de 450 kg/m^3 , cada pila tiene un volumen de $3,3 \text{ m}^3$, la cual será de forma de cono.

- Tiempo de almacenamiento materia prima = 15 días.
- Dimensiones de pila de materia prima = 1 m de altura y 2,5 m de diámetro
- Área base de pila de materia prima: $5,0 \text{ m}^2$
- Área total de pila de materia prima = (base de la pila * número de pilas) = $5,0 * 5 = 25 \text{ m}^2$.

Área total de almacenamiento de materia prima = 25 m^2

Almacenamiento de minicargador

Se considera un área de almacenamiento para el minicargador de 17 m^2

Área total de almacenamiento total compostaje A = $78,5 \text{ m}^2 + 17 \text{ m}^2 + 25 \text{ m}^2 + 17 \text{ m}^2 = 137,5 \text{ m}^2$



Compostaje B

Almacenamiento de producto final

- Tiempo de almacenamiento: 60 días
- Área base de cada pila de almacenamiento = 103 m^2
- Separación entre pilas = 1 m
- Área total de pilas de compost = (base de pila de compost * numero pilas de compost) = $103*5 = 515 \text{ m}^2$
- Área total espacio entre pilas = separación entre pilas * diámetro de pila * numero de pilas = $1*11,5*5 = 57,5 \text{ m}^2$

$$\text{Área total de almacenamiento de producto final} = 515 + 57,5 = 572,5 \text{ m}^2$$

Almacenamiento de material de rechazo

- Tiempo de almacenamiento: 15 días
- Área base de material de rechazo = $57,3 \text{ m}^2$.

$$\text{Área total de almacenamiento de material de rechazo} = 57,3 \text{ m}^2$$

Almacenamiento de materia prima (compost reciclado)

- Se considera la utilización de 47.160 kg. de compost reciclado por pila y considerando una densidad de 500 kg/m^3 , cada pila tiene un volumen de $94,32 \text{ m}^3$, la cual será de forma de cono.

- Tiempo de almacenamiento materia prima = 15 días.
- Dimensiones de pila de materia prima = 3 m de altura y 10 m de diámetro
- Área base de pila de materia prima: $78,5 \text{ m}^2$

$$\text{Área total de pila de materia prima} = (\text{base de la pila} * \text{numero de pilas}) = 78,5 * 1 = 78,5 \text{ m}^2.$$

$$\text{Área total de almacenamiento de materia prima} = 78,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total de almacenamiento total Compostaje B} = 572,5 \text{ m}^2 + 57,3 \text{ m}^2 + 78,5 \text{ m}^2 = 708,3 \text{ m}^2$$



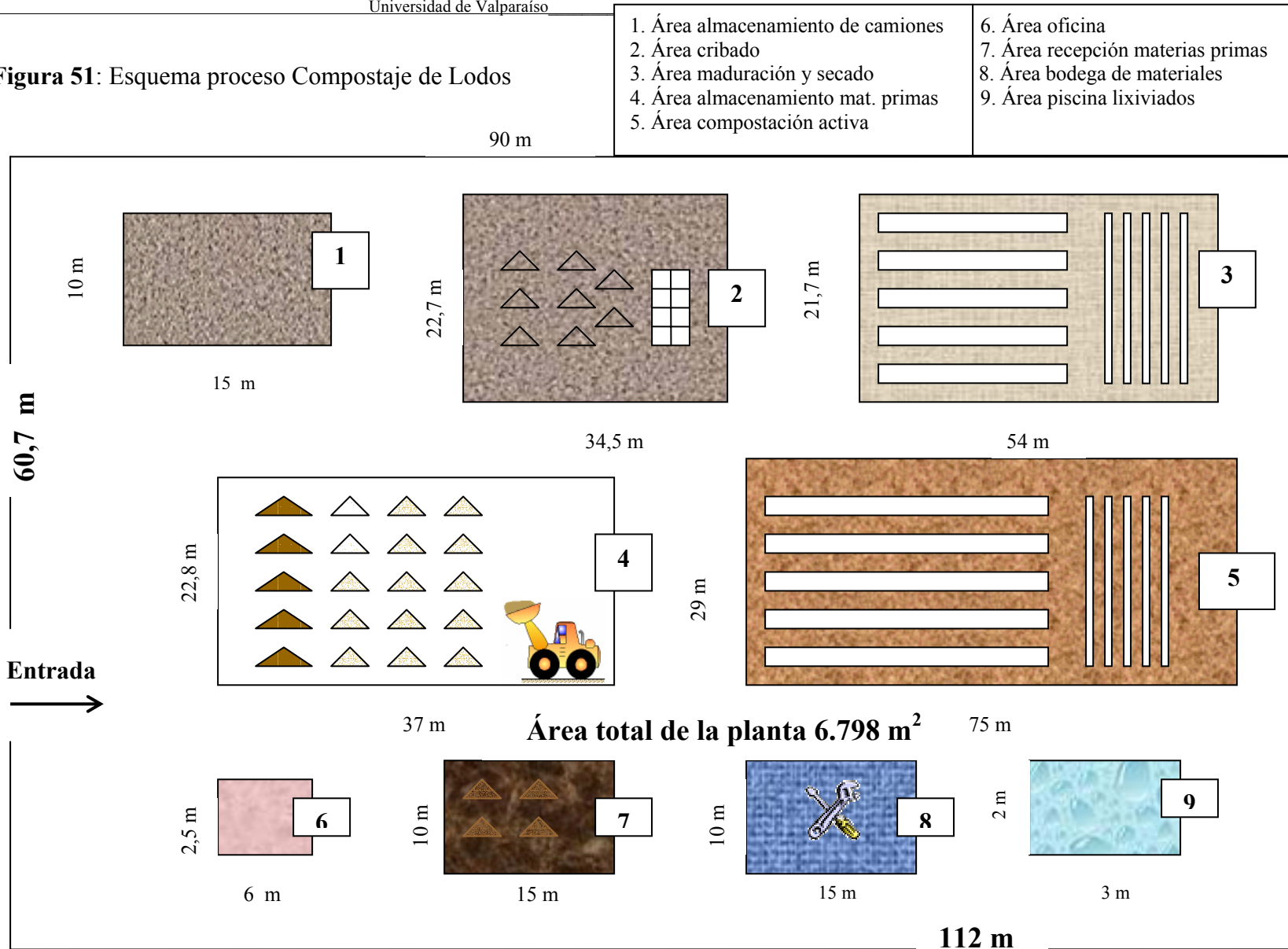
Área total de almacenamiento total Compostaje A y B = $137,5 \text{ m}^2 + 708,3 \text{ m}^2 = 845,8 \text{ m}^2$

OBS: El mini cargador no se consideró en esta ocasión ya que fue considerado anteriormente.

En la Figura 51, se presenta un esquema de la planta de compostaje en el cual se puede observar la distribución de áreas, con sus respectivas dimensiones.



Figura 51: Esquema proceso Compostaje de Lodos





7.6.2. TÉCNICA DE LOMBRICULTURA

7.6.2.1. Estimación de las dimensiones de las pilas de precompostaje para preparación del alimento, lechos y almacenamiento.

Las dimensiones para pilas de precompostaje con sistema de aireación por volteo deben ser en lo posible de sección trapezoidal o piramidal y el largo depende de la cantidad del material a tratar, se recomienda que la base varíe entre 3 - 4 m y la altura entre 1-2 m (Kiely, 1999). Para los cálculos, se estimará una reducción de 2 m³ por pila debido a que se produce una pérdida de material producto de la inclinación que éstas deben tener.

Según la información obtenida las dimensiones más apropiadas para los lechos de lombricultura deben ser de sección rectangular y el largo depende de la cantidad del material a tratar. Se estima que para el caso de los lechos de lombrices la base varíe entre 0,8 m - 1,20 m y la altura entre 0,25 m – 0,4 m (Bollo, 2001).

Por otro lado se recomienda que la separación ideal entre cada lecho sea de aproximadamente 0,8 m con el fin de facilitar un mejor manejo de éstos. (Bollo, 2001).

7.6.2.1.2. Estimación de las dimensiones de las pilas de precompostaje.

La cantidad de mezcla húmeda inicial a precompostar es de 13,264 toneladas para el compostaje A y 76,635 toneladas para el compostaje B que corresponden a la capacidad de cada una de las 10 pilas destinadas al precompostaje (5 pilas de precompostaje A y 5 de precompostaje B), según los cálculos de balances de masa, se formarán pilas piramidales de 32,39 m³ para compostaje A y 165,64 m³ de compostaje B cada tres días.

Las pilas de precompostaje se distribuirán en 2 filas de cinco pilas cada una. Las dimensiones se determinan de acuerdo al volumen de material a tratar en cada pila, manteniendo fijos la altura y el ancho, variando sólo el largo de estas. Tomando en cuenta estas condiciones, las dimensiones de las pilas son las siguientes:

Pilas de compostaje A: 8,1 m de largo, 4 m de ancho y 2 m de alto



Pilas de compostaje B: 41,4 m de largo, 4 m de ancho y 2 m de alto

Las dimensiones de las pilas son presentadas a continuación:

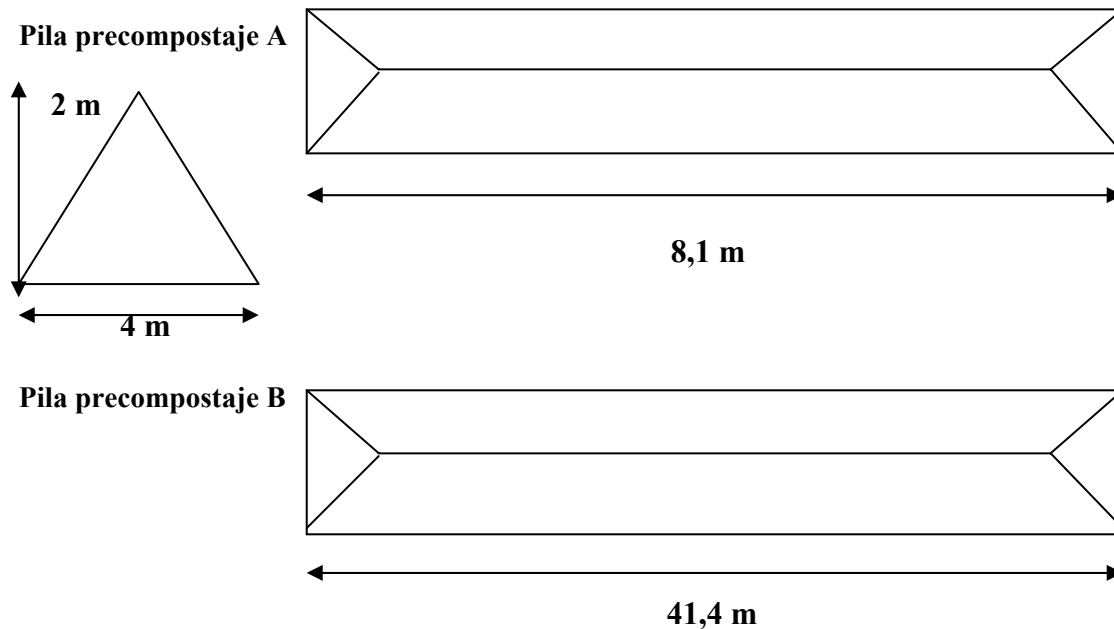


Figura 52: Dimensiones de las pilas de precompostaje.

7.6.2.1.3. Estimación de las dimensiones de los lechos de lombricultura.

Una vez finalizada la etapa de compostación activa la cantidad de material estabilizado para ser inoculados por las lombrices equivale a 7.826 kg y 61.070 kg por pila de compostación. Si se toma en cuenta que las densidades aparentes son 385,71 kg/m³ para Compostaje A y 457,14 kg/m³ para Compostaje B, se estima formar lechos rectangulares de 18,3 m³ para Lombricultura A y 131,6 m³ de Lombricultura B cada tres días.

La distribución de los lechos es en 2 filas de cinco lechos cada una. Las dimensiones de los lechos destinados a la compostación activa con lombrices se determinan de acuerdo al volumen de material a tratar en cada lecho, manteniendo fijos la altura y el ancho de cada lecho, variando sólo el largo de ellos, de acuerdo a esto las dimensiones de



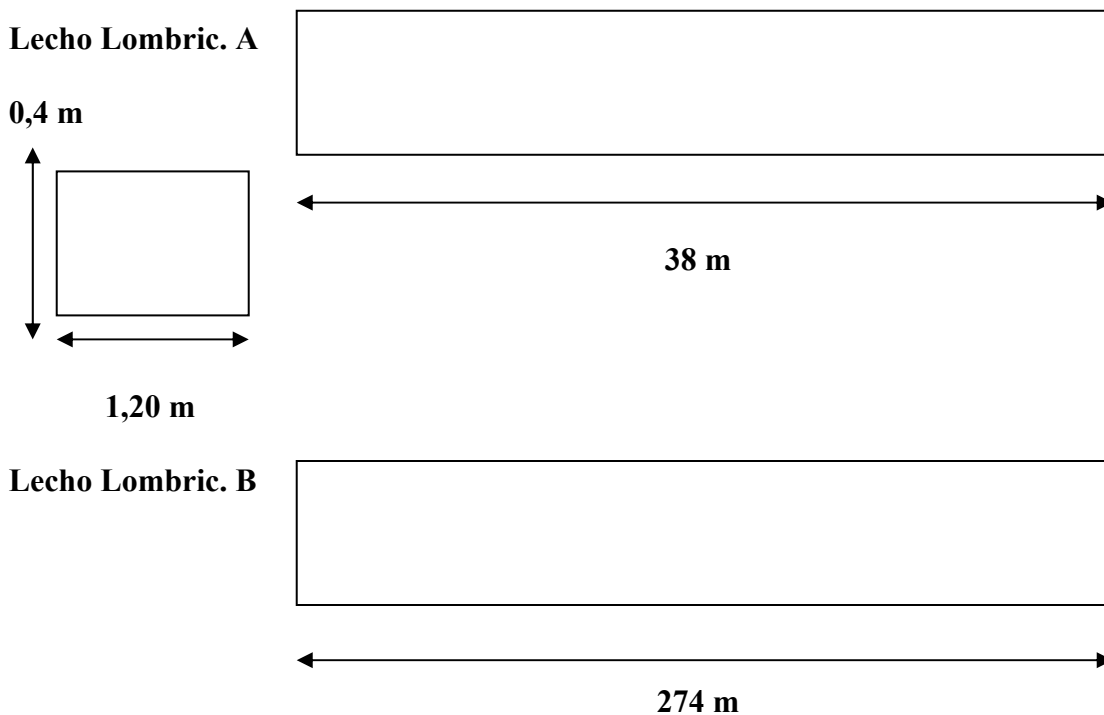
los lechos para la compostación activa con lombrices son las presentadas en la siguiente figura:

Lechos de lombricultura A: 38 m de largo, 1,20 m de ancho y 0,4 m de alto.

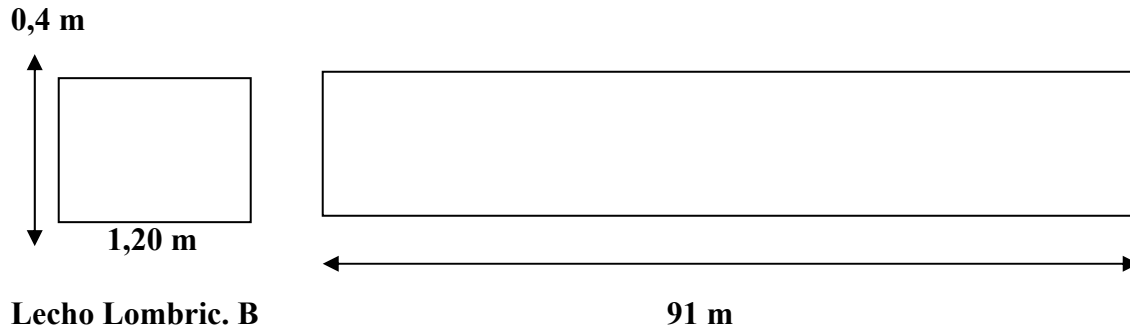
Lechos de lombricultura B: 274 m de largo, 1,20 m de ancho y 0,4 m de alto.

Las dimensiones de los lechos son presentadas en las siguientes figuras.

Figura 53: Dimensiones de los lechos de compostación con lombrices.



Puesto que el largo determinado para el lecho de compostaje B es de un valor poco representativo de lo que tendría un lecho en la realidad, se dividirá este lecho para efectos de distribución de la planta, en 3 lechos menores de 91 m. cada uno, con la finalidad de encontrar un valor mas cercano a la realidad. Así quedarían contemplados 15 lechos en la planta de estas dimensiones:



7.6.2.1.4. Estimación de las dimensiones de las pilas secado y almacenamiento.

Una vez finalizada la etapa de vermicompostación, la cantidad de vermicompost producido asumiendo una densidad aparente de la mezcla de Lombricultura A de $296,3 \text{ kg/m}^3$ y de lombricultura B de $333,3 \text{ kg/m}^3$, es de 4.946 kg y 37.160 kg respectivamente, equivalente a $16,7 \text{ m}^3$ y 111 m^3 de vermicompost por lecho. Las dimensiones de las pilas para la etapa de secado y almacenamiento son las presentadas en figura 54.

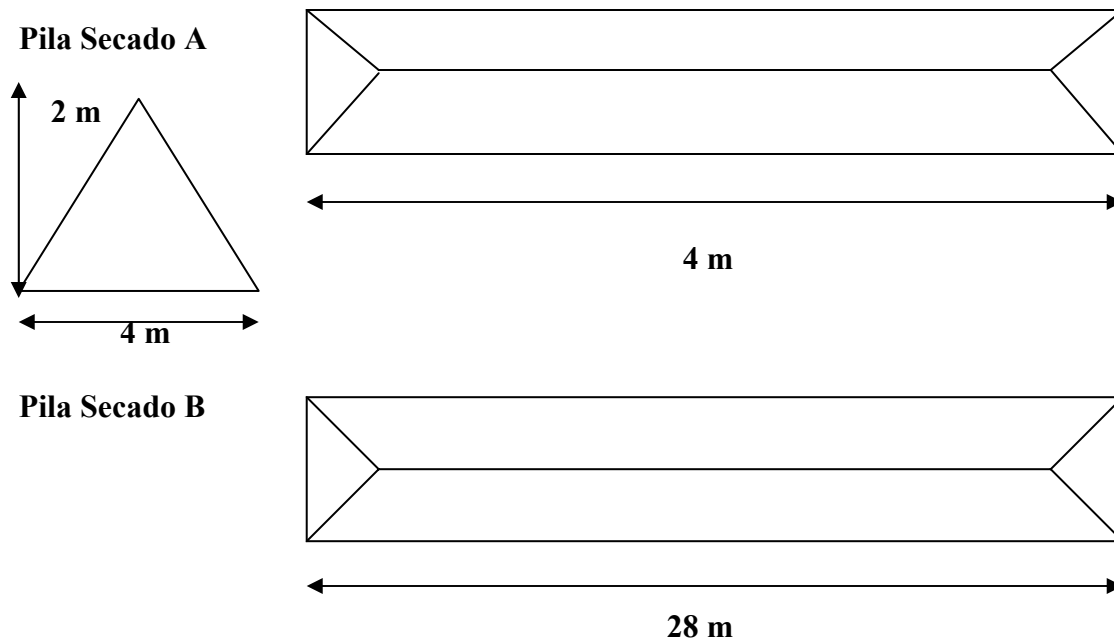


Figura N°54: Dimensiones de las pilas para la etapa de secado y almacenamiento.



7.6.2.2. Estimación de las dimensiones de las áreas necesarias para el proceso de lombricultura.

7.6.2.2.1. Estimación de las dimensiones del área de recepción de camiones.

El área de recepción de camiones debe tener la capacidad permitir la recepción, carga y descarga de los camiones que ingresan las materias primas a la planta y que sacan vermicompost producido, una vez que haya sido vendido. Para ello se estima la necesidad de una superficie de 150 m² (10 x 15) y se trata sólo un espacio físico destinado a la carga y descarga de camiones.

7.6.2.2.2. Estimación de las dimensiones del área de recepción y almacenamiento de materias primas.

Las materias primas involucradas en el proceso de compostaje tales como lodos, compost reciclado y aserrín deben ser recibidas desde los camiones tolva, para ser descargadas en el lugar de almacenamiento, el cual debe contar con un fácil acceso y con una zona de maniobras amplia para los vehículos. Los lodos recibidos de los camiones tolva, deben ser descargados en las mismas instalaciones de almacenaje del aserrín y compost reciclado, pero con la debida separación hasta el momento de ser mezclados para la construcción de los lechos, ó bien, ser descargados directamente a las canchas de mezclado para iniciar la operación. El lugar de recepción y almacenamiento debe constar entonces de un área de 150 m² (10 x 15), además de un techo de zinc que proteja los materiales en caso de lluvia.

7.6.2.2.3. Estimación de las dimensiones del área de bodega de materiales y de herramientas.

Los materiales involucrados en el proceso de compostaje tales como palas, carretillas, clavos, martillos, serruchos, los mini cargadores frontales deben ser almacenados en una bodega especialmente destinada para ello. Además, en esta área se va realizar el tamizado del vermicompost producido con un tamiz de 0,18 cm y se ensacará en bolsas de 50 kilos en caso de que así se desee comercializar, los rechazos del tamizado se retornan a la etapa de compostación activa. La bodega de materiales y herramientas debe



constar entonces de un área de 150 m^2 (10 x 15), además de un techo de zinc que proteja los materiales en caso de lluvia.

7.6.2.2.4 Estimación de las dimensiones del área del pozo de lixiviado.

Para determinar las dimensiones del pozo se considera que debe tener la capacidad de decepcionar los lixiviados de las pilas de compostaje y a la vez de él se obtendrá el líquido para humedecer las pilas durante los volteos. Por lo cual las dimensiones escogidas serán:

Profundidad: 3 m

Ancho: 2 m

Largo: 3 m

Volumen: 18 m^3

7.6.2.2.5. Estimación del área de precompostaje.

Las dimensiones del área de precompostación de la planta se calcularon como se señala a continuación:

Precompostaje A

- Tiempo de compostaje: 30 días
- Dimensiones de pila: 4 m de ancho, 2 m alto y 8,1 m largo
- Área base pila: $32,4 \text{ m}^2$
- Separación entre pilas: 4 m
- Área necesaria para 5 pilas $(32,4 * 5) = 162 \text{ m}^2$
- Área necesaria para pasillos = (separación entre pilas * largo pila) = $(4 * 8,1) = 32,4 \text{ m}^2 * 6 = 194,4 \text{ m}^2$

$$\text{Área de compostaje A} = 162 + 194,4 = \mathbf{356 \text{ m}^2}$$



Precompostaje B

- Tiempo de compostaje: 30 días
 - Dimensiones de pila: 4 m de ancho, 2 m alto y 41,4 m largo
 - Área base pila: $165,6 \text{ m}^2$
 - Separación entre pilas: 4 m
 - Área necesaria para 5 pilas $(165,6 * 5) = 828 \text{ m}^2$
 - Área necesaria para pasillos = (separación entre pilas * largo pila) = $(4 * 41,4) = 165,6 \text{ m}^2 * 6 = 993,6 \text{ m}^2$
- Área de compostaje B = $828 + 993,6 = 1821,6 \text{ m}^2$

$$\text{Área de precompostaje total} = \text{área de compostaje A} + \text{Área compostaje B} = 2.178 \text{ m}^2$$

7.6.2.3 Estimación del área de compostación activa con lombrices y secado del vermicompost.

El área de compostación activa debe tener la capacidad de recibir las cantidades de mezcla destinadas al proceso de lombricultura. Teniendo en cuenta que la cantidad de mezcla húmeda inicial a vermicompostar es de 7.826 y 61.070 kg para la lombricultura A y B respectivamente, que corresponden a la capacidad de cada una de los 10 lechos destinados a la lombricultura, según se determinó en la sección de balances de masa se estima formar lechos rectangulares de $18,3 \text{ m}^3$ y $131,6 \text{ m}^3$ cada tres días, los que permanecen en la cancha de compostación durante los 90 días que dure el proceso.

Las dimensiones del área de compostación activa con lombrices de la planta fueron calculadas de forma aproximada como se señala a continuación:



Lombricultura A

- Tiempo de compostaje con lombrices: 90 días
- Dimensiones de los lechos : 1,20 m de ancho, 0,4 m alto y 38 m largo
- Área base del lecho: $45,6 \text{ m}^2$
- Separación entre lechos: 0,8 m
- Área necesaria para 5 lechos $(45,6 * 5) = 228 \text{ m}^2$
- Área necesaria para pasillos = (separación entre lechos * largo pila) = $(0,8 * 38) = 30,4 \text{ m}^2 * 6 = 182,4 \text{ m}^2$

$$\text{Área de lombricultura A} = 228 + 182,4 = \mathbf{410,4 \text{ m}^2}$$

Lombricultura B

- Tiempo de compostaje con lombrices 45 días
- Dimensiones de los lechos: 1,20 m de ancho, 0,4 m alto y 91m de largo
- Área base del lecho: 109 m^2
- Separación entre lechos: 0,8 m
- Área necesaria para 15 lechos $(109 * 15) = 1.635 \text{ m}^2$
- Área necesaria para pasillos = (separación entre lechos * largo lecho) = $(0,8 * 91) = 72,8 \text{ m}^2 * 17 = 1.238 \text{ m}^2$

$$\text{Área de Lombricultura B} = 1.635 + 1.238 = \mathbf{2.873 \text{ m}^2}$$

Área de Lombricultura y secado total = área de lombricultura A + área lombricultura

$$\mathbf{B = 3.283 \text{ m}^2}$$



7.6.2.4 Estimación del área de cribado del vermicompost.

El recogimiento del material se realizará de forma manual utilizando una carretilla para dicho propósito para ser pasada por la criba y dispuesta transitoriamente en esta zona de cribado. Luego, la fracción de material de cribado y el rechazo será depositada en el área de almacenamiento del producto final.

Lombricultura A

- Masa de producto final a cribar: $4.946 * 5 = 24.730$ Kg.
- Masa del producto final = $24.730 \text{ kg.} * 0,9 = 22.257 \text{ kg.}$ (se considera un 90% de eficiencia del proceso de cribado).
- Si se considera una densidad del vermicompost de 500 kg/ m^3 , entonces se obtiene un volumen final de $44,5 \text{ m}^3$.
- Dimensiones de pila cribada = 2 m de alto y 9 m de diámetro.
- Área base de pila cribada = 67 m^2
- Masa del material de rechazo = $24.730 \text{ kg} - 22.257 \text{ kg} = 2.473 \text{ kg}$
- Volumen de material de rechazo = 5 m^3
- Dimensiones de pila material de rechazo = 1 m de alto y 3 m de diámetro.
- Área base de material de rechazo = $7,5 \text{ m}^2$

$$\text{Área cribado Lombricultura A: } 67 \text{ m}^2 + 7,5 \text{ m}^2 = \mathbf{74,5 \text{ m}^2}$$

Lombricultura B

- Masa de producto final a cribar: $37.160 * 5 = 185.800$ Kg.
- Masa del producto final = $185.800 \text{ kg.} * 0,9 = 167.220 \text{ kg.}$ (se considera un 90% de eficiencia del proceso de cribado).
- Si se considera una densidad del vermicompost de 500 kg/ m^3 , entonces se obtiene un volumen final de $334,4 \text{ m}^3$.
- Dimensiones de 5 pilas cribadas = 2 m de alto y 11,4 m de diámetro. (para cada una de las 5 pilas)



- Área base de pila cribada = $103,7 \text{ m}^2$
- Área de 5 pilas cribadas = 519 m^2
- Separación entre pilas = 1 m
- Área total espacio entre pilas = separación entre pilas * diámetro de pila * número de pilas = $1 * 11,4 * 5 = 57 \text{ m}^2$
- Masa del material de rechazo = $185.800 \text{ kg} - 167.220 \text{ kg} = 18.580 \text{ kg}$
- Volumen de material de rechazo = $37,1 \text{ m}^3$
- Dimensiones de pila material de rechazo = 2 m de alto y 8,4 m de diámetro.
- Área base de material de rechazo = 56 m^2

$$\text{Área cribado Lombricultura B: } 519 \text{ m}^2 + 57 \text{ m}^2 + 56 \text{ m}^2 = \mathbf{632 \text{ m}^2}$$

Área de cribado total: Área cribado Lombricultura A + Área cribado Lombricultura B = $74,5 \text{ m}^2 + 632 \text{ m}^2 = 707 \text{ m}^2 + 4,5 \text{ m}^2$ (Área que ocupa la criba) = **712 m^2**

7.6.2.5 Estimación del área de almacenamiento total

Para obtener el área de almacenamiento total se deben considerar las siguiente subáreas:

Lombricultura A

Almacenamiento de producto final

- Tiempo de almacenamiento: 60 días
- Área base de pila cribada = 67 m^2

$$\mathbf{\text{Área total de almacenamiento de producto final} = 67 \text{ m}^2}$$

Almacenamiento de material de rechazo

- Tiempo de almacenamiento: 15 días
- Área base de material de rechazo = $7,5 \text{ m}^2$

$$\mathbf{\text{Área total de almacenamiento de material de rechazo} = 7,5 \text{ m}^2}$$



Almacenamiento de materia prima (aserrín)

- Se considera la utilización de 1.474 kg. de aserrín por pila de precompostaje y considerando una densidad de 450 kg/m^3 , cada pila tiene un volumen de $3,3 \text{ m}^3$, la cual será de forma de cono.
- Tiempo de almacenamiento materia prima = 15 días.
- Dimensiones de pila de materia prima = 1 m de altura y 2,5 m de diámetro
- Área base de pila de materia prima: $5,0 \text{ m}^2$
- Área total de pila de materia prima = (base de la pila * número de pilas) = $5,0 * 5 = 25 \text{ m}^2$.

Área total de almacenamiento de materia prima = 25 m^2

Almacenamiento de minicargador

Se considera un área de **almacenamiento para el minicargador de 17 m^2**

Área total de almacenamiento total compostaje A = $67 \text{ m}^2 + 7,5 \text{ m}^2 + 25 \text{ m}^2 + 17 \text{ m}^2 = 116,5 \text{ m}^2$

Lombricultura B

Almacenamiento de producto final

- Tiempo de almacenamiento: 60 días
- Área base de 5 pilas cribadas = 519 m^2

Área total de almacenamiento de producto final = 519 m^2

Almacenamiento de material de rechazo

- Tiempo de almacenamiento: 15 días
- Área base de material de rechazo = 56 m^2

Área total de almacenamiento de material de rechazo = 56 m^2



Almacenamiento de materia prima (compost reciclado)

- Se considera la utilización de 47.160 kg. de compost reciclado por pila y considerando una densidad de 500 kg/m^3 , cada pila tiene un volumen de $94,32 \text{ m}^3$, la cual será de forma de cono.
- Tiempo de almacenamiento materia prima = 15 días.
- Dimensiones de pila de materia prima = 3 m de altura y 10 m de diámetro
- Área base de pila de materia prima: $78,5 \text{ m}^2$

Área total de pila de materia prima = (base de la pila * número de pilas) = $78,5 * 1 = 78,5 \text{ m}^2$.

Área total de almacenamiento de materia prima = $78,5 \text{ m}^2$

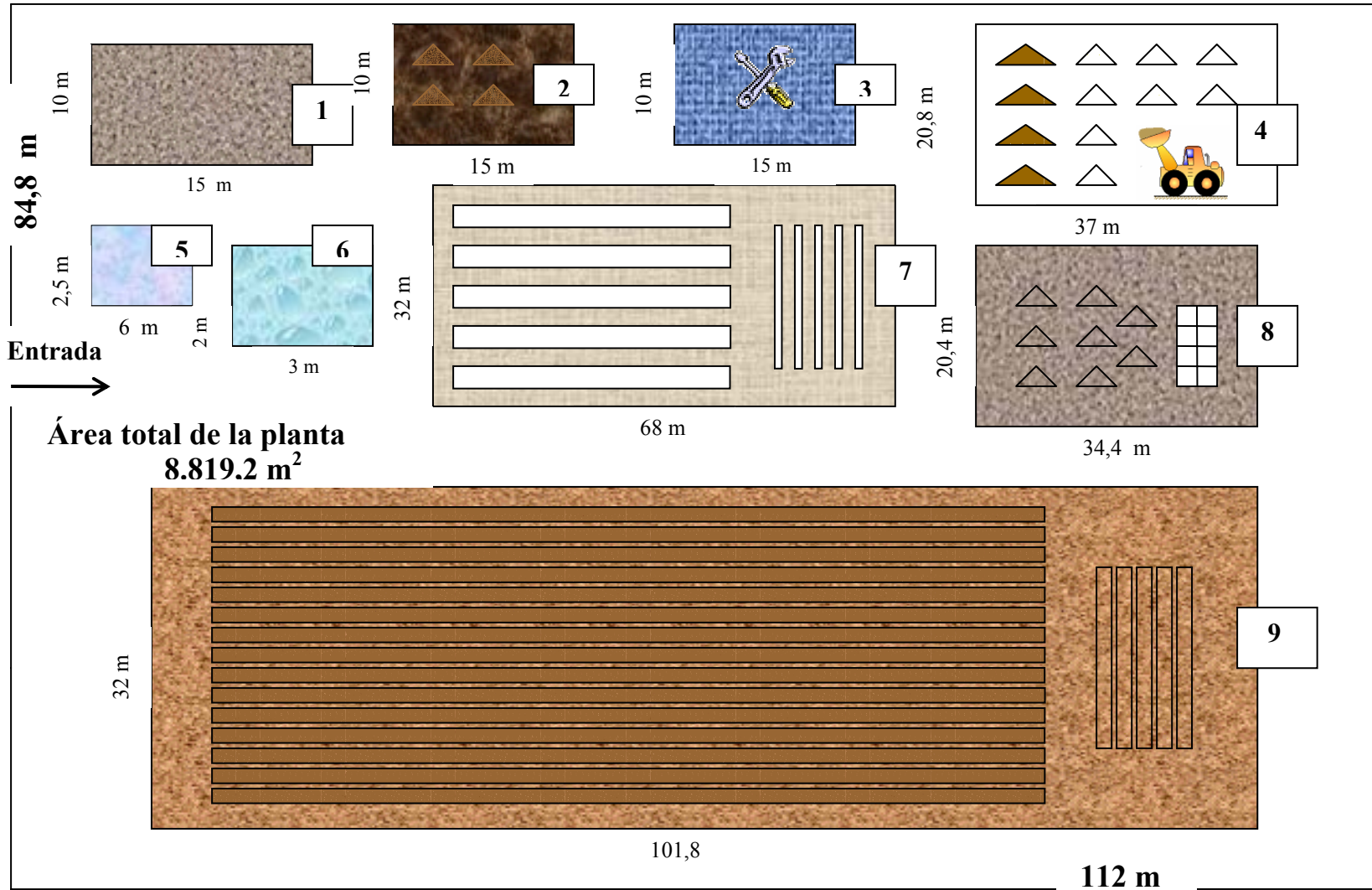
Área total de almacenamiento total Lombricultura B = $519 \text{ m}^2 + 56 \text{ m}^2 + 78,5 \text{ m}^2 = 653,5 \text{ m}^2$

OBS: El mini cargador no se consideró en esta ocasión ya que fue considerado anteriormente.

Área total de almacenamiento total Lombricultura A y B = $116,5 \text{ m}^2 + 653,5 \text{ m}^2 = 770 \text{ m}^2$

- | | |
|--------------------------------------|------------------------------|
| 1. Área almacenamiento de camiones | 6. Pozo de recolección |
| 2. Área recepción de materias primas | 7. Área precompostaje |
| 3. Área bodega de materiales | 8. Área cribado |
| 4. Área almacenamiento mat. Primas | 9. Área lechos lombricultura |
| 5. Área oficina | |

Figura 55: Esquema proceso de Lombricultura





CAPITULO 8: ESTUDIO ECONÓMICO



En este capítulo se evalúan los costos y beneficios económicos asociados a la instalación, puesta en marcha y operación de una planta de compostaje y lombricultura de lodos secundarios provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas, con sistemas de pilas volteadas y lechos respectivamente. Este análisis tiene como propósito evaluar la rentabilidad de la inversión a realizar en el proyecto mediante un criterio de evaluación conocido como tasa interna de retorno TIR y el valor actual neto VAN.

Los puntos involucrados en el análisis de rentabilidad del proyecto son los siguientes:

- Inversión inicial total o Costos de Inversión
- Costos de operación
- Ingresos por ventas

Los costos y flujos monetarios se expresan en UF considerando su valor al 12 de Mayo de 2005 el cual asciende 17311.95 pesos.



8.1. COSTOS DE INVERSIÓN

Comprende la suma de los activos fijos y capital de trabajo. A continuación se detalla cada uno de ellos:

8.1.1 ACTIVOS FIJOS

Se entiende por activo fijo o tangible, los bienes propiedad de la empresa que se deben asumir al inicio de la obra, ya que cubren toda la infraestructura de la planta, como terrenos, obras y edificaciones, maquinaria, equipos, mobiliario, vehículos de transporte y herramientas necesarios para el funcionamiento de la planta. (Baca, 2001). A continuación se detalla los costos de la inversión física necesaria para la construcción de las plantas:

Tabla 34: Costos de la inversión física necesaria para la planta de compostaje

Inversión Física	Valor (UF)	Depreciación anual
Terreno de 8.000 mts ² (con cercado)	1.300	---
Instalación eléctrica y arranque de agua potable *	218	---
Oficina equipada (container)	100	10
Galpón almacenamiento de camiones	100	10
Bodega de materiales	100	10
Galpón recepción de materias primas	100	10
Galpón de envasado y almacenamiento	164	16,4
Pozo de recolección del lixiviado	18	---
Total	2.100	56,4

* El coste de la instalación eléctrica y arranque de agua potable se estima en un 10% del valor total por concepto de equipos. (Ramírez, 2004)

**Tabla 35:** Costos de la inversión física necesaria para la planta de lombricultura

Inversión Física	Valor (UF)	Depreciación anual
Terreno de 10.000 mts ² (con cercado)	1.730	---
Instalación eléctrica y arranque de agua potable *	217	---
Oficina equipada (container)	100	10
Galpón almacenamiento de camiones	100	10
Bodega de materiales	100	10
Galpón recepción de materias primas	100	10
Galpón envasado y almacenamiento	164	16,4
Tapas de madera para lechos (3.720 unidades)	51	---
Lombrices Eisenia Foetida (2.500 lomb/m ² de lecho)	57	---
Pozo de recolección de lixiviado	18	---
Total	2.637	56,4

* El coste de la instalación eléctrica y arranque de agua potable se estima en un 10% del valor total por concepto de equipos. (Ramírez, 2004)

A continuación, en las Tablas N° 36 y N° 37 se muestran los costos de maquinarias y equipos necesarios tomando en cuenta su depreciación. Referente a esto último, se toma en cuenta una depreciación lineal a 10 años de vida útil con valor residual de cero, la depreciación se utiliza como un escudo tributario, ya que el porcentaje de depreciación va a los costos totales causando un pago menor de impuestos, por lo tanto es una cantidad de dinero que se ha recuperado de la inversión inicial a través de los años (Baca, 2001). El valor residual corresponde al valor de venta de equipos y maquinarias después de su vida útil.



Tabla N° 36: Costos y depreciación lineal de los equipos y maquinarias necesarias para la planta de Compostaje:

Equipos, maquinarias o accesorios necesarios	Descripción actividad	Costo unitario en UF	Cantidad	Costo total en UF	Depreciación anual
Aspersores de riego	Riego de pilas	0,4 ⁶	6	2,4	-
Camión amplirrol	Para traslado de lodos y materias primas	790 ⁸	1	790	79,0
Carretillas	Para traslado del compost	0,9 ⁶	2	1,8	-
Palas	Para envasado de compost	0,6 ⁶	2	1,2 ⁶	-
Criba	Cernido de compost	24 ⁷	1	24	2,4
Termómetros bimetálicos	Toma de temperatura de las pilas	20 ¹⁰	2	40	4,0
Higrómetro Tai-Pan	Toma de humedad de las pilas	2,3 ¹⁰	1	2,3	-
Conductivímetro- ph metro	Toma de conductividad y pH de las pilas	8,6 ¹⁰	1	8,6	-
Mini cargador frontal	Armado y volteo de pilas	705 ⁸	1	705	70,5
Balanza Romana	Peso de sacos de compost	11 ⁹	1	11	1,1
Cosedora de sacos	Para cerrar sacos de compost	12 ⁹	1	12	1,2
Total				1.598	158,2

⁶ Fuente: SODIMAC S.A

⁷ Fuente: EMISON S.A

⁸ Fuente: Sidgo Tek S.A

⁹ Fuente: Olimen Ltda.

¹⁰ Fuente: Waare Instruments

**Tabla N°37:** Costos y depreciación lineal de los equipos y maquinarias necesarias para la planta de lombricultura:

Equipos, maquinarias o accesorios necesarios	Descripción actividad	Costo unitario en UF	Cantidad	Costo total en UF	Depreciación anual
Mangueras Rehau	Riego de lechos	0,2 ⁶	6	1,2	---
Camión tolva	Para traslado de materias primas	790 ⁸	1	790	79,0
Carretillas	Para envasado del humus	0,9 ⁶	2	1,8	---
Palas	Para envasado de humus y armado de camas	0,6 ⁶	5	3	---
Criba	Cernido de humus	24 ⁷	1	24	2,4
Termómetro digital Digi-thermo (-55 °C / 148,8 °C	Toma de temperatura de las camas	1,8 ¹⁰	1	1,8	---
Higrómetro Tai-Pan	Toma de humedad de las camas	2,3 ¹⁰	1	2,3	---
Conductivímetro- ph metro Extech 341350 and 341350P Oyster pH & Conductivity	Toma de conductividad y pH de las camas	8,6 ¹⁰	1	8,6	---
Mini cargador frontal	Armado y volteo de pilas	705 ⁸	1	705	70,5
Balanza Romana	Peso de sacos de compost	11 ⁹	1	11	1,1
Termómetros bimetálicos	Toma de temperatura de las pilas	20 ¹⁰	2	40	4,0
Cosedora de sacos	Para cerrar sacos de compost	12 ⁹	1	12	1,2
Total				1.601	158,2

⁶ Fuente: SODIMAC S.A⁷ Fuente: EMISON S.A⁸ Fuente: Sidgo Tek S.A⁹ Fuente: Olimen Ltda.¹⁰ Fuente: Waare Instruments



Resumen de los costos de los activos fijos necesarios para las plantas:

Tabla N°38: Activos fijos necesarios planta de Compostaje

Resumen activos fijos	Valor (UF)
Inversión física	2.100
Equipos y maquinarias	1.598
Costos por imprevistos y contingencias	369,8
Total	4.067,8

Tabla N°39: Activos fijos necesarios planta de Lombricultura

Resumen activos fijos	Valor (UF)
Inversión física	2.637
Equipos y maquinarias	1.601
Costos por imprevistos y contingencias	423,8
Total	4.661,8

Obs: Los costos por imprevistos y contingencias son considerados como un 10% de los costos o activos fijos (inversión física + equipos y maquinarias) (Arriagada *et al.*, 2004)

8.1.2 CAPITAL DE TRABAJO

El capital de trabajo corresponde a los fondos necesarios para financiar adecuadamente el funcionamiento de la planta, considerando el periodo que se tarda en salir a la venta el producto y en obtener utilidades por la venta de éste. Para el caso del compostaje y lombricultura este período se considera de 5 meses, por lo tanto la planta no presentará ingresos por venta del producto durante ese período, esta suposición se basa en tiempo de producción de compost y en la capacidad de almacenamiento de la planta diseñada.

Los requerimientos de capital de trabajo han sido detallados de la siguiente manera:

- Pago de mano de obra
- Materias primas
- Gastos de administración (publicidad, patente comercial, premiso servicio de salud del ambiente, cuota de aseo municipal)
- Gastos indirectos de fabricación: seguro



- Gastos generales: teléfono, consumo eléctrico de alumbrado, consumo eléctrico de equipos, petróleo.

8.1.2.1 Pago mano de obra

La distribución de los costos asociados a las remuneraciones del personal de la planta de compostaje se presenta a continuación

Tabla N°40 Costos asociados a las remuneraciones mensuales del personal de la planta de compostaje:

Personal	Numero	Remuneraciones Unitarias (UF)	Remuneraciones Totales (UF)
Jefe de planta	1	45	45
Secretaria	1	11	11
Contador (honorarios)	1	8	8
Operario supervisor	1	14	14
Operarios	5	8	40
Total	8		118

Tabla N°41 Costos asociados a las remuneraciones mensuales del personal de la planta de lombricultura:

Personal	Numero	Remuneraciones Unitarias (UF)	Remuneraciones Totales (UF)
Gerente	1	45	45
Secretaria	1	11	11
Contador (honorarios)	1	8	8
Operario supervisor	1	14	14
Operarios	5	8	40
Total	8		118



8.1.2.2 Materias Primas

Las materias primas necesarias en las plantas son lodo secundario traído de las plantas de tratamiento de aguas servidas, compost reciclado y aserrín. Los requerimientos de las materias primas se calcularon de acuerdo a lo que se necesita para la formación de cada pila.

Tabla N°42: Materias primas necesarias en la planta de compostaje

Mezcla	Toneladas/ mes	UF/ton	Valor total en UF
Lodo ⁸	117,9	--	--
Aserrín	7,3	0,4	2,92
Compost reciclado	235,8	0,5	117,9
Total			120,8

Tabla N°43: Materias primas necesarias en la planta de lombricultura

Mezcla	Toneladas/mes	UF/ton	Valor total en UF
Lodo ⁵	117,9	--	--
Aserrín	7,3	0,4	2,92
Compost reciclado	235,8	0,5	117,9
Total			120,8

⁸ el lodo utilizado en las plantas de compostaje y lombricultura no se considera como gasto, por el contrario es un cobro que la planta debe hacer a la empresa generadora de lodos.



8.1.2.3 Gastos de las plantas

Dentro de los gastos generales de la planta se encuentran los gastos por consumo de combustible y los por consumo de electricidad.

Consumo de combustible

La maquinaria móvil de las plantas requiere petróleo diesel para su funcionamiento. En la tabla N°44 se indica la maquinaria, su potencia y horas de funcionamiento mensual, correspondiente a cada planta de tratamiento de lodos.

Tabla N°44: Funcionamiento y consumo de las maquinarias de las plantas

Maquinaria	Funcionamiento (h/mes)	Consumo L/mes
1 Minicargador frontal New Holland LS 170	160	320
1 Camión tolva EuroTech 740 E42TZ 6x4	160	510

Se estima que los cargadores frontales con las características indicadas, consumen 2 L/h. y el camión tolva 3,2 L/h. El precio del petróleo diesel se estima en 0,02 UF/L al 12 de Mayo de 2005. Por lo que el coste de combustible para cada maquinaria es de.

Coste combustible minicargador: $320 \text{ L/mes} * 0.02 \text{ UF/L} = 6,4 \text{ UF/ mes}$

Coste combustible camión tolva = $510 \text{ L/mes} * 0.02 \text{ UF/L} = 10.2 \text{ UF/ mes}$

El consumo mensual de combustible por las maquinarias es = 16,6 UF/mes

Consumo de electricidad

Se calcula la demanda de energía eléctrica de los equipos en base de su potencia y tiempo de funcionamiento. Los equipos se indican en la tabla N° 45.



Tabla N° 45: Consumo de energía eléctrica por equipos

Equipo	Potencia (kw)	Horas de funcionamiento mensual	Consumo kw h/mes
Cosedora	0,1	160	16
Tromel de afino	3,6	160	576

El consumo mensual de electricidad por los equipos es: 592 kwh.

Tomando en cuenta que el valor del kwh es de 0,003 UF/ kwh⁹, se estima que el gasto de energía eléctrica por equipos asciende a **1,8 UF mensuales**.

Tabla N° 46: Consumo de energía eléctrica alumbrado

Equipo	Potencia (kw)	Horas de funcionamiento mensual	Consumo kw h/mes
Alumbrado interior	0,06	80	4,8
Computadores	0,12	160	19,2
Alumbrado exterior	1,25	80	100

El consumo mensual de electricidad por los equipos es: 124 kwh.

Tomando en cuenta que el valor del kwh es de 0,003 UF/ kwh⁶ se estima que el gasto de energía eléctrica por equipos asciende a **0,4 UF mensuales**.

Consumo total de energía eléctrica cada una de las plantas: 2,2 UF/mes

⁹ Fuente CONAFE S.A., valor estimativo al mes de Mayo de 2005



Consumo de agua potable

Se requiere agua potable para servicios del personal y para humidificación de las pilas de compostaje y precompostaje (planta lombricultura), en el caso de que se requiera más agua de lo que puede aportar el lixiviado. Se estima que el consumo promedio de una persona que vive en la comuna de Quillota es de 8 m³/mes y el costo de agua potable es 0,045 UF/m³¹⁰. Considerando que el número de personas que trabajaría en cada una de las plantas = 8 y que se requieren de aproximadamente 3 m³/mes de agua para ajustes en la humedad de las pilas, el gasto total por consumo de agua potable es de **3 UF/mes**

En la tabla siguiente se presenta un resumen de los costos asociados a los gastos de la planta de compostaje y lombricultura

Tabla N° 47: Costos mensuales asociados a los gastos de las plantas de compostaje y lombricultura

	Detalle de los gastos	UF
<i>Gastos de administración</i>	Patente comercial	1,5
	Permiso servicio salud del ambiente	0,5
	Publicidad	1,5
	Total	3,5
<i>Gastos indirectos de fabricación</i>	Seguro	5
	Total	5
<i>Gastos generales</i>	Potencia eléctrica (equipos)	1,8
	Potencia eléctrica (alumbrado)	0,4
	Combustible	16,6
	Agua potable	3
	Teléfono	1,4
	Total	23,2
Total mensual gastos generales		31,7

¹⁰ Fuente: ESVAL S.A



A continuación se presenta un resumen de los costos asociados al capital de trabajo necesario para el funcionamiento de las plantas de compostaje y lombricultura

Tabla N°48: Costos asociados al capital de trabajo para el funcionamiento de la planta de compostaje

Capital de trabajo	Valor UF
Remuneraciones	118
Materias primas	120,8
Gastos de administración	3,5
Gastos indirectos de fabricación	5
Gastos generales	23,2
Total mensual	270,5
Total por 5 meses de operación	1352,5

Tabla N°49: Costos asociados al capital de trabajo necesario para el funcionamiento de la planta de lombricultura

Capital de trabajo	Valor UF
Remuneraciones	118
Materias primas	120,8
Gastos de administración	3,5
Gastos indirectos de fabricación	5
Gastos generales	23,2
Total mensual	270,5
Total por 5 meses de operación	1352,5

8.1.3 Calculo de la inversión inicial total necesaria para la instalación de la planta de compostaje

La inversión inicial total es entonces la suma de los activos fijos y del capital de trabajo. A continuación en la tabla 7.7 se presenta el valor de la inversión inicial total, considerando que la planta pueda funcionar hasta 4 meses sin presentar ingresos por ventas del producto.



Tabla N° 50: costo de la inversión inicial total necesaria para la instalación de la planta de compostaje

Inversión	Valor UF
Activos fijos	4.067,8
Capital de trabajo (por 5 meses de operación de la planta)	1352,5
Costo de la inversión inicial total	5.420,3

Tabla N° 51: costo de la inversión inicial total necesaria para la instalación de la planta de lombricultura

Inversión	Valor UF
Activos fijos	4.661,8
Capital de trabajo (por 5 meses de operación de la planta)	1352,5
Costo de la inversión inicial total	6014,3

8.2. COSTOS DE OPERACIÓN

Los costos de operación están asociados principalmente a la producción del compost, en ellos se consideran:

- Remuneraciones
- Los costos por concepto de materias primas: se consideran la compra de aserrín y compost reciclado.
- Los suministros: energía eléctrica, agua y petróleo.
- Materiales indirectos: materiales de aseo y envases para compost y vermicompost.
- Mantenimiento y otros: considera mantenimiento de equipos y mermas.

8.2.1 Remuneraciones

Los costos asociados a las remuneraciones del personal de la planta de compostaje y lombricultura respectivamente se estimaron en 118 UF/ mes para cada planta como se determinó en el apartado de Capital de trabajo.



8.2.2 Materias Primas

Las materias primas necesarias en las plantas son lodo secundario traído de las plantas de tratamiento de aguas servidas, compost reciclado y aserrín. Los requerimientos de las materias primas se calcularon de acuerdo a lo que se necesita para la formación de cada pila. Como ya se determinó anteriormente, se estima que la cantidad total de materias primas necesarias para cada planta asciende a un valor total de **120,8 UF/mes**.

8.2.3 Suministros

Dentro de los suministros están los gastos por consumo de combustible, electricidad y agua. En el apartado anterior se estimaron los consumos mensuales de cada uno de estos insumos quedando determinado de la siguiente manera:

Consumo de combustible = 16,6 UF/mes

Consumo de electricidad = 2,2 UF/mes

Consumo de agua potable = 3 UF/mes

Finalmente los gastos por suministros equivalen a un valor de **21,8 UF/mes**

8.2.4 Materiales Indirectos

Dentro de los materiales necesarios para el buen manejo de los operarios dentro de la planta, se contemplan la utilización de mascarillas, guantes de látex y pecheras impermeables, con la finalidad de evitar posibles infecciones que pudieran provenir del lodo secundario. El costo mensual de estos artículos asciende a 2,2 UF/mes.

Para el caso del envasado del compost y vermicompost se contempla usar sacos de polipropileno de 25 kilos, los cuales ascienden a un valor aproximado de 0,002 UF/saco. Si se estima que la producción de la planta de compostaje asciende a producir 7.880 sacos de compost, entonces el costo mensual por concepto de sacos equivale a 15,7 UF.

Por otro lado, para el caso de la planta de lombricultura la producción de vermicompost envasado asciende a 7.579 sacos, lo que equivaldría a un costo mensual de 15,2 UF.



En resumen, el gasto total de materiales indirectos asciende a un valor de 17,9 UF/mes para el caso de la planta de compostaje y 17,4 UF/mes para el caso de la planta de lombricultura.

8.2.5 Mantenición y otros

En las instalaciones siempre es necesario realizar una mantención, evitando así averías repentinas. Esto incluye equipos e infraestructuras. Se realiza un plan de mantenimiento para un control sistemático de la planta.

Se asume un 3% del coste total de los equipos (Ramírez, 2004). Así, se estima un gasto de 47,9 UF/ año por mantención para la planta de compostaje y 47,6 UF/ año para el caso de la planta de lombricultura.

Tabla 52: Resumen de costos de operación asociados a la producción mensual de compost

ITEM	Costo total UF
Remuneraciones	118
Materias primas	120,8
Suministros	21,8
Materiales indirectos	17,9
Mantención y otros	3,9
Total mensual	282.4
Total anual	3.388,8

Tabla 53: Resumen de costos de operación asociados a la producción mensual de vermicompost.

ITEM	Costo total UF
Remuneraciones	118
Materias primas	120,8
Suministros	21,8
Materiales indirectos	17,4
Mantención y otros	3,9
Total mensual	282.4
Total anual	3.388,8



8.3 INGRESOS POR VENTA DEL COMPOST Y VERMICOMPOST PRODUCIDO

Estos corresponden a las ganancias obtenidas por la venta del producto y quedan determinadas por el precio de venta de la unidad del producto y el número de unidades vendidas al año. Se considera como un precio apropiado para la venta de compost al sector inmobiliario e invernaderos, el de 4,3 UF/ton¹¹, sin embargo para poder posicionarse en el mercado y asegurar así una demanda importante del producto, se abaratará el costo de éstos, considerando como un precio adecuado el de 3 UF/ toneladas de compost y de 6 UF/ toneladas para el caso del vermicompost.

Si se espera una producción al año de 2.364 toneladas de compost (94560 sacos de 25 Kg. c/u), como se estipuló en los balances de masa, el ingreso esperado sería de 7.092 UF/ año.

Para el caso del vermicompost si la producción anual asciende a 2.274 toneladas (90960 sacos de 25 Kg), se espera que el ingreso sea de 13.644 UF/ año.

Esto ocurriría siempre y cuando se logre vender toda la producción de la planta estimada para cada mes, se espera que los primeros 5 meses de operación de la planta de compostaje no se registre producción de compost y por lo tanto no hayan ventas, y que a partir del sexto mes se comience a vender la producción estimada. En caso de la planta de lombricultura el escenario es el mismo. Esto se estima para los primeros meses del año 1.

Por otro lado, otro ingreso importante, es el obtenido por la recepción y tratamiento del lodo, cuyo cobro se estima en 0,46 UF/ m³ de lodo, por lo tanto, si se calcula que mensualmente se tratarán 235,8 m³ de lodo, el ingreso por tratamiento asciende a 1.308 UF/año. Referente a esto, se proyecta un incremento del 4% anual, considerando que a futuro existirá un acrecentamiento de las plantas de tratamiento de aguas servidas y por ende una mayor producción de lodo esperando a ser tratado.

En los flujos de caja anuales se consideraron 10 años de operación de la planta, en los cuales el primer año queda definido como se detalló anteriormente, y para los años siguientes se consideran ventas constantes.

De acuerdo a las estimaciones realizadas, en las tablas siguientes se presenta un resumen con los flujos de dinero de los primeros 10 años de operación de las plantas:

¹¹ Fuente. SODIMAC S.A



Tabla 54: Flujos monetarios para 10 años de funcionamiento de la planta de Compostaje (valores expresados en UF)

Año	Ingresos por venta de compost	Ingresos por tratamiento de lodo	Egresos	Utilidad Operacional	Deprec.	FSI	Imp.	FDI	Flujo Neto	Valor presente
0	---	---	-5420,3						-5420.3	-5420.3
1	4137	1308	3388.8	2056.2	215	1841.2	349.828	1491.372	1706.372	1483.80174
2	7.092	1360	3388.8	5063.2	215	4848.2	921.158	3927.042	4142.042	3131.97883
3	7.092	1414	3388.8	5117.2	215	4902.2	931.418	3970.782	4185.782	2752.21961
4	7.092	1471	3388.8	5174.2	215	4959.2	942.248	4016.952	4231.952	2419.63229
5	7.092	1530	3388.8	5233.2	215	5018.2	953.458	4064.742	4279.742	2127.78816
6	7.092	1591	3388.8	5294.2	215	5079.2	965.048	4114.152	4329.152	1871.61188
7	7.092	1655	3388.8	5358.2	215	5143.2	977.208	4165.992	4380.992	1646.97716
8	7.092	1721	3388.8	5424.2	215	5209.2	989.748	4219.452	4434.452	1449.63022
9	7.092	1790	3388.8	5493.2	215	5278.2	1002.858	4275.342	4490.342	1276.43545
10	7.092	1862	3388.8	5565.2	215	5350.2	1016.538	4333.662	4548.662	1124.35968
									VAN	13864.135

Donde,

Deprec.: Depreciación lineal a 10 años

FSI: Flujo sujeto a impuesto

Imp: Impuesto de un 19%

FDI: Flujo después de impuesto



Tabla 55: Flujos monetarios para 10 años de funcionamiento de la planta de Lombricultura (valores expresados en UF)

Año	Ingresos por venta de vermicompost	Ingresos por tratamiento de lodo	Egresos	Utilidad Operacional	Deprec.	FSI	Imp.	FDI	Flujo Neto	Valor Presente
0	---	---	- 6014.3	---	---	---	---	---	- 6014.3	- 6014.3
1	7959	1308	3388.8	5878.2	215	5663.2	1076.008	4587.192	4802.192	4175.81913
2	13.644	1360	3388.8	11615.2	215	11400.2	2166.038	9234.162	9449.162	7144.92401
3	13.644	1414	3388.8	11669.2	215	11454.2	2176.298	9277.902	9492.902	6241.73716
4	13.644	1471	3388.8	11726.2	215	11511.2	2187.128	9324.072	9539.072	5453.99538
5	13.644	1530	3388.8	11785.2	215	11570.2	2198.338	9371.862	9586.862	4766.36475
6	13.644	1591	3388.8	11846.2	215	11631.2	2209.928	9421.272	9636.272	4166.02631
7	13.644	1655	3388.8	11910.2	215	11695.2	2222.088	9473.112	9688.112	3642.12015
8	13.644	1721	3388.8	11976.2	215	11761.2	2234.628	9526.572	9741.572	3184.53717
9	13.644	1790	3388.8	12045.2	215	11830.2	2247.738	9582.462	9797.462	2785.05018
10	13.644	1862	3388.8	12117.2	215	11902.2	2261.418	9640.782	9855.782	2436.19858

VAN 37982,4728

Donde,

Deprec.: Depreciación lineal a 10 años

FSI: Flujo sujeto a impuesto

Imp: Impuesto de un 19%

FDI: Flujo después de impuesto

En las tablas anteriores los Egresos al año 0 corresponden a la inversión inicial total para instalación de una planta de Compostaje o Lombricultura y los Egresos a partir el año 1 corresponden a los costos de operación asociados a la producción anual de compost o vermicompost según sea el caso.

8.4 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

El análisis de rentabilidad de la inversión fue realizado mediante la determinación del valor actual neto (VAN) para una tasa de interés TRMA (tasa de retorno mínima aceptada o tasa de interés mínima), la cual se fijó arbitrariamente en 15%¹² y la tasa de interna de retorno (TIR), la cual fue calculada como ya se mencionó anteriormente. La inversión del proyecto se considera rentable si el VAN es igual o superior a 0 y para el caso del TIR si éste es mayor a la TRMA. Tomando en cuenta los valores de las Tablas N° 54 y 55 se obtienen los siguientes valores para el VAN y el TIR para cada una de las plantas:

Tabla N° 56: Valores del VAN y TIR de las plantas

	VAN (UF)	TIR
Planta de Compostaje	13864.135	59,7%
Planta de Lombricultura	37982,4728	116 %

De acuerdo a los valores obtenidos tanto para el VAN como para el TIR, se puede concluir que los 2 proyectos son rentables y resultan atractivos de ser implementados desde el punto de vista financiero.

¹² Se considera una TRMA aceptable, entre 10 y 20%

8.5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PROYECTOS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA.

Una vez que se ha calculado la rentabilidad del proyecto y se visto que resulta atractivo de ser implementado desde el punto de vista financiero, se debe analizar también su comportamiento frente a posibles eventualidades. Es así, como en el siguiente análisis se consideran 3 variables para la sensibilización del VAN en los 2 proyectos:

- Variación del precio de venta del producto final
- Variación en las remuneraciones
- Variación en los costos de materias primas.

8.5.1 Precio de venta del producto final

Para esta variable se ha considerado establecer una disminución del 20% anual con respecto al valor inicial del precio de venta del compost y vermicompost, con la intención de analizar hasta que valor se puede abaratar el compost y vermicompost para así lograr una mayor aceptación por parte de los demandantes de estos productos y así poder posicionarse de una mejor manera en el mercado. En las tablas siguientes se dan a conocer los indicadores económicos del proyecto ante la variación del precio del compost y vermicompost.

8.5.1.1 Variación del valor del compost en la planta de Compostaje

Tabla 57: Análisis de sensibilidad del VAN variando los precios del compost

Caso	Precio compost (UF)	VAN (UF)
Caso normal	7092	13864.135
Caso 1	5673.6	9097.09862
Caso 2	4255.2	4330.06223
Caso 3	2836.8	-436.974161
Caso 4	1418.4	-5204.01055

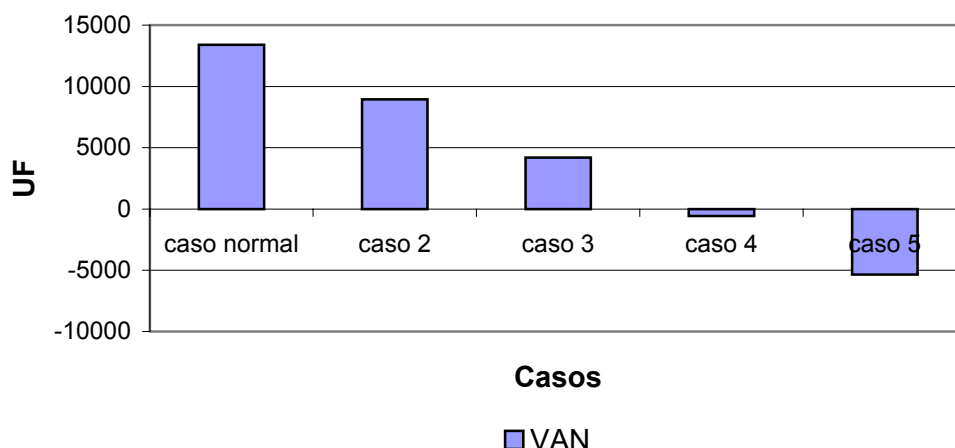


Figura N°56: Variación del VAN con respecto a cambios en los precios del compost

Del gráfico se puede inferir que al abaratar los precios del compost a lo largo de los años en un 20% anual, el VAN disminuye significativamente. Se estima que el valor mínimo que se podría cobrar por el compost es de 2.966 UF/ año, aún así el proyecto sería rentable, pues el VAN sigue siendo positivo.

8.5.1.2 Variación del valor del vermicompost en la planta de Lombricultura

Tabla 58: Análisis de sensibilidad del VAN variando los precios del vermicompost

Caso	Precio vermicompost (UF)	VAN (UF)
Caso normal	13644	37982.4728
Caso 1	10915.2	28811.3723
Caso 2	8186.4	19640.2719
Caso 3	5457.6	10469.1714
Caso 4	2728.8	1298.07092

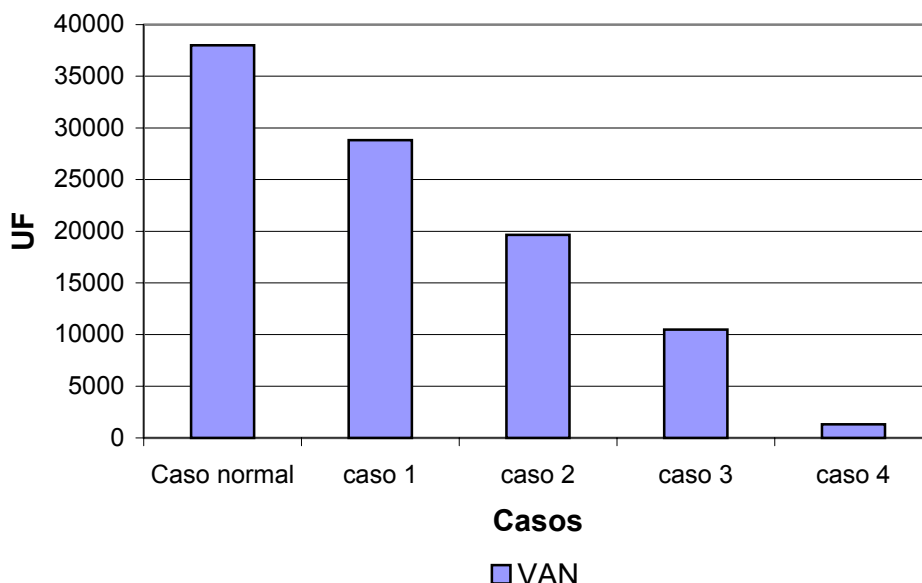


Figura N° 57: Variación del VAN con respecto a cambios en los precios del vermicompost

De esta información se puede observar que al disminuir los precios del vermicompost a lo largo de los años en un 20% anual, el VAN se torna altamente sensible a esta variación, disminuyendo crecientemente. A partir de los cálculos se estima que el valor mínimo que se podría cobrar por el vermicompost, es de 2343 UF/ año, aún así el proyecto sigue siendo altamente rentable, puesto que el VAN sigue siendo positivo.

8.5.2 Valor de las remuneraciones

Para esta variable se ha considerado establecer un aumento del 10% del valor de las remuneraciones cada año, ante la posibilidad de contratar una cantidad mayor de personal u optimizar los procesos de producción de compost y vermicompost, lo que significaría un trabajo más arduo de los operarios.

A continuación se presentan los gráficos de sensibilidad del VAN respecto al incremento de las remuneraciones para cada planta.

8.5.2.1 Variación del valor de las remuneraciones en la planta de Compostaje

Tabla 59: Sensibilidad del VAN respecto al valor de las remuneraciones

Casos	Remuneraciones (UF)	VAN (UF)
Caso normal	1416	13864.135
Caso 1	1557.6	13288.5023
Caso 2	1699.2	12712.8696
Caso 3	1840.8	12137.237
Caso 4	1982.4	11561.6043
Caso 5	2124	10985.9716

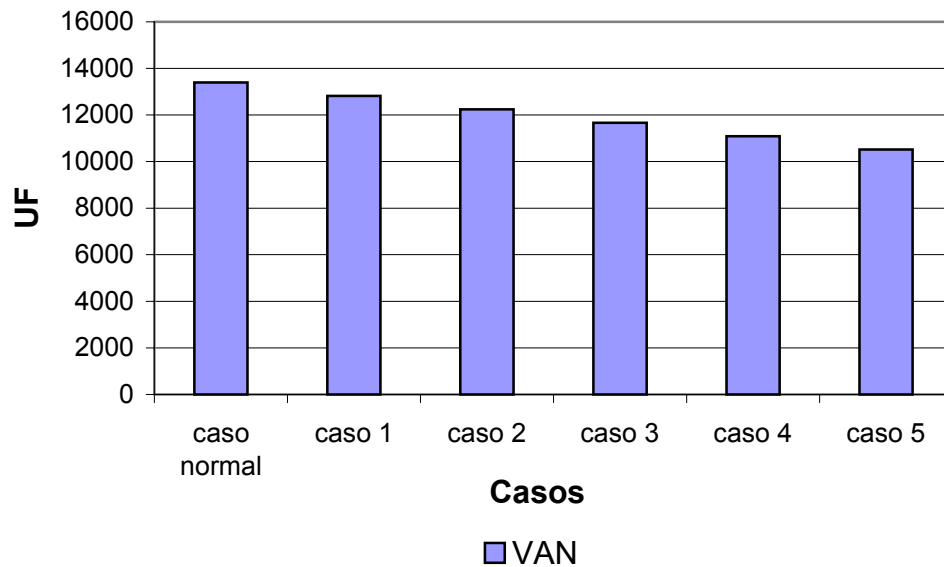


Figura N° 58: Variación del VAN con respecto a cambios en las remuneraciones

8.5.2.2 Variación del valor de las remuneraciones en la planta de Lombricultura

Tabla 60: Sensibilidad del VAN respecto al valor de las remuneraciones

Casos	Remuneraciones (UF)	VAN (UF)
Caso normal	1416	37982.4728
Caso 1	1557.6	37406.8401
Caso 2	1699.2	36831.2074
Caso 3	1840.8	36255.5747
Caso 4	1982.4	35679.9421
Caso 5	2124	51758.6313

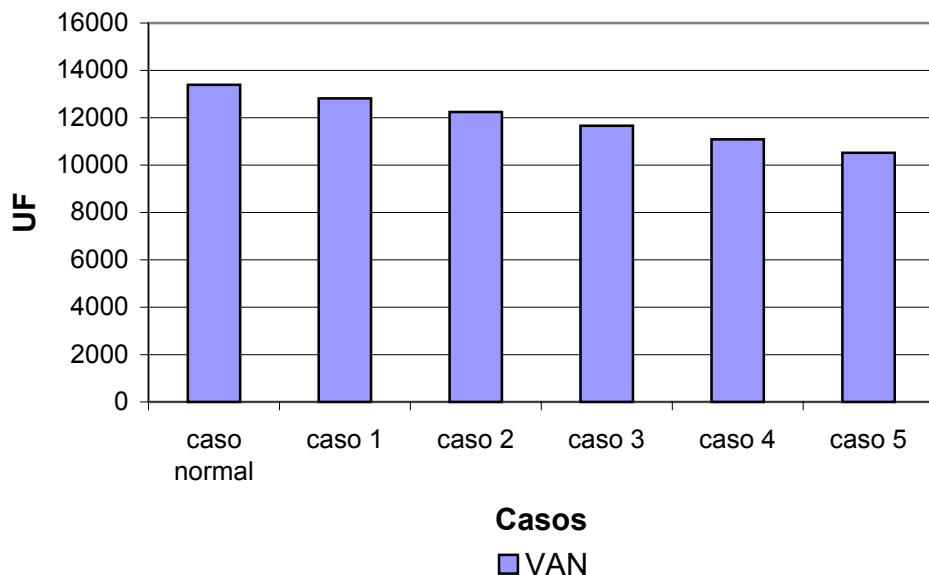


Figura N° 59: Variación del VAN con respecto a cambios en las remuneraciones

Según los datos obtenidos de los dos gráficos, no se denota una gran variabilidad del VAN en el tiempo con respecto al aumento del 10% anual de las remuneraciones. El proyecto sigue siendo altamente rentable pues el VAN dista mucho de ser un valor negativo.

8.5.3 Valor de las materias primas

Para esta variable se ha considerado establecer un aumento del 10% del valor de las materias primas cada año. A continuación se presentan los gráficos de sensibilidad del VAN respecto al incremento de las materias primas para cada planta.

8.5.3.1 Variación del valor de las materias primas en la planta de Compostaje

Tabla 61: Sensibilidad del VAN respecto al valor de las materias primas

Casos	Materias primas (UF)	VAN (UF)
Caso normal	1449.6	13864.135
Caso 1	1594.56	13274.8433
Caso 2	1739.52	12685.5515
Caso 3	1884.48	12096.2597
Caso 4	2029.44	11506.9679
Caso 5	2174.4	10917.6762

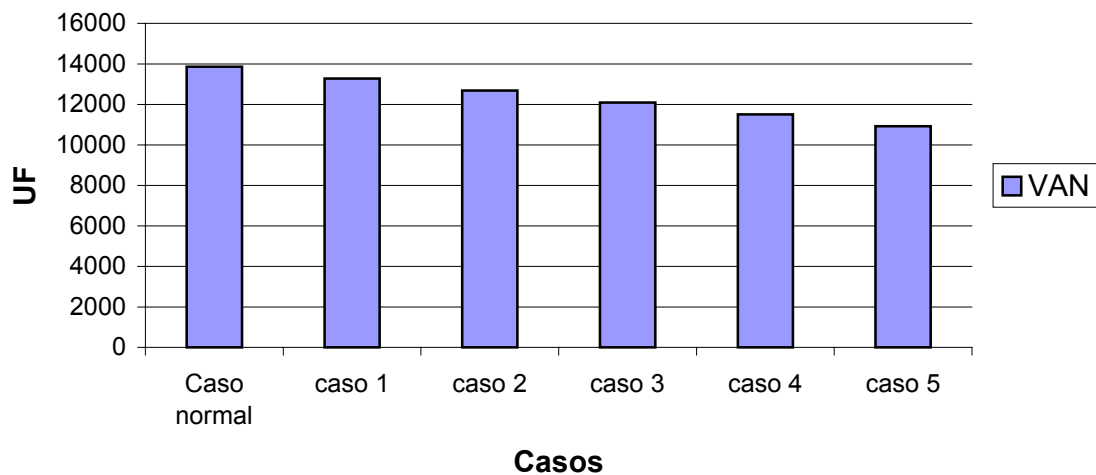


Figura N°60: Variación del VAN con respecto a cambios en los precios las materias primas

8.5.3.2 Variación del valor de las materias primas en la planta de Lombricultura

Tabla 62: Sensibilidad del VAN respecto al valor de las materias primas

Casos	Materias primas (UF)	VAN (UF)
Caso normal	1449.6	37982.4728
Caso 1	1594.56	37393.181
Caso 2	1739.52	36803.8893
Caso 3	1884.48	36214.5975
Caso 4	2029.44	35625.3057
Caso 5	2174.4	35036.014

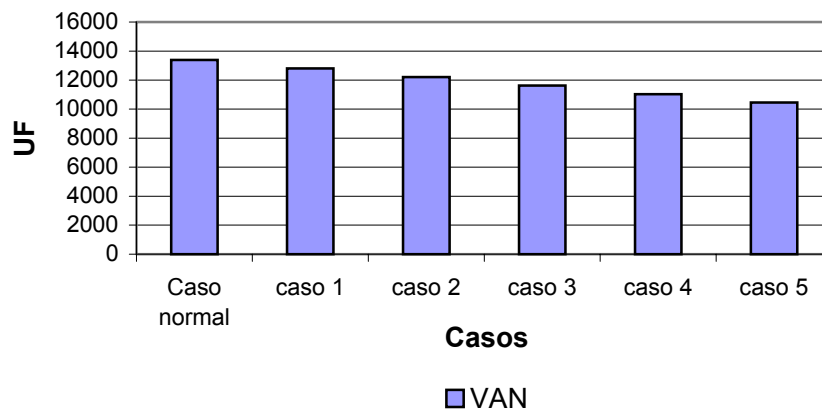


Figura N° 61: Variación del VAN con respecto a cambios en los precios de las materias primas.

De la información obtenida de los dos gráficos, podemos observar que si bien existe una sensibilidad al variar el coste de las materias primas, no es posible alcanzar un VAN menor que 0, por lo que se infiere que los proyectos son altamente rentables.

CAPITULO 9: CONCLUSIONES

La parte experimental de este trabajo entrega una visión clara de cuales son los factores que influyen en la correcta ejecución de las técnicas de Compostaje y Lombricultura, entre los cuales se encuentran: las proporciones de los materiales que conforman la mezcla y por lo tanto la regulación de la relación C/N, el porcentaje de humedad, el tipo de material de enmienda, el tamaño de las pilas en el caso del Compostaje y la temperatura en el caso de la Lombricultura.

La temperatura en la pila de Compostaje no es uniforme en todos los puntos, y presenta un núcleo central de máxima temperatura, de ahí también la importancia del mezclamiento de éstas, esto permite que todo el volumen de la pila se encuentre en algún momento a la temperatura necesaria para la destrucción de patógenos. Esta situación no se repite en los lechos de lombricultura, donde la temperatura es muy homogénea en todo el lecho.

Se establece una diferencia apreciable en la reducción de Coliformes fecales entre los dos tipos de mezcla, es por esto que la Lombricultura tipo A, la cual tenía regulada la relación C/N mediante adición de aserrín como material de enmienda, logra una mayor reducción de Coliformes fecales a los 90 días del proceso que los Compostajes tipo A y B los cuales alcanzan reducciones menores al término de la experiencia.

La experiencia de Lombricultura A y B logran una mayor y más rápida reducción de masa, volumen, porcentaje de Sólidos Volátiles y Coliformes fecales que los Compostajes A y B, lo cual comprueba su mayor capacidad y eficiencia para tratar residuos orgánicos.

La ventaja de la técnica de Compostaje con respecto a la Lombricultura es que puede tratar un volumen mayor de residuos orgánicos, por su parte la ventaja de la Lombricultura con respecto al compostaje es la eficiencia demostrada en la digestión de los residuos y principalmente en la eliminación de organismos patógenos.

El análisis de mercado permitió vislumbrar que a pesar de que mercado del compost y vermicompost es un mercado de oportunidad del punto de vista de los demandantes, se espera que prontamente se comience a incentivar el uso de este abono en la agricultura orgánica y otros usos, llegando a posicionarse en el mercado y así desincentivar el uso de otros fertilizantes como la tierra de hojas. Mientras este escenario se mantenga, el principal mercado de destino del compost es el sector inmobiliario y los invernaderos con producción intensiva.

Desde el punto de vista técnico es factible implementar las dos plantas (de compostaje y lombricultura). Para sus diseños se analizaron los requerimientos para cada una de ellas, de acuerdo con el tamaño de las pilas y los lechos, las cantidades de materias primas a emplear y otros requerimientos para determinar las condiciones de operación mas adecuadas que permitan conseguir después de 90 días un producto final en condiciones de ser comercializado. El nivel de tecnología, aunque orientada a una escala pequeña, utiliza maquinaria que garantiza una adecuada producción.

Del punto de vista económico es rentable la implementación de las plantas de compostaje y lombricultura. Se tomó como valores del producto 3 UF/ toneladas de compost y de 6 UF/ toneladas para el caso del vermicompost, valores inferiores a los conocidos en el mercado, proyectando así las ganancias obtenidas en 10 años, además se consideró un cobro de 0,46 UF/ m³ de lodo para su tratamiento en forma anual, lo que permite que los proyectos resulten con ingreso mayor.

El cálculo del VAN para la planta de compostaje arrojó un valor de 13864 UF, lo que evidencia que el proyecto es atractivo de implementar. Tomando en cuenta el otro criterio de evaluación de rentabilidad, TIR, también denota que el proyecto es rentable con un valor de 59,7 %. Para el caso de la planta de lombricultura la rentabilidad del proyecto también fue evaluada a través del VAN y el TIR, siendo estos de 37. 982 UF y un 116 % respectivamente, lo que indica que el proyecto es altamente atractivo de implementar desde el punto de vista técnico como económico.

El análisis de sensibilidad se realizó a partir de la variación del VAN frente a cambios en los valores de: precio de venta del producto final, remuneraciones y costos en las materias primas. Para el caso de la variación de venta del producto, se consideró una disminución del 20% anual con respecto al valor inicial del precio de venta, con la intención de encontrar el valor mínimo al que se puede vender el compost y vermicompost. Los valores mínimos calculados para la venta fueron de 2.966 UF/ año para el caso del compost y de 2343 UF/ año para el caso del vermicompost, precios que están muy por debajo a los estimados en el mercado. Para el caso de las variaciones en los valores de remuneraciones y materias primas en ambos proyectos, se establecieron una disminución del 10% anual de estas variables, sin embargo se observó que el VAN no alcanzó un valor menor que 0, por lo que se infiere que los proyectos son altamente rentables.

Frente a lo ya señalado se infiere que los dos proyectos son factibles de realizar, sin embargo el que resulta ser más conveniente de ejecutar desde el punto de vista técnico y económico es el de lombricultura.

Finalmente podemos concluir que si bien en el país no existe una cultura sobre el uso del compost y vermicompost, la ejecución de estos proyectos representa la oportunidad para promocionar sus aplicaciones; los ahorros que representa en los costos de insumos agrícolas, el mayor rendimiento del suelo y los beneficios de mercado si se utilizan compuestos orgánicos. Además hoy en día los productos agrícolas adquieren un mayor valor si cuentan con el "sello verde".

CAPITULO 10: BIBLIOGRAFIA

- ALCOTA C. 2002. Acondicionamiento de Biosólidos mediante Compostaje. Memoria de Ingeniero Civil. Santiago de Chile. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 162-163p.
- ARATA, P., GARCÉS J. 2003. Radiografía a los lodos. Induambiente. N° 65. pp 94-96.
- ARRIAGADA, D., RETAMALES M. 2004. Estudio de Prefactibilidad Técnico - Económico de Planta de Compostaje de Lodos residuales generados en ENAP Refinerías Aconcagua S.A. Memoria de Ingeniero Ambiental. Universidad de Valparaíso, Instituto de Ciencias Biológicas y Químicas. Valparaíso, Chile.
- AVELDAÑO K., CISTERNAS F. 2004. Revalorización de los lodos de las plantas de tratamiento de aguas servidas Esval V Región mediante la técnica de Compostaje. Memoria para optar al título Ingeniero Ambiental. Valparaíso, Chile. Universidad de Valparaíso.
- BACA, G. 2001. Evaluación de Proyectos. 4° Edición, McGraw-Hill. pp. 159 – 180, México.
- BOLLO, E. 2001. Lombricultura una alternativa de reciclaje. 2° Edición, Soboc Grafic. pp. 49 – 91, Quito – Ecuador.
- CARVALLO, J. 2004. Diseño y Evaluación Técnico – Económica de una planta de compostaje de lodos. Memoria de Ingeniero Bioquímico. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
- CENTRO DE EDUCACION Y TECNOLOGIA. 2001. Diseño de Concesión Municipal de Plantas de Compostaje de Residuos Sólidos Orgánicos de Origen Domiciliario. pp 6 -7, Penco, Chile.

- CHILE. Comisión Nacional del Medio Ambiente.2005. Norma de Calidad de Compost-Características y Requisitos. 16p.
- COMPAGNONI, L. 1985. Cría moderna de Lombrices; Ed. De Vecchi. pp 25 – 36 Barcelona.
- CORPORACION DE INVESTIGACION TECNOLOGICA DE CHILE. 1999. Manual de Compostaje. pp 11-21, Santiago, Chile.
- DIRECCION GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL. 2000. Estudio de los mercados del Compost (En línea). (Consulta: 13 de Mayo de 2005). Disponible en:
<http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/planesmed/life/estudiomercado>
- DIRECCION GENERAL DE TECNOLOGIAS AGRARIAS. 2000. Producción y Gestión de compost. Informaciones Técnicas del departamento del Gobierno de Aragón, p1, p18, pp 29 - 59. España.
- DONOSO, R. 2003. Manejo de Lodos: La experiencia de ESVAL S.A. XV Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS. Octubre 2003, Concepción, Chile. pp 1-10. Chile.
- EPSTEIN, E. 1997. The Science of Composting; Ed. Technomic Publishing Co. Inc. pp 12 – 23 United Status of America.
- FERRUZZI, C 1987. Manual de Lombricultura, Ediciones Mundi-Prensa, pp 15 - 42 Madrid.
- FUENTES, R. 2003. Así se tratan las aguas de Santiago. Ecoamérica. N° 31. pp 4 - 12.

- FÚRHACKER, M, ARBEL, R. 1996. Composting of Sewage Sludge in a Rotating Vessel; IAWQ, Water Science & Technology; Vol.32, N° 11.
- HAUG, R.1993. The practical Handbook of Compost Engineering. 3° Edition, Lewis Publishers. pp 1-2, p.26, pp 32 - 33, pp 55 – 57, USA.
- HENRY, G. 1999. Ingeniería Ambiental. 2° Edición, Prentice Hall. pp. 395 – 428, México.
- INSTITUTO Nacional de Normalización (Chile) 1995. Determinación de Coliformes Fecales (NMP) en medio EC; Nch.2313/22 Of.05; Santiago, Chile 1° Edición.
- KIELY, G.1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. 1° Edición, McGraw-Hill. pp. 888 – 894, España.
- LUGO, S. 1998. Evaluación de los Proyectos de Compostaje en el Ecuador. (En línea). (Consulta: 28 de Enero de 2005). Disponible en: <http://www.cepis.org.pe/eswww/repamar/gtzproye/compost/compost.html>.
- METCALF, L & EDDY, H. 1996 a. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización, 3° Edición, McGraw-Hill, Vol. II, México.
- METCALF, L & EDDY, H. 1996 b. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización, 3° Edición, McGraw-Hill, Vol. III, México.
- MOLINA, B. 2002. Tratamiento de Lodos Biológicos Secundarios provenientes de la Planta de Tratamiento de aguas residuales del Aeropuerto Arturo Merino Benítez mediante Compostaje y Lombricultura. Memoria de Ingeniero de Ejecución en Biotecnología. Universidad Tecnológica Vicente Pérez Rosales. Santiago, Chile.

- OZORES M., 2003. Control de Calidad y Análisis. Curso Internacional de Compostaje, Producción, Control de Calidad y Usos del Compost. Universidad de las Américas. 5 y 6 Noviembre de 2003. Santiago, 4 – 18 pp.
- PASCHE, H. 1994. Tratamiento de Lodos de Aguas Servidas mediante el proceso de Lombricultura; 24° Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental; Argentina.
- RAMIREZ, M. 2004. Diseño de una planta de compostaje para Santiago de Compostela. Memoria de Ingeniero Civil Bioquímico. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
- RANTALA, P. 1999. Composting of forest industry Wastewater Sludges for Agricultural Use; IAWQ, Water Science & Technology. N° 11. pp 25-30.
- SAPAG, N. 2000. Preparación y Evaluación de Proyectos, 4° Edición, McGraw-Hill, pp 293 – 304, Santiago - Chile.
- SEPÚLVEDA N. 2003. La Farfana, paso a paso. Induambiente. N° 65. pp 88-93.
- SILVA; M. 1996. Evaluación Técnica Económica de Plantas de Compostaje por Sistemas de Aireación Forzada. Memoria de Ingeniero Civil Bioquímico. Valparaíso, Universidad Católica de Valparaíso, Facultad de Ingeniería. 265p.
- TCHOBANOGLIOUS, G. 1994 a. Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2° Edición, vol.2 McGraw-Hill, pp 230 - 341 , México.
- TCHOBANOGLIOUS, G. 1994 b. Gestión Integral de Residuos Sólidos, 2° Edición, vol. 3 McGraw-Hill, pp 770 - 784 , México.

- US ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. 1994. Composting Yard Trimmings and Municipal Solid Waste. EPA 530-R-94-003. Mayo 6,16,-19,65-73p.
- US ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY. 1997. Medio Ambientes Delicados y la Ubicación de las Instalaciones para el Manejo de Residuos Peligrosos. EPA 530-K-97-0035. Mayo.
- VIDELA, S. 2003.Lodos, en la búsqueda de nuevos sistemas de disposición. Ecoamérica. N° 27. pp 20-23

Apéndice N°1

Materiales.

- Cajas de plástico (para precompostaje) y de plumavit (para compostaje y lombricultura).
- Lodo secundario proveniente de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de Esval, Quillota V región.
- Compost Maduro (Proveniente de la misma Planta).
- Aserrín.
- Lombriz de tierra *Eisenia foetida*.

Equipos

- Termómetro y pHmetro.
- Estufa para esterilización.
- Mufla.
- Incubadoras.
- Autoclave.
- Balanza Analítica.

Apéndice N°2

Determinación del Carbono Orgánico Total, mediante método de Oxidación Crómica.

Reactivos y materiales:

1. Ácido crómico 0,4N. Pesar 19,7g de $K_2Cr_2O_7$ y disolverlos en 1 litro de ác. Sulfúrico concentrado. Preparar la solución en un vaso pp. 1 litro, calentar suavemente para la disolución completa del dicromato de potasio. Vertir con precaución el ácido sulfúrico.
2. Solución de sulfato ferroso 0,25N. Se disuelven 98 g de $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2$ en agua destilada. Agregar 20 ml de ácido sulfúrico y enrasar a un litro.
3. Solución de Indicador de ferroína. Disolver 1,485 g de 1,10-fenantrolina monohidratada, junto con 0,695 g s $FeSO_4$ en agua y diluír a 100 ml.
- 4.- Sulfato de plata en cristales.

Procedimiento:

1. Pesar aprox. 1g de muestra. (1 a 2g para arenas limpias, 0,5g para conchas y 0,25g para lodos).
2. Agregar 20 ml de ácido crómico 0,4N.
3. Llevar a reflujo por 20 minutos hasta que el ác. crómico alcance temperatura de 155°C.
4. Luego enfriar la solución y lavar las paredes del refrigerante con un poco de agua destilada.
5. Trasvasijar la muestra en un matraz erlenmeyer y agregar 3 a 5 gotas del indicador de ferroína.
6. Titular con solución de sulfato ferroso 0,25N hasta aparición del punto final de la valoración que pasa por verde azulado hasta color rojo ladrillo.
7. Anotar el gasto de sulfato ferroso.
8. Realizar un blanco con 20 ml de ác. Crómico en las mismas condiciones que la muestra.

Cálculos:

$$\% \text{ M.O.} = \frac{(A - B) \times N \times \text{P.E.} \times 1,72 / 0,9}{\text{mg muestra}} \times 100$$

Donde:

A = ml de $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ gastados en el blanco.

B = ml de $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ gastados en la muestra.

N = Normalidad exacta del $\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$.

P.E = Peso equivalente del Carbono

Apéndice N°3

Determinación de Nitrógeno Total por Extracción Kjeldahl.

Reactivos:

1. Solución NaOH - $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$
2. Solución saturada de H_3BO_3
3. Solución alcohólica de fenolftaleína al 0,5%. Pese 0,5g de fenolftaleína y disuélvalos en 50ml de etanol p.a más 50 ml de agua destilada.
4. Indicador mixto
5. Solución valorada de H_2SO_4 0,05N.
6. Catalizador. Pese 20g de $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ más 3g de HgO rojo. Mezcle bien.

Procedimiento:

- Digestión de la muestra:

1. Pese 5g de sedimento, 1g de catalizador y 10g de Na_2SO_4 .
2. Lleve a un matraz kjeldahl y humedezca la mezcla con un poco de agua destilada, agregue cuidadosamente 5 ml de ác. Sulfúrico concentrado.
3. Digiera la muestra bajo campana durante 1 hora.
4. Enfríe la muestra y filtre, enjuagando el matraz con un poco de agua destilada. Enrase la solución a 50 ml.

- Destilación de la solución:

1. Tome 25ml de muestra y trasvasíjela al matraz kjeldahl.
2. Luego alcalinice la muestra agregando porciones de la solución de NaOH- $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \times 5\text{H}_2\text{O}$, usando gotas de fenolftaleína como indicador, hasta que la solución se torne rosada.
3. Determine el nitrógeno amoniacal por destilación o por el método del fenato en hoja adjunta.
4. Arma el equipo adecuado para la destilación y lleve la solución a ebullición durante 30 minutos.

5. Recoja el destilado en un matraz erlenmeyer que contenga 50ml de solución de ácido bórico saturado, agregue gotas de indicador mixto. Destile hasta unos 100ml. (soln. Rojo-azul).
6. El destilado se titula con solución valorada de H₂SO₄ 0,05N, hasta el viraje de la solución de azul a rosado, según indicador.
7. Realizar un blanco y tratarlo en las mismas condiciones que la muestra.

DETERMINACIÓN DE N-NH₃ MÉTODO DEL FENATO :

Reactivos:

1. Solución fenol. Pese 12 g de fenol y dilúyalos a 100ml con alcohol al 95%. Prepare solución semanalmente.
2. Nitroprusiato de sodio 0,5%. Pese 0,5 g de la sal y dilúyalos en 100ml de agua desionizada. Guárdelos en botella ámbar por 1 mes.
3. Citrato alcalino 20%. Pese 20 g de citrato de sodio y 10 g de NaOH, se diluyen en 100ml de agua desionizada.
4. Hipoclorito de sodio, solución comercial, 5%. Reemplace cada dos meses.
5. Solución oxidante. Mezcle 100ml de citrato alcalino con 25ml de hipoclorito de sodio. Prepare esta solución diariamente.
6. Solución stock de NH₃. Disuelva 3,819 g de NH₄Cl anhidro en agua a 1000ml, 1ml = 1,00 mg N = 1,22 mg NH₃.

Procedimiento:

- Preparación de la curva de calibración:

1. Prepare una curva que cubra el rango de 0,1 a 10µg N/l. Diluir 1ml de la solución stock a 100ml con agua exenta de amonio, 1ml = 10 µg N. (Solución madre).
2. De la solución madre de NH₃ tome alícuotas de 1, 2, 4, 6 y 8 ml. Lleve cada una de las alícuotas a 100 ml (aforados) con agua destilada.

Tratamiento de la muestra y estándares:

1. A 100 ml de muestra y estándares agregue 1ml de solución de fenol, Agite.

2. Luego agregue 1ml de solución de nitroprusiato de sodio. Agite.
3. Por último agregue 2,5ml de solución oxidante. Agite y deje desarrollar el color por una hora.
4. Lea a 640 nm hasta 24 horas después.
5. Interpole las lecturas de muestras en una curva preparada en el rango indicado.

* Si luego del desarrollo del color las muestras presentan turbiedad, se deben filtrar a través de un filtro cualitativo.

* Si las muestras están ácidas se deben neutralizar antes de tratarlas.

- Cálculo:

$$\% \text{ N-total} = \frac{\text{N (H}_2\text{SO}_4) \times \text{ml (H}_2\text{SO}_4 \text{ gastados)} \times \text{P.E (N)}}{\text{ml muestra}} \times 1000$$

Apéndice N°4

Medición de Temperatura y pH.

Para la medición de estas dos variables se utiliza un medidor portátil marca HANNA INSTRUMENTS modelo HI 8915 que mide la temperatura y el pH simultáneamente. Este instrumento combina una medición precisa de temperatura que va desde los 0°C a 100°C y el pH que va desde un rango de 0 a 14.

Procedimiento:

Se toman 3 mediciones en 3 sectores diferentes (Figura 10) y se promedian estos valores para llegar así a un valor único y representativo tanto para la temperatura como para el pH.



Medidor portátil HANNA INSTRUMENTS modelo HI 8915

Apéndice N°5

Determinación del contenido de humedad.

Para el análisis de humedad las muestras se toman en tres sectores diferentes (Figura N°10), luego se mezclan y se homogenizan para pesar 100 g (peso húmedo) sobre una cápsula de Petri, la que se dispone en el horno de secado a 103°C/105°C por un período de tiempo aproximado de 48 horas. Transcurrido este tiempo, se pesa nuevamente la placa, obteniendo de esta forma el peso seco. La fórmula utilizada para calcular el porcentaje de humedad es la siguiente:

$$\% \text{ Humedad en base húmeda: } \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100$$

Apéndice N°6

Medición de Sólidos Volátiles.

a) Muestra de sólidos

Se toman 25-50 grs. de muestra en un plato o placa, para llevarlo a 103°C-105°C por 48 horas. Esperar que se enfríe para secar la muestra en el disecador y pesarla en la balanza analítica. Se repite el secado por 1 hora, luego se seca y se pesa, hasta que el peso llegue a menos del 4% o 50 mg del valor inicial.

b) Fijación de Sólidos Volátiles.

Se transfiere el residuo secado a la mufla a 550°C por una hora. Se refresca la muestra en el disecador para equilibrar la temperatura y se pesa. Se repite esta misma operación por 1 hora, se refrigera y se pesa hasta que el peso llego a menos del 4% o 50 mg del valor del peso inicial.

Luego el porcentaje de Sólidos Volátiles se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Sólidos Volátiles} = \frac{(A-B)}{A-C} * 100$$

Donde:

A = Peso del residuo secado + el plato (mg) (después de la esufa)

B = Peso del residuo + el plato después de la incineración (mg) (después de la mufla)

C = Peso del plato (mg)

Apéndice N°7

Medición Coliformes Fecales por el Método del Número Más Probable (NMP).

Se realizaron dos tipos de pruebas:

1) Prueba presuntiva.

En la prueba presuntiva se utiliza caldo LST en tubos de fermentación y como diluyente, agua de dilución buffer fosfato o agua peptonada 0,5%.

Previo a la inoculación, la muestra y diluciones deben agitarse vigorosamente 25 veces en 7 segundos en un arco de 45°, con movimientos de arriba a abajo para asegurar la homogeneidad de la muestra. Este procedimiento debe repetirse antes de inocular cada serie de diluciones.

Procedimiento

a) Inocular:

5 tubos de caldo LST doble concentración con 10 mL de la muestra en cada tubo

5 tubos de caldo LST concentración simple con 1 mL de la muestra en cada tubo
5 tubos de caldo LST concentración simple con 0,1 mL de la muestra en cada tubo.

b) Agitar suavemente la gradilla para mezclar la muestra con el medio de cultivo e incubar los tubos a 35°C por 24 a 48 horas.

c) Observar la formación de gas en cada tubo. La presencia de gas se registra como prueba positiva, cualquiera que sea la cantidad de gas producido. Ausencia de gas a las 48 horas significa una prueba presuntiva negativa para coliformes.

d) Registrar el N° de tubos positivos para cada dilución.

2) Prueba confirmativa para coliformes totales y fecales.

Todos los tubos que resulten positivos a las 24 o 48 horas se transfieren a caldo BVB para confirmar coliformes totales y a caldo EC para confirmar coliformes fecales.

Procedimiento para confirmar coliformes totales

- a) Mezclar por agitación el tubo de la prueba presuntiva y transferir un inóculo con asa o aplicador de madera a tubos de fermentación que contienen caldo BVB. Se debe tener la precaución de enfriar el asa para asegurar que se transfiere un inóculo de cultivo viable.
- b) Incubar los tubos con caldo BVB a 35°C durante 24 a 48 horas.
- c) Al término del período de incubación observar la formación de gas en los tubos de fermentación de caldo BVB.
- d) La presencia de gas en los tubos de fermentación de caldo BVB significa una prueba confirmativa positiva para coliformes totales. Ausencia de gas constituye una prueba negativa.
- e) Registrar los resultados de la prueba confirmativa y de los controles.

Procedimiento para confirmar coliformes fecales

- a) Mezclar por agitación el tubo de la prueba presuntiva y transferir un inóculo con asa o aplicador de madera a tubos de fermentación que contienen caldo EC temperados previamente a 44,5°C por mínimo 30 minutos. Enfriar el asa para asegurar que se transfiere un inóculo de cultivo viable.
- b) Incubar los tubos en un baño de agua con cubierta a 44,5°C por 24 horas. El nivel de agua del baño debe sobrepasar el nivel de caldo de los tubos.
- c) Incluir cepas control usando *Escherichia coli* como control positivo y *Enterobacter aerogenes* como control negativo. Inocular el control negativo antes del positivo.
- d) Al término del período de incubación observar la formación de gas en los tubos.
- e) La presencia de gas significa una prueba confirmativa para coliformes fecales. Ausencia de gas significa una prueba negativa para coliformes fecales.
- f) Registrar los resultados de las pruebas confirmativas y de los controles.

Cálculo y expresión de resultados

La combinación de tubos positivos y/o negativos de las pruebas confirmadas es referida a la tabla NMP y se expresa como:

- NMP de coliformes totales por 100 mL de muestra.
- NMP de coliformes fecales por 100 mL de muestra.

Cuando se utilizan más de 3 series de diluciones decimales, se considera el resultado de 3 series, eligiendo la dilución más alta que da resultados positivos en los 5 tubos ensayados y las dos diluciones siguientes.

Si para el cálculo del NMP se consideran las 3 primeras series (10,1 y 0,1 mL), el valor expresado en la tabla corresponde al $NMP/100$ mL.

Si en vez de los volúmenes muestra de 10,1 y 0,1 mL se consideran 1 - 0,1 y 0,01 mL, se lee el resultado de la tabla y se multiplica por 10. Si se utilizan alícuotas más pequeñas, multiplicar por 100 o 1.000, según las alícuotas consideradas.

Apéndice N°8

Fotografías de la Experiencia.

Fotografía N° 1: Balanza Analítica.



Fotografía N°2: Mufla para medición de Sólidos Volátiles.



Fotografía N°3: Incubadoras para Medición de Coliformes Fecales.



Fotografía N°4: Estufa de Secado para medición de Humedad y de Sólidos Volátiles.



Fotografía N°5: Disecador o refrigerante para medición de Sólidos Volátiles.



Apéndice N°9

Cotizaciones de Equipos.

MINICARGADOR NEW HOLLAND LS 170



Especificaciones

Marca	Minicargador New Holland.
Modelo	LS 170
Motor	N 844 Turbo
Tipo Combustible	Diesel
Sistema Eléctrico	12 volts y alternador de 40 Amp.
Transmisión	Hidrostática
Neumáticos	10 x 16,5 - 6 Pr
Peso Operacional	2.451 Kg
Carga de Operación	816 Kg max.
Balde	0,43 m3
Altura de descarga	293 cm
Velocidad de Avance	0 - 12,1 km/hr
Número Cilindros	4
HP Máximo SAE	50
Desplazamiento (cm3)	1.995
Velocidad Avance (km/h)	0-12,1
Capacidad Balde (kg)	0,43
Carga Operación en Movimiento (kg)	771-816
Estanque Combustible (Lts)	55
Entre ejes	108 cms.
Ancho de vía con neumáticos	140 cms.

Av. Presidente Eduardo Frei Montalva 4230 - Renca
Fono: (56-2) 540 77 77 Fax: (56-2) 734 32 72

Santiago - Chile
Camion tolva EuroTech 740 E42TZ 6x4



Especificaciones	
Marca	Iveco
Modelo	EuroTech 740 E42TZ 6x4
Cilindros	6
Cilindrada	13.798 cm ³ .
Potencia máx.	420 CV a 1900 rpm.
Velocidad máx.	110 km/h.
Caja de Cambios	ZF 8097 SERVOCOM
Estanque	300+300
Capacidad de carga	13.000 kilos
Peso total a tierra	28.000 kilos
Capacidad máxima de tracción	80.000 kilos
Freno motor	Farfalla a la salida del turbo
Frenos de Servicio	Neumático, circuitos independientes. Corrector de frenada en función del peso sobre el eje trasero.
Freno de eje del/tras	Tambor/Tambor
Neumáticos	295/80 R22,5
Norma de Emisiones	Euro 2
Cabina	Frontal abatible a 60 ^a , disponible en versión simple o dormitorio.

SigdoTek S.A.
 Av. Presidente Eduardo Frei Montalva 4230 - Renca
 Fono: (56-2) 540 77 77 Fax: (56-2) 734 32 72

PHMETRO HI 8915 HANNA INSTRUMENTS

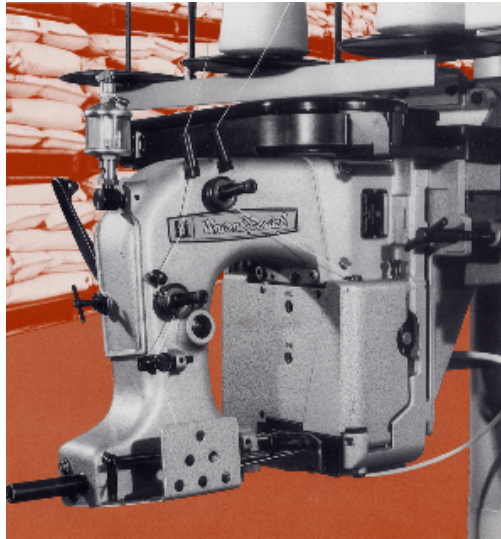


Especificaciones

Rango pH	0.00 a 14.00
mV	0 a +/- 1999
°C	0.0 a 100.0
Resolución pH	0.01
mV	1
°C	0.1
Precisión pH	+/-0.01
(@ 20°C) mV	+/- 1
°C	+/-0.5
Desviación EMC Típica pH	+/-0.02
mV	+/-1
°C	+/-0.8
Calibración de pH	Manual 2 puntos con potenciómetro de offset y slope
Calibración de desviación	+/-1 pH
Calibración de curva	de 85 a 105%
Compensación de temperatura	Automática de 0 a 70 °C ó fija a 25 °C con sonda de temperatura adosada
Electrodo	HI1230B electrodo pH, combinado doble junta llena de gel con BNC y 1 m cable (incluido)
Sonda de Temperatura	HI 7669AW con 1m cable roscado (incluido)
Impedancia de Entrada	10 (12)ohm
Salida Registradora	100 mV/pH; 1 mV/mV; 10 mV/°C
Duración y tipo de pila	1 x 9V / 100 horas
Condiciones de Trabajo	0 a 50°C ; RH 95%
Dimensiones	185x 82x 45 mm
Peso	570 g

Dr. Manuel Barros Borgoño 246, Providencia, Santiago - Chile
Fono 2361400 - Fax 2364009

COSEDORA DE SACO BC100



- Máquina cosedora de alto rendimiento para cerrar sacos llenos hechos de yute, papel, material sintético (espesor mínimo 0.18 mm) o polipropileno tejido, así como materiales revestidos o tratados con butimen o material sintético.
- Las cosedoras automáticas están equipadas con dispositivos para arranque y paro automático de la máquina, así como cortadores automáticos de la cadeneta o eventual cinta de papel.
- El saco activa un switch al entrar en el área de costura, el cual arranca automáticamente la cosedora. Este switch es controlado por un interruptor de proximidad electrónico. Cuando el saco está cerrado (cosido) la cosedora para automáticamente.
- Cuando en la planta se dispone de aire comprimido, es recomendable el uso de cortadores electroneumáticos. Esto se debe a que estos cortadores tienen una vida útil más larga y además se obtiene mayor cantidad de ciclos de corte.
- Para ser montado en pedestal de doble columna
- Cinta transportadora de altura variable con barandas ajustables.

OLIMEN LTDA.
Departamental 335-A
Fonos: 5525347 - 5115638
Fono-fax: 5525347
San Joaquín – Santiago

BALANZA DIGITAL



Modelo:	2154-E
País de Origen:	
Ubicación Actual de la Máquina:	Dtto.Federal-Caracass (Venezuela)
Descripción:	Balanza Industrial. Capacidad 3.000Kg División 200Kg Plataforma industrial 1.20 x 1.20 con cuatro (4) celdas de carga en acabado cromo níquel incluye indicador electrónico digital salida RS 232C, tara, cero automático y filtro contra IRF

TERMÓMETROS BIMETÁLICOS 4-15-21 WAARE INSTRUMENTS



TERMOMETROS BIMETALICOS 100 mm , ACERO INOXIDABLE

Termómetro de esfera con bulbo, Tipo industrial.

- Bulbo o Sensor 6 mm diámetro.
- Caja de acero inoxidable 316
- Conector deslizable de 1/2" NPT

Av. Víctor Uribe # 2260 Parque industrial Aconcagua
Quilicura – Santiago – Chile
Te: 56 (2) 7304700
Fax: 56 (2) 7304800

TAPAS DE MADERA PARA LECHOS DE LOMBRICULTURA

- Tapas de madera de pino insigne, 1'' espesor, 10 cm ancho, 2,40 m largo
- Origen: Nacional

Empresa Forestal Placilla
Octava 772 Esquina El Sauce
Fono: 290863 – Fax: 292050

LOMBRICES EISENIA FOETIDA

- Lombrices de tierra especiales para biotécnica de lombricultura

Lombricultura Pachamama S.A.
Avda Borgoño 17.400 / Viña del Mar - CHILE
Tel. DM: 5632 837636 / Cel: 569 8447192
Ofic: 5632 232345
ebollo@entelchile.net