



Universidad de Valparaíso
Facultad de Ciencias
Instituto de Ciencias Químicas y Biológicas
Escuela de Ingeniería Ambiental

Vermicompostaje aplicado a desechos de salmónidos utilizando la lombriz *Eisenia foetida*.

**Trabajo realizado en Piscicultura y Centro de Smoltificación de Patagonia Salmon
Farming S.A., filial Puerto Puyuhuapi.**

**Trabajo para optar al Título de
Ingeniero Ambiental**

Alumno:
Francisco Javier Roncagliolo Lepio

Docente Guía:
Martina Reinke O.
Ingeniero Civil Bioquímico

Valparaíso-Chile
2005

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la factibilidad técnica y operativa del vermicompostaje para el tratamiento de desechos de salmónidos, provenientes de Piscicultura y Centro de Smoltificación, con la lombriz *Eisenia foetida*.

Para la preparación del sustrato para las lombrices se utilizó sistema de compostaje en pilas con relaciones salmónidos/aserrín n 1:1, 2:1, y 3:1 (peso/peso).

Se realizaron análisis fisicoquímicos a las materias primas, al compost utilizado como alimento y al vermicompost obtenido.

Los análisis microbiológicos se realizaron a las materias primas y al compost utilizado como alimento, arrojando para éste último ausencia total de *E. coli* y *Salmonella sp.*

En las pruebas de alimento para cada compost se obtuvo 100% de aceptación en las relaciones 1:1 y 2:1 salmónidos/aserrín n, por parte de las lombrices, a las 24hrs a excepción de la relación 3:1.

Para la experiencia, 250 lombrices adultas fueron depositadas en cada muestra de sustrato del alimento preparado, por 70 días.

La relación 2:1 (salmónidos/aserrín n) presentó características más favorables en cuanto al tratamiento de desechos de salmónidos, utilizando sistema de compostaje en pilas. Además ofreció a *Eisenia foetida* condiciones más favorables para su adaptabilidad y reproducción por presentar mayor número de individuos y huevos al realizar el conteo al final del proceso.

INDICE

1	INTRODUCCION.....	6
2	OBJETIVOS.....	8
2.1	OBJETIVO GENERAL.....	8
2.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	8
3	MARCO TEÓRICO	9
4	METODOLOGIA	12
4.1	COMPOSTAJE	12
4.2	VERMICOMPOSTAJE.....	14
4.2.1	<i>Prueba de alimento.....</i>	<i>14</i>
4.2.2	<i>Diseño experimental.....</i>	<i>14</i>
4.2.3	<i>Escalamiento del proceso de vermicompostaje.....</i>	<i>15</i>
4.3	PARAMETROS EVALUADOS.....	15
4.3.1	<i>Análisis fisicoquímicos.....</i>	<i>15</i>
4.3.1.1	Materias primas.....	15
4.3.1.2	Alimento (compost)	15
4.3.1.3	Vermicompost.....	15
4.3.2	<i>Análisis microbiológicos.....</i>	<i>16</i>
4.3.2.1	Materias primas.....	16
4.3.2.2	Alimento (compost)	16
4.3.2.3	Vermicompost.....	16
5	RESULTADOS	17
5.1	COMPOSTAJE	17
5.1.1	<i>Caracterización inicial materias primas</i>	<i>17</i>
5.1.2	<i>Perfiles de temperatura.....</i>	<i>17</i>
5.1.3	<i>Formación y extracción de líquidos</i>	<i>19</i>
5.1.4	<i>Peso de compost obtenido.....</i>	<i>20</i>
5.1.5	<i>Calidad del compost</i>	<i>20</i>
5.2	VERMICOMPOSTAJE.....	21
5.2.1	<i>Prueba de alimento.....</i>	<i>21</i>
5.2.2	<i>Inicio experiencia</i>	<i>21</i>
5.2.3	<i>Conteo final individuos</i>	<i>21</i>
5.2.4	<i>Variación del peso del sustrato</i>	<i>22</i>

5.2.5	<i>Calidad vermicompost</i>	22
5.3	ESCALAMIENTO DEL PROCESO	23
6	DISCUSION	25
6.1	OBJETIVO 1: EVALUAR DIFERENTES PREPARACIONES DE MATERIA PRIMA PARA EL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE.....	25
6.1.1	<i>Caracterización inicial materias primas</i>	25
6.1.2	<i>Perfiles de temperatura</i>	26
6.1.3	<i>Formación y extracción de líquidos</i>	27
6.1.4	<i>Calidad compost</i>	27
6.2	OBJETIVO 2: EVALUAR EL COMPORTAMIENTO, VIABILIDAD Y REPRODUCTIVIDAD DE EISENIA FOETIDA FRENTE A LOS DIFERENTES SUSTRATOS PREPARADOS.	28
6.2.1	<i>Prueba de alimento</i>	28
6.2.2	<i>Conteo final de individuos</i>	29
6.2.3	<i>Pesaje individuos</i>	29
6.3	OBJETIVO 3: DETERMINAR TIEMPOS ASOCIADOS A CADA ETAPA DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE.	29
6.4	OBJETIVO 4: EVALUAR EL PRODUCTO FINAL OBTENIDO	30
6.4.1	<i>Variación peso del sustrato</i>	30
6.4.2	<i>Calidad vermicompost</i>	31
6.5	OBJETIVO 5: ESCALAMIENTO DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE.....	32
7	CONCLUSIONES	34
8	BIBLIOGRAFIA	36
9	ANEXOS	39
9.1	ANEXO I: ESQUEMA DE PROCESO DE COMPOSTAJE.	40
9.2	ANEXO II: METODOLOGÍAS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS. ..	41
9.2.1	<i>Análisis fisicoquímicos</i>	41
9.2.2	<i>Análisis microbiológicos</i>	41

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros físicoquímicos para el alimento de <i>Eisenia foetida</i> (Bollo, 2003).....	10
Tabla 2: Relaciones peso/peso experiencia compostaje.	13
Tabla 3: Caracterización inicial de las materias primas utilizadas en la experiencia.	17
Tabla 4: Relación inicial C/N de las pilas de compostaje.	17
Tabla 5: Temperatura final del proceso de compostaje.	19
Tabla 6: Material extraído de cada contenedor.	20
Tabla 7: Calidad del compost de desechos de salmónidos a entregar como alimento a las lombrices.	20
Tabla 8: Peso unitario promedio de lombrices para cada caja de experiencia.	21
Tabla 9: Conteo de individuos en distintas etapas de desarrollo en los alimentos suministrados.	21
Tabla 10: Peso base seca de compost utilizado como sustrato para lombrices.	22
Tabla 11: Peso base seca producto final obtenido de vermicompostaje.	22
Tabla 12: Comparación de peso entre compost utilizado como alimento y vermicompost obtenido.	22
Tabla 13: Calidad del vermicompost de desechos de salmónidos.....	22
Tabla 14: Comparación relación inicial C/N de las pilas de compostaje con NCh2880.c2003.	25
Tabla 15: Valores de caracterización comparativa de los parámetros iniciales de los desechos de salmónidos con bibliografía.	25
Tabla 16: Valores de caracterización comparativa de los parámetros iniciales de aserrín.	25
Tabla 17: Comparación parámetros compost dado a las lombrices con NCh2880.c2003... ..	27
Tabla 18: Requisitos microbiológicos Anteproyecto de Norma Chilena de Calidad de Compost (NCh2880.c2003).....	28
Tabla 19: Comparación resultados obtenidos por vermicompostaje con NCh2880.c2003.	32

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Desecho de salmónidos almacenados para realizar experiencia (se solicitaron 300 kg a la empresa). En círculo rojo huevos, en naranja reproductores y en azul alevines y smolt.	12
Figura 3: Material aireando por 6 días. En rojo la ubicación del contenido de cada contenedor.....	13
Figura 4: Condiciones de vermicompostaje por 70 días con <i>E. foetida</i>	15
Figura 5: Temperatura en compostaje (1:1). Círculos rojos: volteos. Círculos azules: regado.	18
Figura 6: Temperatura en compostaje (2:1). Círculos rojos: volteos. Círculos azules: regado.	18
Figura 7: Temperatura en compostaje (3:1). Círculos rojos: volteos. Círculos azules: regado.	19
Figura 8: Líquido en contenedor 3 (izquierda) y el extraído de dicho contenedor (derecha). Este líquido fue depositado en sitio autorizado por la empresa.....	20
Figura 9: Lombrices en distintos estados de desarrollo. Juveniles pequeñas y grandes (izquierda) y huevos (derecha).....	21
Figura 10: Características de una planta de tratamiento de desechos de salmónidos mediante vermicompostaje.	24
Figura 11: Esquema proceso de compostaje	40

1 INTRODUCCION

Chile es el segundo productor de salmón y truchas en el mundo. De los US \$ 159 Millones exportados en 1991 se llegó a US \$ 1266 Millones entre los meses de enero y noviembre de 2004 (Salmonchile, 2005). Hoy el sector salmonero aporta con el 5,5% a las exportaciones totales del país, expandiéndose con una tasa promedio anual de 22%, las que a su vez representan el 52% de las exportaciones pesqueras (Alvial, 2003).

Dentro de la actividad acuícola, la industria salmonera es la actividad productiva que más ha crecido en las últimas décadas en el país. Este dinamismo radica fundamentalmente en la X y XI región del país, mostrando importantes beneficios tanto económicos como sociales, transformando a este sector en un competidor a escala mundial. Al mismo tiempo, este crecimiento ha reconocido la importancia de resguardar las condiciones ambientales ya que como otras actividades productivas, esta actividad también genera interacciones con el medio ambiente donde se desarrolla (Subsecretaría de pesca, 2003).

En la XI región se encuentran operando 73 empresas del rubro salmonero, sumando un total de 28 pisciculturas y 343 centros de agua de mar, con una tasa de crecimiento anual proyectada de un 10% (Araya, 2003).

Una consecuencia adversa de este crecimiento es el incremento en la masa de desechos de salmónidos. Este aumento en los volúmenes de desechos junto a las cada vez mayores exigencias medioambientales ha creado un problema de manejo de dichos residuos para la industria salmonera en general.

Patagonia Salmon Farming S.A. es una de las empresas con presencia en la XI Región, cuenta con Piscicultura y Centro de Smoltificación. Se ubica a 15 kilómetros de Puerto Puyuhuapi, comuna de Cisne.

Esta empresa ha suscrito el Acuerdo de Producción Limpia (APL) y un sistema de gestión integrado junto a nueve empresas del sector pertenecientes a SalmónChile (Siges-salmónChile). El APL le permite a la empresa mejorar su eficiencia productiva (utilizar mejor sus materias primas y residuos) y, a la vez, mejorar su gestión de riesgo ambiental y su gestión de riesgos operacionales. En tanto, el Siges-SalmónChile nace por las tendencias de los mercados internacionales dentro de las cuales se encuentran los conceptos de Sustentabilidad y Responsabilidad Social siendo una herramienta que genera un sistema de

buenas prácticas ambientales (amigable con el Medio Ambiente), que permite actuar en forma práctica ante las posibles exigencias externas. Además, garantiza el cumplimiento de la normativa nacional e internacional y las buenas prácticas industriales en los ámbitos de Calidad, Medio Ambiente y Seguridad Laboral.

Estas herramientas de gestión están orientadas al mejoramiento continuo de la empresa, el cual consiste en la adaptación a los cambios del mercado y ofrecimiento de alternativas “amigables” con el Medio Ambiente.

Patagonia Salmon Farming S.A., se encuentra a 20 kilómetros del vertedero de Puerto Puyuhuapi y a más de 200 kilómetros del vertedero de Puerto Aysén y Coyhaique. Debido a su aislamiento y a la imposibilidad de depositar sus desechos de salmónidos en el vertedero municipal de Puerto Puyuhuapi, ya que este no cuenta con capacidad ni un manejo eficiente, debido a los malos olores y a la posibilidad de contaminar las aguas subterráneas, utiliza como la alternativa más viable el traslado de sus desechos de salmónidos mediante pago a empresas que las transportan hacia Puerto Montt.

Esta alternativa muestra como problemas el que se necesita acumular varios contenedores con desechos de salmónidos para hacer que el traslado sea viable económicamente tanto para la empresa productora de dichos residuos como para la empresa que los retira, provocando de este modo un posible riesgo de infecciones para los peces sanos, malos olores y conflictos en los traslados de estos, ya que, se realizan por tierra. Estas posibles complicaciones dificultarían en parte del cumplimiento de los objetivos planteados al suscribir el Acuerdo de Producción Limpia y el Sistema Siges-Salmonchile.

El presente Trabajo de Título propone como sistema de manejo de los desechos de salmónidos en la Piscicultura y Centros de Smoltificación de Patagonia Salmon Farming S.A., filial Puyuhuapi, el vermicompostaje utilizando la lombriz *Eisenia foetida* conocida también como lombriz roja californiana. Este sistema permitirá a evitar acumulaciones de estos desechos en dependencias de la empresa, traslados que pueden traer conflictos con organizaciones y con la comunidad debido a los olores, a su vez, disminuirá el riesgo de multas e indemnizaciones, aliviará la capacidad de carga de vertederos y ofrecerá como producto final un material orgánico estabilizado y menos peligroso para sus procesos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la factibilidad técnica y operativa del vermicompostaje para el tratamiento, a escala piloto, de desechos de salmónidos provenientes de Piscicultura y Centro de Smoltificación, de Patagonia Salmon Farming S.A., filial Puyuhuapi, con la lombriz *Eisenia foetida*.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar diferentes preparaciones de materia prima para el proceso de vermicompostaje.
- Evaluar el comportamiento, viabilidad y reproductividad de *Eisenia foetida* frente a los diferentes sustratos preparados.
- Determinar tiempos asociados a cada etapa del proceso de vermicompostaje.
- Evaluar el producto final obtenido.
- Escalar el proceso de vermicompostaje.

3 MARCO TEÓRICO

El vermicompostaje es un proceso aeróbico no termofílico de oxidación y estabilización de materia orgánica en descomposición que depende de las lombrices para fragmentar, mezclar y promover la actividad microbiana (Gunadi *et al.*, 2002) obteniéndose como producto final humus, el cual puede ser utilizado como sustrato de germinación de semillas, controlador de erosión, hormona estimuladora del crecimiento vegetal, entre otros (Bollo, 2003). El humus es un material con alta porosidad, aireación, drenaje, retención de agua y baja relación C/N. También contiene nutrientes como Nitratos, Calcio intercambiable, Fósforo y Potasio soluble que son captados rápidamente por las plantas. A su vez, tiene grandes áreas que proveen muchos micrositios para la actividad microbiana y para la retención de nutrientes (Arancon *et al.*, 2004).

Para el proceso de vermicompostaje la lombriz más utilizada es *Eisenia foetida* o lombriz roja californiana. Está clasificada dentro del reino animal como anélido terrestre de la clase de los oligoquetos, siendo hermafrodita insuficiente, es decir, tiene ambos sexos pero necesita aparearse para reproducirse. Perteneció al grupo de las epigeas, ya que viven dentro de los primeros 30 cm del suelo.

La utilización de *Eisenia foetida* está dada porque es la que mejor responde al proceso de vermicompostaje debido a:

- Su voracidad, ya que se ubica dentro de las especies con más amplio rango alimenticio (euófaga). Come todo tipo de materia orgánica y consume diariamente el equivalente a su masa.
- Es altamente prolija, es decir, se reproduce 16 veces en un año. Sin embargo, la tasa de reproducción varía según la estación del año y el factor de encuentro, esto es, la probabilidad de que dos individuos se encuentren y copulen.
- Es altamente resistente al stress, se adapta rápidamente a las actividades del criadero, como son la ventilación, alimentación y riego sin alterar su ritmo de reproducción y hábitos alimenticios, además habita en distintas condiciones de climas y altitud, vive en cautiverio sin fugarse de su lecho y tiene la capacidad de coexistir en altas densidades (20.000 a 40.000 individuos/m²), sin que se alteren sus efectos conductuales.

- Su tamaño juega un rol importante en la calidad del producto final, ya que por ser organismos pequeños ingieren una mayor cantidad de materia orgánica y con mayor rapidez.
- Su deyección aporta abono orgánico con una riqueza en flora bacteriana cercana al 100%, con 2 billones de colonias de bacterias vivas y activas por gramo de humus producido (2×10^{12} colonias/gramo). Entre éstas se encuentran bacterias nitrificantes, amonificantes, sulfatoreductoras.
- Finalmente, en criadero vive aproximadamente 16 años.

Se nutre con cualquier tipo de materia orgánica, que haya superado su estado de putrefacción y posterior fermentación (compostaje) (Bollo, 2003).

Los parámetros para el alimento son: temperatura (°C), humedad (%), pH y conductividad eléctrica (mmhos/cm) (**Tabla 1**).

Tabla 1: Parámetros físico-químicos para el alimento de *Eisenia foetida* (Bollo, 2003).

PARÁMETRO	OPTIMO	ADECUADO	PELIGRO DE MUERTE
Temperatura (°C)	20	15-24	<5 y >37
Humedad (%)	75	70-82	<70 y >82
pH	6,5-7,5	6,0-8,2	<4,5 y >8,5
Conductividad eléctrica (mmhos/cm)	2,5	3	>8,0

Para adecuar el alimento de *Eisenia foetida* es necesario realizar un compostaje previo para obtener un compost inmaduro el que será proporcionado en los lechos con lombrices.

El compostaje es un proceso de tipo microbiológico de mineralización y transformación de la materia orgánica en condiciones aeróbicas, con una duración mínima de 6 semanas que cuenta con cuatro etapas: mesofílica, termofílica, enfriamiento y de maduración que se puede realizar en contenedores, envases cerrados y pilas estáticas (Vizcarra *et al.*, 1993). Según Anteproyecto de Norma Chilena sobre Compost-Clasificación y requisito (NCh2880.c2003), el producto que pasa por las etapas mesofílica y termofílica de este proceso pero que no ha alcanzado las etapas de enfriamiento y maduración requeridas se denomina compost inmaduro.

Uno de los parámetros importantes a monitorear en las pilas, durante el proceso, son los perfiles de temperatura, ya que su evaluación muestra la efectividad del proceso

experimental. Esto es también importante en la destrucción de patógenos en las pilas de compostaje y es utilizada como una medición estándar de éxito.

La temperatura que se alcance en cada etapa es en función del calor liberado por la acción de microorganismos, humedad, relación C/N, aireación, temperatura ambiente y tamaño de la pila o hilera de compostaje, además del calor perdido hacia el ambiente.

Para optimizar el proceso de compostaje la proporción de materias primas se calcula en función de la humedad, se recomienda entre un 40% a un 60%. Las relaciones iniciales óptimas de C/N, para el compostaje, varían para distintas materias entre 26 y 35, ya que los valores inferiores producen pérdidas de nitrógeno amoniacal durante el proceso (Tejada, 1998). El pH está en función de la razón C/N, para obtener una descomposición aeróbica optima se requiere un pH entre 7 y 7,5 y no sobrepasar un pH 8,5 para evitar la pérdida de nitrógeno como gas amonio (Campos, 2003).

4 METODOLOGIA

4.1 COMPOSTAJE

Para la preparación del alimento (compostaje¹), se adoptó en forma inicial el método de pila estática por capas (Vizcarra *et al.*, 1993), donde se utilizó desechos de Salmón Atlántico (*Salmo salar*) en sus estados Ova, Alevín, Smolt y Reproductor (**Figura 1**), los que fueron depositados utilizando aserrín de Lengua (*Nothofagus pumilio*), en capas alternadas aserrín/salmónidos terminando siempre como última capa aserrín.



Figura 1: Desecho de salmónidos almacenados para realizar experiencia (se solicitaron 300 kg a la empresa). En círculo rojo huevos, en naranja reproductores y en azul alevines y smolts.

El compostaje, se realizó dentro de contenedores de 1m³ de capacidad cubiertos con malla rashel. Se utilizaron tres contenedores (**Figura 2**) en los que se depositó desechos de salmónidos y aserrín en relaciones 1:1, 2:1 y 3:1 (peso/peso), respectivamente (**Tabla 2**).



Figura 2: Contenedores en los que se realizó la experiencia de compostaje, cada uno cuenta con una capacidad de 1m³.

¹ Esquema en Anexo I.

Tabla 2: Relaciones peso/peso experiencia compostaje.

MATERIAS PRIMAS	CONTENEDOR 1 (1:1)	CONTENEDOR 2 (2:1)	CONTENEDOR 3 (3:1)
Salmónidos(kg)	61,5	95,1	115,9
Aserrín (kg) ²	136,5	105,45	85,7

Cada contenedor contó con una capa de aserrín en su base interna y sobre ésta una doble capa de bolsas de polietileno, utilizadas por la empresa como receptor de desechos de salmónidos, dentro de las cuales se desarrolló la experiencia.

Se midió la temperatura ambiental y del proceso de compostaje cada dos días entre las 08:00-10:00 hrs. am y dos (días 1 y 65) se realizaron a las 12:00 hrs. Se registró la cantidad de líquido formado, el cual fue extraído y depositado en un sector autorizado por la empresa. Se realizaron volteos cuando no se observó alza de temperatura dentro de los veinte primeros días y en los momentos en que se observaron descensos de los peak más altos de temperatura.

Las pilas de compostaje se mantuvieron en los contenedores por 75 días después de los cuales fueron extraídas de estos. Se pesó el material compostado aeróbicamente y también el material presente en el fondo de los contenedores 1 y 3 (descomposición anaeróbica al estado sólido y líquido). Sólo se consideró el material compostado aeróbicamente para continuar con el proceso de vermicompostaje, por esto el material con muestras de descomposición anaeróbica fue extraído y depositado en un sector autorizado por la empresa. El material compostado aeróbicamente se dejó airear por 6 días (**Figura 3**).



Figura 3: Material aireando por 6 días. En rojo la ubicación del contenido de cada contenedor.

² Estos valores de aserrín consideran que el 55% de este peso corresponde a humedad. Por lo que, para el C1 debería ser 61,5 kg, para el C2 47,5 kg y el C3 38,6 kg.

4.2 VERMICOMPOSTAJE

4.2.1 Prueba de alimento

La prueba de alimento o aceptación del compost preparado consistió en seleccionar sustrato de cada pila de compost inmaduro (en un recipiente de 27,5x15,5x4,5 cm³) depositando en su interior 10 lombrices adultas (cliteladas) por 24 a 48 hrs para observar su reacción ante el alimento, pudiendo ser ésta:

- Muerte de las lombrices
- Fuga de las lombrices
- Encontrarlas en perfecto estado

Cuando se observó muerte o fuga de más de la mitad de los ejemplares utilizados en esta prueba, se procedió a la aireación y riego por dos días, para estabilizar el sustrato, continuándose con el proceso para analizar el producto final luego de aplicar lombrices y así poder compararlo con el resultado de los otros sustratos.

4.2.2 Diseño experimental

Se diseñó el vermicompostaje para trabajar en duplicado con cada uno de los sustratos. Se pesó y depositó muestra de sustrato dentro de recipientes plásticos rectangulares, equivalentes a 4 litros cada uno.

Se seleccionaron 250 lombrices adultas cliteladas de un mismo criadero (Lombricultura Pachamama S.A.), para cada recipiente, pensando en una densidad poblacional a escala de 62,5 individuos/lt (Bollo, 2003). 25 lombrices, de cada recipiente, fueron escogidas al azar y pesadas. Cada caja fue rotulada de acuerdo al origen correspondiente.

Los sustratos fueron dejados con lombrices por 70 días (**Figura 4**), durante los cuales se observó la humedad, mediante registro visual de éstos y se realizaron mediciones alternadas de temperatura. Al finalizar la experiencia se seleccionó una de las cajas de cada sustrato para luego realizar el conteo de lombrices adultas cliteladas, juveniles y huevos presentes en cada una y pesaje del sustrato obtenido. El conteo se realizó en forma directa para la caja con relación de alimento 1:1 y por cuarteo en las otras dos experiencias.



Figura 4: Condiciones de vermicompostaje por 70 días con *E. foetida*.

4.2.3 Escalamiento del proceso de vermicompostaje

Se desarrolló considerando las características de la relación salmónidos/aserrín más eficiente durante todo el proceso de vermicompostaje.

4.3 PARAMETROS EVALUADOS³

Se tomaron muestras de cada materia prima a utilizar, compost y vermicompost para realizar análisis fisicoquímicos en base seca y microbiológicos.

4.3.1 Análisis fisicoquímicos

4.3.1.1 Materias primas

- Carbono Orgánico Total (COT)
- Nitrógeno Total (NT).

4.3.1.2 Alimento (compost)

- Humedad.
- Carbono Orgánico Total (COT)
- Nitrógeno Total (NT).
- Grasas.

4.3.1.3 Vermicompost

- Humedad.

³ Metodología de análisis en Anexo II.

- Carbono Orgánico Total (COT).
- Nitrógeno Total (NT).
- Magnesio.
- Calcio.
- Fósforo.

4.3.2 Análisis microbiológicos

4.3.2.1 Materias primas

- Presencia o ausencia de Coliformes Totales (CT).

4.3.2.2 Alimento (compost)

- Presencia o ausencia de Coliformes Totales (CT).
- Presencia o ausencia de Coliformes Fecales (CF).

4.3.2.3 Vermicompost

- No se realizaron análisis

5 RESULTADOS

5.1 COMPOSTAJE

5.1.1 Caracterización inicial materias primas

Los resultados de la caracterización inicial de los desechos de salmónidos y aserrín, son los que se muestran en la **Tabla 3**.

Tabla 3: Caracterización inicial de las materias primas utilizadas en la experiencia.

Parámetro	Salmónidos	Aserrín
NT, %	7,86	0,18
COT, %	54,04	47,89
C/N	6,87	257,5
Coliformes totales	Presencia (no se discriminó Coliformes fecales)	Presencia (no se discriminó Coliformes fecales)

La relación inicial C/N de las pilas de compostaje estuvo entre 8,8 y 12,6 (**Tabla 4**).

Tabla 4: Relación inicial C/N de las pilas de compostaje.

Parámetro	C 1	C 2	C 3
Relación C/N	12,6	10,2	8,8

5.1.2 Perfiles de temperatura

En la Pila 1 el promedio de temperatura registrado fue de 47,5°C desde el día 21 hasta el día 51, registrándose como temperatura máxima 59°C el día 35. La temperatura dentro de los primeros 19 días se mantuvo en un rango de 7,8°C-26°C. Los últimos 25 días del proceso la temperatura declinó lentamente alcanzando un promedio de 20,4°C. La temperatura de la pila de compostaje el día 75 fue de 19,5°C. Se realizó volteo los días 19, 33 y 43 además de regado el día 47 (**Figura 5**).

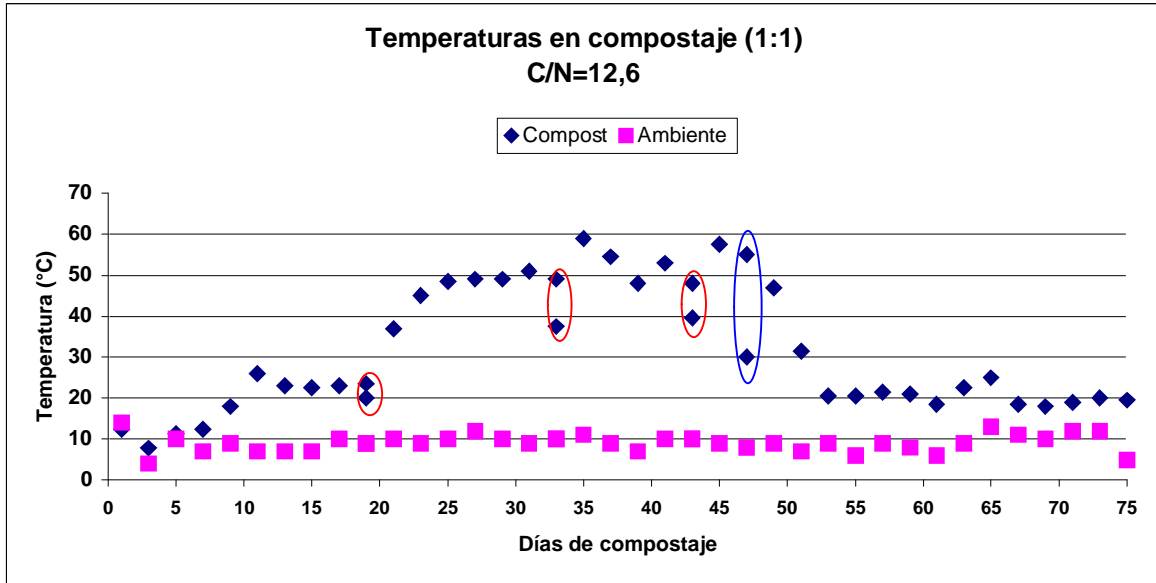


Figura 5: Temperatura en compostaje (1:1). Círculos rojos: volteos. Círculos azules: regado.

En la Pila 2, el promedio de temperatura registrado fue de 45,6°C a partir del día 25, registrándose como temperatura máxima 58°C el día 37. La temperatura dentro de los primeros 23 días se mantuvo en un rango de 9°C-25°C. La temperatura de la pila de compostaje el día 75 fue de 43,5°C. Se realizó volteo los días 23, 33, 43 y 65 además de regado los días 47 y 65 (Figura 6).

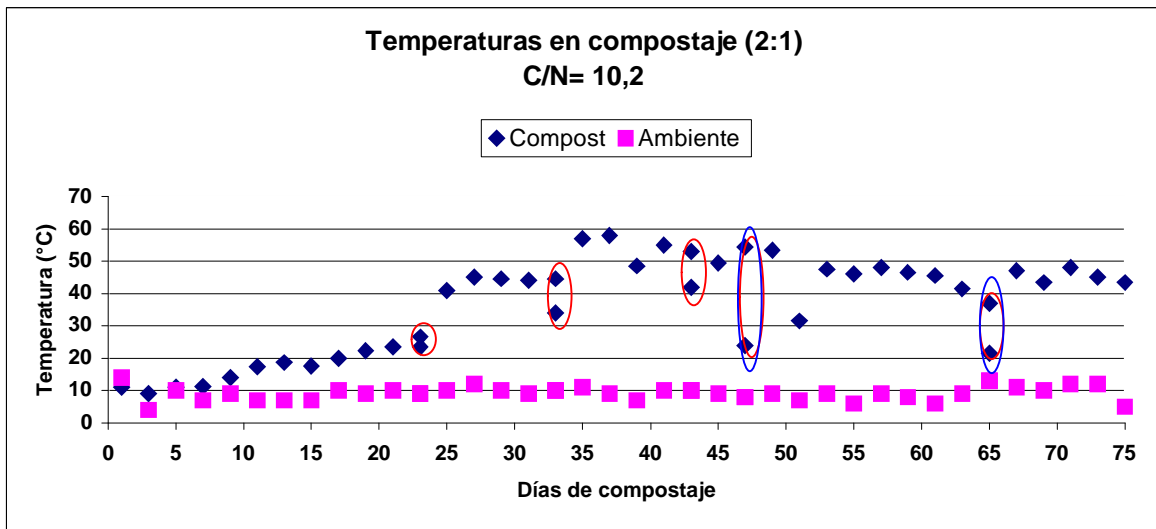


Figura 6: Temperatura en compostaje (2:1). Círculos rojos: volteos. Círculos azules: regado.

En la Pila 3, el promedio de temperatura registrado fue de 46,1°C a partir del día 25, registrándose como temperatura máxima 59°C el día 45. La temperatura dentro de los primeros 23 días se mantuvo en un rango de 9,3°C-27,5°C. La temperatura de la pila de

compostaje el día 75 fue de 33°C. Se realizó volteo los días 19, 33, 43 y 65 además de regado los días 47 y 65 (**Figura 7**).

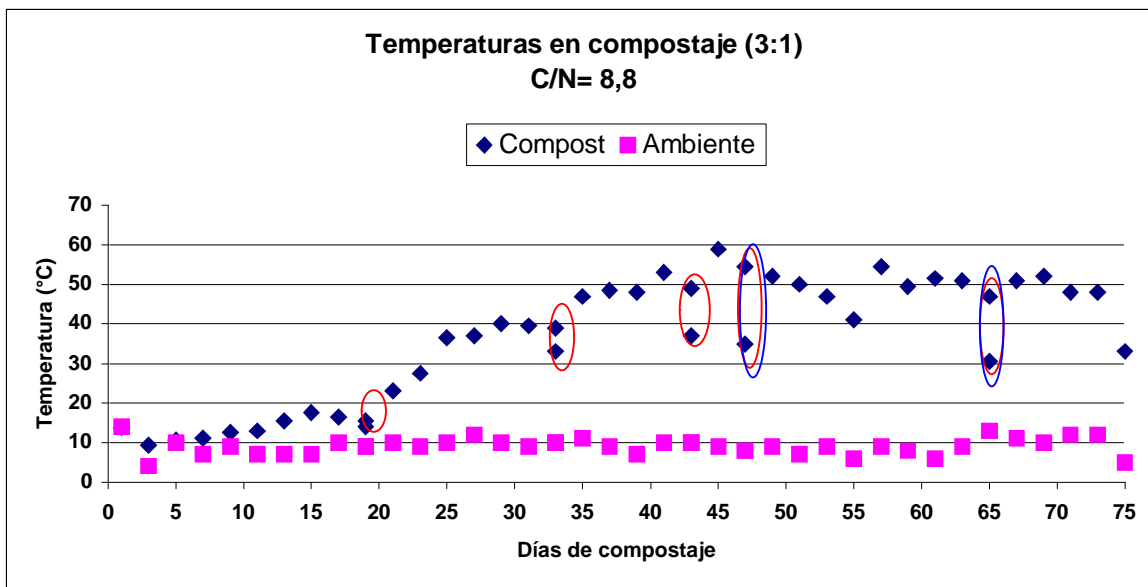


Figura 7: Temperatura en compostaje (3:1). Círculos rojos: volteos. Círculos azules: regado.

En todas las pilas se observaron temperaturas superiores a 45°C por más de 12 días consecutivos.

Se registró diferencias en las temperaturas finales de cada pila al concluir la etapa de compostaje al día 75, en un rango entre 19,5°C y 43,5°C (**Tabla 5**).

Tabla 5: Temperatura final del proceso de compostaje.

Parámetro	Compost 1	Compost 2	Compost 3
Temperatura final (°C)	19,5	43,5	33

El promedio de temperatura ambiente para las tres pilas de compostaje durante todo el proceso fue de 9,0°C, siendo la temperatura máxima alcanzada 12°C. Para el día 1 fue de 14°C y el día 65 de 13°C.

5.1.3 Formación y extracción de líquidos

Se extrajo el día 33 desde el fondo del contenedor 1 aproximadamente 4 litros de líquido. Desde el contenedor 3 se extrajeron aproximadamente 139 litros en toda la experiencia, comenzando el día 23 y concluyendo el día 43 (**Figura 8**).



Figura 8: Líquido en contenedor 3 (izquierda) y el extraído de dicho contenedor (derecha). Este líquido fue depositado en sitio autorizado por la empresa.

5.1.4 Peso de compost obtenido

Al terminar la experiencia se extrajo y pesó el material de cada contenedor en el cual se distinguió el compostado aeróbicamente y el compostado en forma anaeróbica. (**Tabla 6**).

Tabla 6: Material extraído de cada contenedor.

Contenedor	Material compostado aeróbicamente (kg)	Material compostado en forma anaeróbica (kg)
C1 (1:1)	82	53
C2 (2:1)	87	0
C3 (3:1)	53	39,5

5.1.5 Calidad del compost

El compost seleccionado de cada pila como alimento a las lombrices se encontró en un rango entre 32 a 40% de humedad con una relación C/N entre 20,4 a 25,3, y el pH entre 6,1 a 6,6. (**Tabla 7**).

Tabla 7: Calidad del compost de desechos de salmónidos a entregar como alimento a las lombrices.

Parámetro	Compost 1:1	Compost 2:1	Compost 3:1
Humedad, %	32,52	39,96	36,91
COT, %	34,77	45,30	43,58
NT, %	1,70	1,79	1,76
C/N	20,4	25,3	24,7
pH	6,1	6,1	6,6
Materia Orgánica, %	59,80	77,92	74,96
Grasas, %	0,48	0,74	0,66

En todas las muestras analizadas, se obtuvo ausencia total después de 72 horas de cultivo a 44,5°C, de Coliformes fecales como *E. Coli* y de patógenos como *Salmonella sp.*

5.2 VERMICOMPOSTAJE

5.2.1 Prueba de alimento

De las 10 lombrices ingresadas a las pruebas de alimento, para cada compost, se obtuvo para la cama 1 (1:1) un 100% de aceptación a las 24 y 48 horas, igual resultado se obtuvo para la cama 2 (2:1). Para la cama 3 (3:1) ocurrió muerte de algunas lombrices (5 individuos) y a la vez presumible fuga de individuos por lo que se tomaron muestras de compost para análisis de pH, obteniéndose como resultado 6,5. No se realizaron otras pruebas pero sí se aireó y regó la pila de compost por dos días, después de los cuales se realizó nuevamente la prueba de alimento resultando en un 100% de aceptación a las 24 horas.

5.2.2 Inicio experiencia

Se obtuvo que el peso promedio aproximado de las lombrices se encontraba en un rango entre 0,28 gr y 0,41 gr para cada recipiente (**Tabla 8**).

Tabla 8: Peso unitario promedio de lombrices para cada caja de experiencia.

1 A	1 B	2 A	2 B	3 A	3 B
0,41 gr	0,37 gr	0,38 gr	0,36 gr	0,35 gr	0,28 gr

5.2.3 Conteo final individuos

Los resultados del conteo de individuos juveniles, huevos y adultas cliteladas, en cada uno de los alimentos preparados, son señalados en la **Tabla 9** y los estados de desarrollo encontrados se muestran en la **Figura 9**.

Tabla 9: Conteo de individuos en distintas etapas de desarrollo en los alimentos suministrados.

Sustrato	Juveniles	Huevos	Cliteladas
Vermicompost 1:1	3086	108	0
Vermicompost 2:1	3612	280	0
Vermicompost 3:1	2538	80	0



Figura 9: Lombrices en distintos estados de desarrollo. Juveniles pequeños y grandes (izquierda) y huevos (derecha).

5.2.4 Variación del peso del sustrato

Variación en base seca, del peso del compost utilizado como sustrato para el vermicompostaje (Tabla 10), el producto final obtenido luego de la aplicación de lombrices (Tabla 11) y resultado de una comparación entre peso de compost entregado como alimento a las lombrices y vermicompost obtenido (Tabla 12).

Tabla 10: Peso base seca de compost utilizado como sustrato para lombrices.

Preparación	Peso compost (kg)	Humedad (%)	Peso seco inicial (kg)
Relación 1:1	1,66	32,52	1,12
Relación 2:1	1,79	39,96	1,07
Relación 3:1	1,76	36,91	1,11

Tabla 11: Peso base seca producto final obtenido de vermicompostaje.

Preparación	Peso vermicompost (kg)	Humedad (%)	Peso seco final (kg)
Relación 1:1	1,23	75,62	0,30
Relación 2:1	1,41	77,97	0,31
Relación 3:1	1,65	74,21	0,43

Tabla 12: Comparación de peso entre compost utilizado como alimento y vermicompost obtenido.

Preparación	Peso seco inicial (kg)	Peso seco final (kg)	% reducción peso
Relación 1:1	1,12	0,30	73,21
Relación 2:1	1,07	0,31	71,02
Relación 3:1	1,11	0,43	61,26

5.2.5 Calidad vermicompost

La calidad del vermicompost obtenido, en cada relación, se ve reflejada en la Tabla 13.

El porcentaje de humedad se encuentra entre un 74 y 76%; la relación C/N entre 19 y 25 mientras que el pH entre un 6,6 y 6,7.

Tabla 13: Calidad del vermicompost de desechos de salmónidos

Parámetro	Vermicompost 1:1	Vermicompost 2:1	Vermicompost 3:1
Humedad, %	75,62	77,97	74,21
COT, %	47,82	51,04	53,48
NT, %	2,44	2,52	2,21
C/N	19,6	20,25	24,2
pH	6,6	6,7	6,6
Materia Orgánica, %	82,25	87,79	91,98
K (%)	0,224	0,188	0,186
Ca (%)	1,424	1,992	3,171
Mg (%)	0,263	0,244	0,289
P (%)	0,60	0,94	1,46
PO ₄ ⁼ (%)	1,83	2,89	4,49

5.3 ESCALAMIENTO DEL PROCESO

El escalamiento del proceso (**Figura 10**), considera la relación 2:1 salmónidos/aserrín, proyectando un peso anual de desechos de salmónidos en 35.640 kg y 17.820 kg de aserrín. Son necesarias 115.000 lombrices obtenidas de 23 núcleos compuestos por 5.000 lombrices cada uno.

El área total para la preparación del alimento (compostaje) y criadero (vermicompostaje) es de 250 m², las que se distribuyen en 100 m² para el compostaje y 150 m² para el vermicompostaje. Además, se cuenta con un área de acopio para el aserrín a utilizar y el compost producido.

Se cuenta con una cancha de compostaje en la que se ubican en un comienzo 4 pilas de 3 m de largo, 2 de ancho y 1 de alto, de las cuales, 2 corresponden a las a utilizar en época de desove en los centros de Smoltificación. Esta cancha cuenta con un cierre perimetral para impedir el acceso de personal no autorizado y vectores.

La cancha de vermicompostaje cuenta con 4 lechos de 20 m de largo, 1,2 de ancho y 0,40 de alto los que serán fabricados de madera en los inicios del proceso.

La planta es operada por una persona que tiene las funciones de acopio del aserrín, mezclado de las materias primas, regado, volteo y distribución del alimento a los lechos con lombrices como también la cosecha de éstas y extracción de humus o vermicompost.

CARACTERÍSTICAS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE MORTALIDADES MEDIANTE VERMICOMPOSTAJE UTILIZANDO *Eisenia foetida*.

Relación utilizada: 2:1 salmónidos/aserrín (peso/peso).

Cantidad Mortalidad: 35640 kg. (producción anual).

Cantidad aserrín n: 17820 kg. (a ocupar en un año).

Cantidad de lombrices a ocupar: 115000.

Cantidad de núcleos: 23 con 5000 lombrices cada uno.

Nº	COMPOSTAJE	m ²
1	Área total compostaje (10x10 m ²)	100
1.a	Área total cama de compostaje	24
1.b	Área total pasillos	48
2	Área acopio aserrín y compost	25

Nº	VERMICOMPOSTAJE	m ²
1	Área total Vermicompostaje (10x15 m ²)	150
1.a	Área total lechos de vermicompostaje	45
1.b	Área pasillos vermicompostaje	76

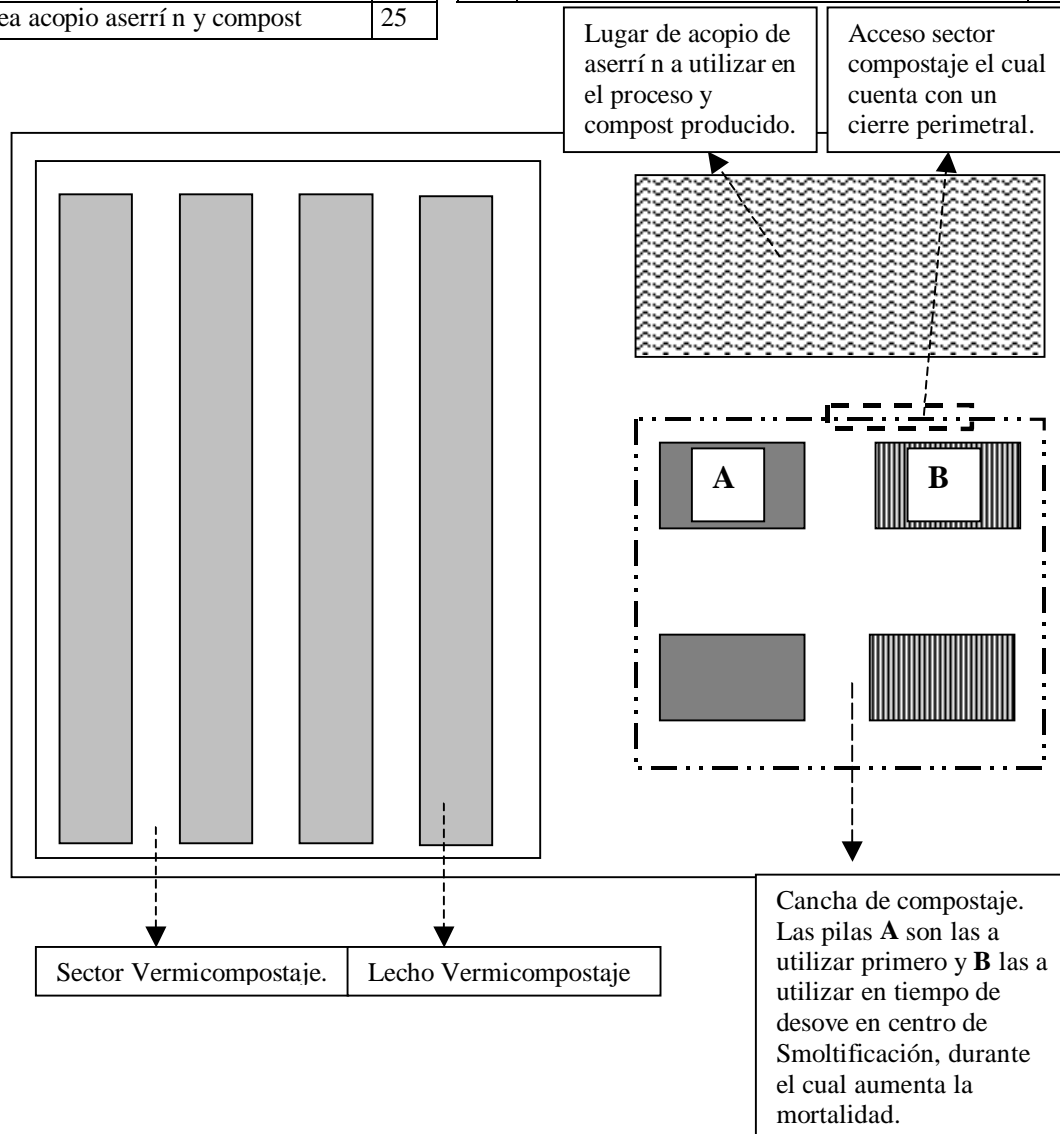


Figura 10: Características de una planta de tratamiento de desechos de salmónidos mediante vermicompostaje.

6 DISCUSION

6.1 Objetivo 1: Evaluar diferentes preparaciones de materia prima para el proceso de vermicompostaje.

6.1.1 Caracterización inicial materias primas

En cuanto a los valores obtenidos en la relación C/N inicial del proceso de compostaje, no se cumplió con lo estipulado en el Anteproyecto de Norma Chilena sobre Compost-Clasificación y requisito (NCh2880.c2003) (**Tabla 14**).

Tabla 14: Comparación relación inicial C/N de las pilas de compostaje con NCh2880.c2003.

Parámetro	C 1	C 2	C 3	Anteproyecto NCh2880-2003 sobre compostaje
Relación C/N	12,6	10,2	8,8	Entre 25:1 y 40:1

En este estudio se debe considerar que para la determinación de Carbono Orgánico Total y Nitrógeno Total de las materias primas utilizadas para la experiencia se realizó sólo un análisis por muestra en base seca. Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos por Campos (2003) y las bibliografías que cita (Laos *et al.* (1998) y Chamy *et al.* (1998)) para el análisis a los desechos de salmónidos (**Tabla 15**).

Tabla 15: Valores de caracterización comparativa de los parámetros iniciales de los desechos de salmónidos con bibliografía.

Parámetro	Análisis propios	Campos 2003	Laos <i>et al.</i> 1998	Chamy <i>et al.</i> 1998
NT, %	7,866	3,52	11,0	6,66
COT, %	54,04	50	40	51,22
C/N	6,87	14,3	3,6	7,7

A diferencia de Campos (2003), se obtiene un mayor porcentaje de NT y COT debido a que se trabajó con desechos de salmónidos en distintas etapas de desarrollo, no con desechos de planta de procesos (visceras, esquelones, etc) pero no así con Chamy *et al.* (1998) con el cual se obtienen resultados similares.

Los análisis al aserrín (**Tabla 16**) fueron realizados bajo las mismas características de análisis que los desechos de salmónidos.

Tabla 16: Valores de caracterización comparativa de los parámetros iniciales de aserrín.

Parámetro	Análisis propios	Campos, 2003
NT, %	0,18	0,15
COT, %	47,89	45
C/N	257,5	300

Si bien se observan similitudes con respecto a los resultados obtenidos por Campos (2003) no define la madera de la cual proviene el aserrín utilizado, lo que podría indicar la diferencia al comparar estos parámetros.

En cuanto a la calidad sanitaria de las materias primas utilizadas en la experiencia, debido a la ausencia de un laboratorio cercano que ofreciera las condiciones para el análisis de Coliformes Fecales, se aplicó sólo análisis de Presencia o Ausencia de Coliformes Totales no pudiéndose discriminar Coliformes Fecales como *E. Coli* ni patógenos como *Salmonella sp.*, como solicita el Anteproyecto de Norma Chilena sobre Compost-Clasificación y requisito (NCh2880.c2003).

6.1.2 Perfiles de temperatura

No se observó aumento de la temperatura, en todas las pilas, dentro de los primeros 23 días del proceso, por lo que se decidió realizar volteo y aumentar la altura de éstas, ya que existe una relación directa entre tamaño de la pila y la temperatura. Esto porque si las pilas son muy bajas no se alcanza la temperatura correspondiente para el desarrollo de los organismos termofílicos y la transformación no se efectúa satisfactoriamente (Chamy *et al.*, 1997).

La diferencia entre los niveles de temperaturas finales entre la pila 1 y las otras pilas (**Tabla 5**) se debió posiblemente a que las dos últimas tenían mayor cantidad de material degradable por lo que la estabilización de la pila 1 pudo ser más rápida (Vizcarra *et al.*, 1993).

La temperatura sobre 45°C se mantuvo por 12 días consecutivos, en todas las pilas, por lo que satisface lo requerido en el punto 5.2.1.2 sobre requisitos sanitarios del Anteproyecto de Norma Chilena sobre Compost-Clasificación y requisito (NCh2880.c2003). Según Campos (2003) manteniendo una temperatura de 40°C durante 5 días, las pilas de compostaje están cumpliendo con la regulación de la Agencia de Protección Medioambiental (EPA), de Estados Unidos, para lograr reducción significativa de patógenos.

6.1.3 Formación y extracción de líquidos

Fueron extraídos aproximadamente 4 litros de líquido del contenedor 1 (1:1) y 139 litros de líquido del contenedor 3 (3:1). Con respecto al contenedor 3 se debió a la mayor cantidad de desechos de salmónidos utilizados lo que aportó abundante líquido al proceso (Campos, 2003).

Se extrajo el líquido porque la acumulación estaba favoreciendo la descomposición anaeróbica y a su vez con esto, la producción de malos olores durante el proceso.

Posterior a cada extracción de líquido en el contenedor 3 (3:1) se observó un aumento de la temperatura lo que indica la continuación del proceso aeróbico (Chamy *et al.*, 1997).

6.1.4 Calidad compost

La calidad del compost, puede ser indicada por el contenido de humedad, pH y la relación C/N (Liao *et al.*, 1994). De acuerdo a estos parámetros, además del porcentaje de materia orgánica, el Anteproyecto de Norma Chilena sobre Compost-Clasificación y requisito (NCh2880.c2003) clasifica los sustratos obtenidos como compost Clase A (**Tabla 17**). El porcentaje de humedad no fue registrado al final del proceso de compostaje debido a un problema de logística.

Tabla 17: Comparación parámetros compost dado a las lombrices con NCh2880.c2003.

Parámetro	Compost 1	Compost 2	Compost 3	NCh2880.c2003 (Compost clase A)
C/N	20,4	25,3	24,7	Entre 10 y 25
pH	6,1	6,1	6,6	pH normal entre 5,0 y 7,5
Materia Orgánica, %	59,80	77,92	74,96	Debe ser mayor o igual a 45%

La relación C/N obtenida es aún alta para un compost estabilizado según Tejada (1998) citando él diferentes criterios; siendo estos:

- Relación C/N 10, óptima para los productos finales.
- Relación C/N menor a 20, para ser utilizada como mejorador orgánico.
- Relación C/N superior a 20, produce un aumento de la microflora que utiliza el propio Nitrógeno del suelo para su metabolismo, por lo tanto, aumenta la competencia.

En cuanto a análisis microbiológicos el Anteproyecto de Norma Chilena sobre Compost-Clasificación y requisito (NCh2880.c2003) exige la determinación de *E. Coli* y *Salmonella sp.*, entre otros (**Tabla 18**).

Tabla 18: Requisitos microbiológicos Anteproyecto de Norma Chilena de Calidad de Compost (NCh2880.c2003)

Tipo de Microorganismo	Tolerancia
Coliformes fecales	< a 1000 NMP por gramo de compost, en base seca
<i>Salmonella sp.</i>	3 NMP en 4 gr de compost, en base seca
NMP= Número más probable	

El producto final obtenido después del proceso de compostaje, cumple con los requisitos sanitarios exigidos en cuanto a *E. Coli* y *Salmonella sp.*, debido a la ausencia total de Coliformes fecales y patógenos luego de 72 horas de cultivo a 44,5 °C. Con lo cual, se puede suponer la ausencia de dichos microorganismos en los desechos de salmónidos y aserrín o eficiencia del proceso de compostaje en la eliminación de estos avalado por los resultados de temperaturas obtenidos durante el proceso (**Punto 6.1.2**).

6.2 Objetivo 2: Evaluar el comportamiento, viabilidad y reproductividad de *Eisenia foetida* frente a los diferentes sustratos preparados.

6.2.1 Prueba de alimento

Se observó muerte y presumible fuga de individuos en el compost 3:1. Estas reacciones pudieron ser provocadas por un exceso de compuestos nitrogenados o ácidos grasos volátiles. Otro factor que pudo haber influido es el pH, el cual debe encontrarse en un rango >4,5 y <8,5 para que las lombrices no corran peligro de muerte. Debido a disponibilidad técnica sólo se midió este último parámetro, el que arrojó un resultado pH 6,5, adecuado para las lombrices (Bollo. 2003), descartando este parámetro como causante de muerte o fuga de lombrices.

En la prueba de alimento realizada a la relación 3:1 donde se observó muerte y/o rechazo por parte de éstas, se presentó una relación C/N de 24,7, la cual es menor a la de la relación 2:1 (25,3) donde no se registró rechazo por parte de las lombrices. Según Tejada (1998) el compost obtenido y dado a las lombrices aún tiene una relación C/N alta para ser un compost estabilizado, sin embargo, éste no pareció dañar a las lombrices.

6.2.2 Conteo final de individuos

En cuanto al conteo final aproximado de individuos pasado 70 días, la caja que presentó mayor cantidad de individuos juveniles y huevos fue la con relación 2:1 considerando que todas las relaciones se encontraban bajo las mismas condiciones, por lo que, esto podría indicar que la relación 2:1 ofrece mejores características como alimento y medio de reproducción a *Eisenia foetida*. Además de la cantidad de huevos obtenidos de la relación 2:1 proyectando 8 individuos por huevo (Bollo, 2003) se esperará una cantidad de 2240 nuevos individuos.

En condiciones normales (comprobadas en experimentación por Bollo) se debería duplicar la población de lombrices después de 90 días. Basado en esto, se puede decir que los resultados obtenidos en este trabajo sobrepasan dicha estimación.

6.2.3 Pesaje individuos

Si bien, al inicio del proceso se realizó pesaje de 25 lombrices cliteladas por cada recipiente, no fue posible realizar el cálculo de la variación con el peso final debido a que, en el momento del conteo final de individuos, no se registró presencia de lombrices cliteladas. Esto podría explicarse como una reacción o respuesta a algún tipo de stress, como puede ser el aumento de la densidad de población, ya que las condiciones límite para este parámetro son las del inicio del proceso, esto es, 250 individuos para cuatro litros de sustrato (Bollo, 2003), considerando que la población final se encuentra en un rango de 2538 a 3612 individuos y en constante crecimiento (presencia de huevos en todas las experiencias).

6.3 Objetivo 3: Determinar tiempos asociados a cada etapa del proceso de vermicompostaje.

Según Chamy *et al.* (1997), el alimento para las lombrices, en el caso de los residuos orgánicos agrícolas, debe fermentarse previamente por 15 a 30 días hasta obtener un pH entre 6 y 8,5. En el caso del presente estudio se logró esta condición y las sugeridas por Bollo (2003) para conseguir la aceptación de las lombrices en un lapso de tiempo mayor (75 días), sin dejar de considerar que los primeros 23 días se trabajó con un sistema de compostaje en capas (Vizcarra *et al.*, 1993) que no tuvo peak de temperatura, por lo que se modificó estructuralmente a un sistema de pila que logró el alza de temperatura

cuantificable ya a partir de la siguiente toma de registro y subsecuentemente con ello la estabilización del sustrato. Sobre la base de resultados experimentales Bollo recomienda un compostaje de 30 a 45 días a partir de la formación de la pila.

Bollo (2003), plantea para al proceso de vermicompostaje una duración de 12 meses para la obtención de humus pero bajo condiciones normales para obtener vermicompost 6 a 8 meses. El presente trabajo si bien utiliza a la lombriz *Eisenia foetida* por un periodo de sólo 70 días ya puede observar variaciones desde un compost inmaduro (utilizado como sustrato) a vermicompost. Esto se ve reflejado en las variaciones de la relación C/N.

6.4 Objetivo 4: Evaluar el producto final obtenido

6.4.1 Variación peso del sustrato

Al observar el material obtenido de los contenedores después del proceso de compostaje, tomando en cuenta material descompuesto en forma aeróbica y anaeróbica (**Tabla 6**), y considerando los pesos iniciales de las materias primas (**Tabla 2**), se puede decir que todos los contenedores presentaron una reducción de los pesos iniciales.

El contenedor 1 presentó una reducción de un 31,8% del peso inicial de las materias primas, esto se puede explicar por la evaporación producto de las altas temperaturas alcanzadas durante el proceso (**Figura 5**) y también, pero en un bajo porcentaje, con la extracción de líquido (**Punto 5.1.3**).

El contenedor 2 presentó una reducción de un 58,3% del peso de las materias primas iniciales esto se explica exclusivamente por la evaporación producto de las altas temperaturas alcanzadas (**Figura 6**).

El contenedor 3 presentó una reducción de un 54,1%, aportada principalmente por la gran cantidad de líquido extraído durante el proceso (**Punto 5.1.3**) y el aporte dado también por la evaporación debido a las altas temperaturas alcanzadas en el proceso (**Figura 7**).

Si el proceso de compostaje hubiera continuado se supone la posibilidad de una mayor reducción del peso de material, en los contenedores 2 y 3, debido a que aún estos presentaban temperaturas altas al ser extraídos (**Tabla 5**).

Se debe decir que no se realizaron mediciones de humedad a las materias primas y al producto extraído de los contenedores. Por lo mismo, estas reducciones no son comparables a las obtenidas al término del vermicompostaje.

El material utilizado para continuar con el proceso con las lombrices corresponde al compostado en forma aeróbica ya que presenta características que hacen su manejo y estabilización más rápido.

Para el vermicompostaje se observa un mayor porcentaje de reducción del peso, en base seca, en la relación 1:1, luego 2:1 y 3:1; todas sobre un 60% del peso inicial del compost utilizado como alimento (**Tabla 12**). En el vermicompost sobre el 70% del peso final es agua (**Tabla 11**), por lo que cumple con lo recomendado en cuanto al porcentaje de humedad según Bollo (2003).

6.4.2 Calidad vermicompost

El vermicompost obtenido para cada relación, presenta diferencias con respecto al compost utilizado como sustrato inicial para las lombrices.

En todas las relaciones se observa que el vermicompost presenta un aumento en el porcentaje de Nitrógeno y Carbono, pero a pesar de la variación se mantuvo la relación C/N para la relación 1:1 y 3:1 no así en la relación 2:1 en la que disminuyó en forma importante, lo cual indica que el sustrato se encontraba en un proceso favorable de estabilización (el cual está dado por la disminución de la relación C/N). El aumento del Nitrógeno es esperable debido a la presencia de bacterias nitrificantes en las fecas de lombriz también se puede presumir un error en los análisis debido a que se realizó sólo uno por muestra.

No hay bibliografía que avale, para todas las relaciones, el aumento del porcentaje de Carbono en esta etapa del proceso de vermicompostaje, por lo que se puede presumir un error en los análisis, ya que se realizó sólo un análisis por muestra o presencia de componentes en la muestra que aportan dichos elementos, los cuales no fueron discriminados.

El Anteproyecto de Norma Chilena sobre Compost-Clasificación y requisito (NCh2880.c2003), presenta requisitos fisicoquímicos sólo para compost, algunos de los cuales se pueden comparar con el vermicompost obtenido después de 70 días de aplicación de lombrices (**Tabla 19**).

Tabla 19: Comparación de resultados obtenidos por vermicompostaje con NCh2880.c2003.

Parámetro	Vermicompost 1 (1:1)	Vermicompost 2 (2:1)	Vermicompost 3 (3:1)	NCh2880.c2003
N total (%)	2,44	2,52	2,21	> o = a 0,8 en base seca ⁴ .
P total (%)	0,60	0,94	1,46	< o = a 0,1 en base seca ⁵ .
Humedad (%)	75,62	77,97	74,21	> o = a 25 ⁶ .
Relación C/N	19,6	20,25	24,2	Clase A: entre 10 y 25. Clase B: entre 25 y 40. Inmaduro: máximo 50
pH	6,56	6,69	6,58	Normal: entre 5,0 y 7,5.
Materia Orgánica, (%)	82,25	87,79	91,98	Clase A: > o = a 45. Clase B: > o = a 25.

De acuerdo a los resultados obtenidos para todas las relaciones se observa que el Nitrógeno y el porcentaje de humedad cumplen con lo exigido. Según la relación C/N y el porcentaje de Materia Orgánica, los productos obtenidos, pueden ser considerados como “Compost Clase A”. El pH se considera como normal.

El análisis que no está cumpliendo con la norma corresponde al Fósforo, el cual sobrepasa el 0,6 %. Esto podría explicarse por el alto contenido de éste elemento en los residuos de salmónidos (debido a que se observa un aumento progresivo de fósforo desde la relación 1:1 a la 3:1).

6.5 Objetivo 5: Escalamiento del proceso de vermicompostaje

Con respecto al escalamiento del proceso se recomienda utilizar la relación 2:1 salmónidos/aserrín, la que mostró mejores resultados durante todo el proceso de vermicompostaje, aportando datos importantes como son la no formación de líquido a extraer durante y al final del proceso, ausencia de material anaeróbico al extraer el compost y gran cantidad de individuos obtenidos al final de la experiencia de vermicompostaje. Estos datos reflejan que dicha relación se comporta mostrando los menores problemas de manejo y a su vez los mayores beneficios para el desarrollo y reproducción de las lombrices, siendo éstas, ventajas operativas al compararlas con las otras relaciones.

⁴ Si se requiere que el compost contribuya a la nutrición vegetal.

⁵ Para plantas sensibles al stress de fósforo.

⁶ Para todas las clases de compost.

La cantidad de desechos de salmónidos y de aserrín anual están calculadas en base al tamaño de la pila a construir (6000 litros).

Se propone escalar en una cancha de compostaje con pilas de 1 m de alto por 2 m de ancho y 3 m de largo. La altura está directamente relacionada con el aumento de la temperatura, como se observó en la experiencia piloto, al aumentar la altura de las pilas. Este tamaño de pila podrá ser manejado por una sola persona.

La cancha de compostaje está dividida en dos espacios pensados para la formación de dos pilas de compostaje (preparación del alimento para las lombrices) y otro para instalar dos pilas más en fecha de desove, temporada en la cual la mortalidad y tamaño de los peces aumentan.

La cancha de compostaje cuenta con un cierre perimetral para controlar el acceso a cualquier persona ajena a las tareas del lugar así como también el ingreso de vectores, lo cual evita riesgos de contaminación cruzada.

Se cuenta con una cancha de acopio de aserrín, el cual puede ser acumulado en sacos o desparramado en la superficie del suelo. A su vez, este mismo espacio permitirá el depósito/almacenamiento del compost producido en exceso.

La cantidad de lombrices necesarias para el proceso de vermicompostaje fue calculada de acuerdo a la cantidad anual estimada de material a tratar. No se consideró el porcentaje de reproducción de los individuos.

7 CONCLUSIONES

1. La preparación 2:1 peso/peso (salmónidos/aserrín) fue la relación que presentó características más favorables en cuanto al tratamiento de desechos de salmónidos, utilizando sistema de compostaje en pilas, siendo superior a las otras preparaciones principalmente por la ausencia de formación de líquidos a extraer durante el proceso y ausencia de material descompuesto anaeróbicamente al estado sólido y líquido en el fondo del contenedor al final del proceso.
2. *Eisenia foetida*, durante la prueba de alimento, no presentó problemas en la aceptación del sustrato suministrado de las relaciones 1:1 y 2:1. Por su parte, en la relación 3:1 fue necesaria otra estabilización para su aceptación.
Para *Eisenia foetida*, la relación 2:1 fue la que ofreció condiciones más favorables para su adaptabilidad y reproducción por presentar mayor número de individuos y huevos al realizar el conteo al final del proceso.
3. En cuanto al tiempo de maduración asociado al compostaje, en este estudio, se concluye que se ve influenciado por el tipo de materias primas utilizadas, su relación y el sistema de compostaje.
4. La tendencia en cuanto a la relación C/N indica un proceso favorable de estabilización en las tres preparaciones, considerando que éstas se mantuvieron por igual cantidad de tiempo. Fue la relación 2:1 salmónidos/aserrín la que presentó una mayor variación; esto indicaría mayor eficiencia en la utilización de las lombrices.
Por otro lado el Potasio y Magnesio son aportados mayoritariamente por el aserrín a diferencia del Calcio, Fósforo y $\text{PO}_4^{=}$, esto queda demostrado en estos últimos elementos, en el aumento de los valores correspondientes al aumentar también la proporción de desechos de salmónidos en las experiencias.
5. Se pueden obtener importantes datos sobre la relación más eficiente (2:1) en cuanto a la no formación de líquido a extraer durante y al final del proceso ni material

anaeróbico al finalizar el proceso; el aumento, por sobre las otras relaciones, del número de individuos obtenidos al final del proceso de vermicompostaje, donde manejando variables de temperatura, humedad y luminosidad podrían incrementar su población. Esta proporción (2:1) se puede escalar en una cancha de compostaje, en pilas de 1 metro de alto, 2 de ancho y 3 de largo y en el vermicompostaje utilizando lechos de 20 metros de largo, 1,2 de ancho y 0,40 de alto.

8 BIBLIOGRAFIA

1. Alvial M., Adolfo. 2003. Desarrollo y perspectivas de la Industria Salmonera. www.ugm.cl/puertovaras/ugmnews/noticias/dip_logistica/Adolfo_Alvia.pdf (26 de Mayo del 2004).
2. APHA. 1995. Standard Methods for the Examination of water and wastewater. Eds. Eaton A, L. Clesceri & A. Greenberg. American Public Health Association, Washington D.C..
3. APHA. 1998. Colilert an Colisure simultaneously detect total coliforms and E. coli. In Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 20th ed. (pag: 9-68). American Public Health Association, Washington D.C..
4. Arancon N. Q., Galvis P., Edwards, Yardin. 2004. Management of plant nematode populations by use of vermicomposts. *Pedología*, Vol 47, N° 5-6: 736-740.
5. Araya, Hugo. 2003. Salmonicultura en Aysén; proyecciones de nivel mundial. *Revista Salmonicultura. Compendio 2003*: 127-132.
6. Bollo, E.. 2003. Lombricultura, una alternativa de reciclaje. Primera Edición Digital. Ecuador. Neocodice.
7. Campos, M.. 2003. Compostaje de Desechos Pescado. Seminario de título para optar título de Químico Ambiental. Universidad de Chile. Santiago.
8. Chamy R., Poirrier P., Schiappacasse M.C., Alcalay D., Guerrero L. (1998). Effect of ammonia content in the biodegradability of the salmon industry wastes. Vol. 19, 1-5. *Bioprocess Engineering*.

9. Chamy R. y Szantó M. 1997. Tecnologías para el tratamiento de residuos sólidos. Universidad Católica de Valparaíso. Chile.
10. Gunadi B., Edwards C. A. and Arancon Q.. 2002. Changes in trophic structure of soil arthropods after the application of vermicomposts. *European Journal of Soil Biology* N° 381: 61-165.
11. Jackson, M.L..1964. Análisis químico de suelos. España, Ediciones Omega S.A., Primera Edición.
12. Laos F., Mazzarino M. J., Walter I. and Roselli L.. (1998). Composting of fish waste whit wood by-products and testing compost quality as a soil amendment: Experiences in the Patagonia region of Argentina. *Compost science and utilization mag.* Vol. 6, N° 1, 59-66.
13. Liao P.H., Vizcarra A.T., and Lo K.V..1994. Composting of salmon-farm mortalities. *Bioresource Technology.* N° 47: 67-71.
14. NCh2880.c2003. 2003. Instituto Nacional de Normalización. Proyecto de norma en consulta pública sobre Compost-Clasificación y requisito. Chile.
15. Subsecretaria de Pesca. 2003. Política Nacional de Acuicultura; documento de trabajo. Versión 3.0.
16. Salmonchile. 2005. Exportaciones de salmón y trucha suman US\$ 1226 Millones entre enero y noviembre. www.salmonchile.cl . (03 de Febrero del 2005).
17. Tejada M., Dobao M.M., Benitez C. y Gonzalez J.L.. 1998. Calidad del compost re residuos sólidos urbanos. *Residuos.* Sep.-Oct.. Año VIII (N° 44): pp. 31-36.

18. Vizcarra A. T., Liao P.H., Chen A. and Lo K.V.. 1993. Two-Stage composting of fish mortalities. *Biomass and Bioenergy*. Vol. 5 (N° 5): pp. 379-385.

9 ANEXOS

9.1 Anexo I: Esquema de proceso de compostaje.

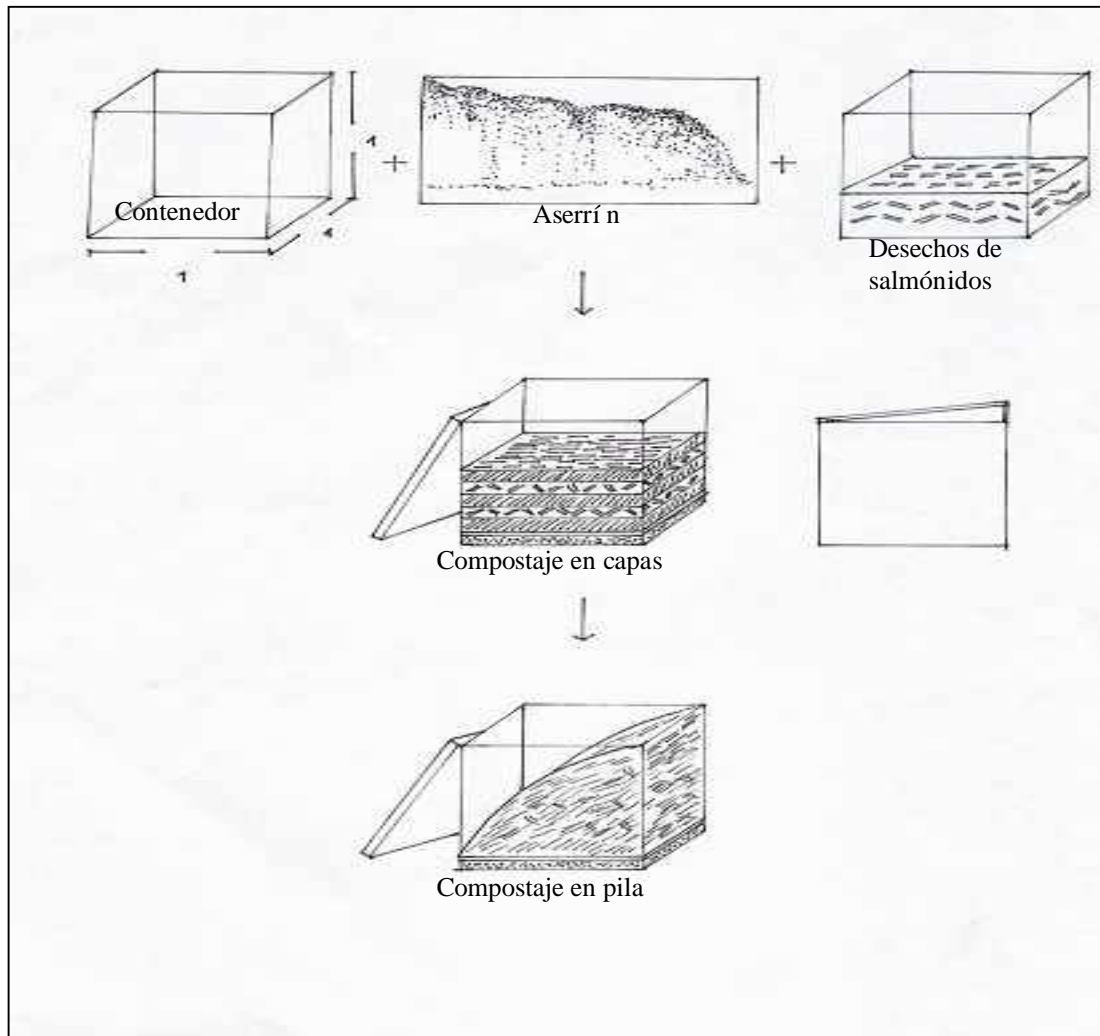


Figura 11: Esquema proceso de compostaje

9.2 Anexo II: metodologías de análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

9.2.1 Análisis fisicoquímicos

Se determinó COT mediante oxidación crómica, NT mediante Kjeldahl, pH por pHímetro QUIMIS Q-400M2, Fósforo Total por el método fósfomolibdato y Grasas según método gravimétrico, de acuerdo a las metodologías planteadas por Jackson (1964) para el análisis químico de suelos.

Los análisis de Calcio y Magnesio se determinaron mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica (EAA) y el Potasio por emisión. Estos análisis fueron realizados por el Laboratorio de Química Ambiental de la Universidad de Valparaíso.

9.2.2 Análisis microbiológicos

La presencia o ausencia de Coliformes Totales (CT) se determinó mediante método *Colilert-18* (APHA, 1995).

La presencia o ausencia de Coliformes Fecales se determinó mediante la técnica de Número Más Probable (APHA, 1995)