UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARÍA
Departamento de Ingeniería Civil Mecánica
Valparaíso – Chile

"APLICACIÓN DEL COMPOSTAJE EN EL DISEÑO DE UN SISTEMA DE SANEAMIENTO DE RESIDUOS ORGANICOS, Y SU COMPARACION CON OTROS"

GONZALO VÁSQUEZ EULER

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

PROFESOR GUÍA: DIPL. ING. UDO RHEINSCHMIDT

PROFESOR CO-REFERENTE: ING. PABLO SCHELE E.

NOVIEMBRE - 2018

Agradecimientos

Primero quiero agradecer a todos los científicos y/o investigadores que entregan su conocimiento de forma gratuita. El conocimiento es una base para avanzar como sociedad y este debe ser de libre acceso para todos.

A mi familia que siempre a sido mi apoyo incodicional. Mis padres, Alberto y Karin que nunca dejaron de entregarme amor y apoyo incondicional en todos instante.

A mi madrina que fue una maestra muy importante en el ámbito personal y me guio en momentos que me encontraba perdido.

Al tio Carlos y a la tia Marichen que siempre me demostraron su cariño.

A mi primo John que durante estos últimos años se preocupo que no me faltara nada y me dio tanto sin esperar nada a cambio.

En general a toda mi familia, que sin ellos no seria la persona que soy hoy.

A los cabros del equipo de Rugby con los que me hice compañía durante gran parte de mi estancia en la universidad e hicieron que mi estadia en la universidad fuera una experiencia inolvidable.

A los buenos muchachos, con los que he recorrido este lindo camino desde principio a fin.

Al Pablo y al profesor Udo, que nunca me cortaron las alas y me dieron su apoyo en todo momento para llevar a cabo esta tesis.

Resumen

Actualmente el 3,17% de la población en Chile no cuenta con una conexión al alcantarillado, y por ende carece de sistemas de los sistemas de saneamiento tradicionales; lagunas aireadas, lodos activadas, biofiltros, etc… Para este segmento de la población existen otros métodos, tales como fosas sépticas y baños secos.

Los sistemas de tratamiento con baños secos difieren al resto por dos hechos, el primero es que no utilizan agua para su funcionamiento y el segundo es que las heces que se acumulan en los baños secos deben ser tratadas con sistemas de saneamiento.

La Fundación ECOSAN se enfoca en la instalación de baños integrales sustentables (BIS), que utilizan la tecnología de baños secos, en lugares de catástrofe o campamentos, que por lo general no tienen acceso al sistema de alcantarillado. El sistema de saneamiento que actualmente utilizan es el almacenamiento, pero presenta problemas que se detallan en los capitulo 2 y 5.

Los sistemas de saneamiento más utilizados actualmente para este tipo de baños son la deshidratación, incineración y el compostaje. Este último se estudió en profundidad para diseñar un proceso, en el cual se pueda realizar un saneamiento a las heces acumuladas en los baños secos.

Además, se confeccionó un cuadro comparativo entre los 3 sistemas mencionados y un análisis FODA para cada uno de ellos. Una de las principales ventajas que se destacan en el uso del compostaje, es la capacidad de eliminar residuos orgánicos de todo tipo y no únicamente los generados en baños secos.

Se utilizaron las 4 fases del diseño, perfil, conceptual, básico y detalle. Además de solucionar el problema principal, se enfatizó en la capacidad que tiene el compostaje para eliminar residuos orgánicos que comúnmente son desechados en la basura, lo que sirve como inducción a la población para aprender a reciclar.

Se adquirieron dispositivos (Ibuttons) capaces de medir temperatura y humedad, con estas mediciones se espera que en un futuro se pueda realizar un análisis al proceso de compostaje realizado y concluir de manera más exacta si el sistema funciona. Además, en el capítulo 6 se proponen otros desafíos a futuro para realizar.

Abstract

Currently, 3.17% of the population in Chile does not have a connection with the sewerage system, and therefore, conection to traditional sanitation systems; air lagoons, activated sludge, biofilters, etc ... For this partt of the population there are other methods, such like septic tanks and UDDT (Urine-diverting dry toilet)

The treatment systems with UDDT's differ from other by two facts, the first is that water is not used for its operation and the second is that the stools accumulate in the bathrooms must be treated with sanitation systems.

The ECOSAN foundation focuses on the installation of sustainable integral baths (BIS), which uses UDDT's technology, in catastrophe sites or camps that usually do not have access to the sewer system. The sanitation system that is currently used is storage, but it presents problems detailed in chapter 2 and 5.

The most common sanitation systems used in UDDT's are dehydration, incineration and composting. This last is studied in-depth to design a process, in which a sanitation can be performed at the hours accumulated in the UDDT's.

In addition, a comparative table is made up between the 3 systems and a SWOT analysis for each of them. One of the main advantages that can be obtained in the use of composting is the ability to eliminate organic waste of all types and not only those generated in UDDT's.

The 4 phases of the design are used, profile, conceptual, basic and detail. Despite on focusing in the main problem, it emphasizes the ability of composting to eliminate organic waste that commonly are discarded in the trash, which serves as an induction to the population to learn recycle.

Measuring devices had been adquired (Ibuttons), capables of measuring humidty and temeprature. With the obtained data its expected to perfmorm an analysis and verify if the system work. In addition, chapter 6 proposes other future challenges to be carried out.

Glosario

Afluente: Cuerpo de donde proviene el curso de agua o liquido.

Agentes Patogenos: Cuerpos, bacterias, virus u otros que pueden provocar enfermedades en su huésped.

Arbor Loo: Tipo de Baño Seco en el cual el tratamiento consta de realizar un hoyo para que caigan las heces, una vez que este hoyo esta lleno se tapa y generalmente se planta un árbol encima.

Efluente: Cuerpo hacia donde se expulsan las aguas de un cause o contenedor.

Descomposición: Proceso biológico natural en el cual un cuerpo se transforma y degrada en formas mas simples de materia.

Huevos de áscaris: Huevos de crias de la lombriz intestilan Ascaris Lumbricoide. A diferencia de las lobrizes que ya han eclosionado, los huevos tienen la capacidad de sobrevivir a un ambiente externo al instestino del ser humano.

Humanure: Materia organica deshidratada producida en un baño seco, es decir las fecas mas materia de aporte como acerrin, cenizas y/o cal.

Mesofilo: Proceso que ocurre a bajas temperatuas.

Nitrificacion: Oxidacion biológica del amonio para producir nitrito

Lombrifiltro: Sistema conformado por distintos estratos filtrantes inertes y orgánicos. En el estrato superior se tiene una alta densidad de lombrices y microorganismos encargados de efectuar la degradación de la materia orgánica presente en las Aguas Servidas Domésticas y Riles.

Pilas de compost: conjunto de residuos que son tratados mediante el compostaje, refiriéndose a la aglomeración de estos.

PTAS: Plantas de tratamiento de aguas servidas

Residuos organicos: Conjunto de materia organica que debe ser desechada, puede ser tanto alimentos como heces u otros.

RSD: Residuos solidos domiciliarios.

Saneamiento: acción y efecto de sanear. / Conjunto de técnicas y elementos destinados a fomentar las condiciones higiénicas en un edificio, de una comunidad, etc.

TAS: tratamiento de aguas servidas.

Termofilico: Proceso que se lleva a cabo a altas temperaturas.

Virus: Microorganismo compuesto únicamente de material genético y un envoltorio proteico, capas de causar diversas enfermedades al introducirse en una celula como parasito y aprovecharse de ella.

ÍNDICE

Agradecimientos 1
Resumen 2
Abstract 3
Glosario 4
ÍNDICE 6
Índice de ilustraciones 9
Índice de tablas 11
1. Introducción 12
2. Objetivos 14
2.1. Contexto 14
2.2. Objetivo General 15
2.3. Objetivos Específicos 15
3. Capítulo 1: Sistemas de tratamientos de heces en Chile 16
3.1. Con conexión al sistema de alcantarillado 16
3.1.1. Cultivo Suspendido (lodos activados) 17
3.1.2. Cultivo fijo 18
3.1.3. Lagunas Aireadas 20
3.1.4. Procesos Anaeróbicos 21
3.1.5. Emisario Submarino 22
3.1.6. Lombrifiltro 23
3.2. Sin conexión al sistema de alcantarillado 26
3.2.1. Fosa Séptica 26
3.2.2. Baños secos 29
4. Capítulo 2: Problemática 38
4.1. Enfermedades comunes en Chile relacionadas con el manejo de heces 38
4.1.1. Helmintiasis Intestinal 38
4.1.2. Hepatitis A-E 39
4.1.3. Difteria 40
4.1.4. Fiebre tifoidea 40
4.1.5. Cólera 41
4.2. Tratamiento de heces en baños secos 42
4.3. Basura Orgánica y reciclaje en Chile 44
4.4. Contexto Operacional 47

4.4.1. Producción de heces 48
4.4.2. Contexto climático 49
5. Capítulo 3: Compostaje 52
5.1. Compostaje Termófilo (aeróbico) 53
5.2. Compostaje mesofílico (anaeróbico) 57
5.3. Microorganismos presentes en el compostaje 61
5.3.1. Bacterias 65
5.3.2. Hongos 66
5.3.3. Otros Microorganismos 69
5.4. Los 4 pilares del compostaje 69
5.4.1. Relación Carbono/Nitrógeno 70
5.4.2. Oxigeno 72
5.4.3. Humedad 73
5.4.4. Temperatura 75
5.5. Técnicas de compostaje 76
5.5.1. Sistemas abiertos o en Pilas 76
Sistemas cerrados o en recipientes 78
6. Capítulo 4: Otros sistemas de saneamiento y comparación entre ellos 80
6.1. Deshidratación y almacenamiento 80
6.2. Incineración 86
6.3. Comparación 88
6.3.1. Cuadro Comparativo 88
6.3.2. Análisis FODA 90
7. Capítulo 5: Diseño y propuesta 94
7.1. Perfil (Problema) 94
7.2. Conceptual 95
7.3. Básico 96
7.4. Detalle 98
7.5. Costos de construcción 101
8. Capítulo 6: Desafíos a futuro 102
8.1. Mejorar la interfaz para el usuario 102
8.2. Hacer un análisis de los datos obtenidos en el monitoreo 103
8.3. Análisis de la composición del compost 104
9. Conclusiones 105

10. Referencias 107
11. Anexos 110

Índice de ilustraciones

Ilustración 1 División de PTAS en Chile según la tecnología que utiliza (SISS, 2018) 17
Ilustración 2 Lo que adviene de los contaminantes tras el tratamiento biológico (Carpentier, 2014) 18
Ilustración 3Esquema sistema contactor biológico rotatorio (Biodiscos) (Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo, 2018) 19
Ilustración 4 Esquema del funcionamiento en las lagunas aireadas. 21
Ilustración 5 Esquema de funcionamiento de un emisario submarino 23
Ilustración 6 Esquema de lombrifiltro (Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo, 2018) 24
Ilustración 7 Lombrifiltro construido y en operación (Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo, 2018) 25
Ilustración 8 Esquema de funcionamiento de una fosa séptica (Maydisa Materiales y Diseños S.A) 27
Ilustración 9 Esquema de un sistema con fosa séptica (Desatascos Cuatro, 2015). 28
Ilustración 10 Esquema de funcionamiento de baños secos BIS (Pizarro Sánchez, 2012) .. 30
Ilustración 11 Grafico de la composición de los RSD (Sepulveda Quiroz, 2011) 46
Ilustración 12 Ecuación oxido-reducción que ocurre en un compostaje termofílico. 56
Ilustración 13 Reacción química en el proceso metabólico de organismos mesófilos. 58
Ilustración 14 Reacción química que ocurre en el proceso metabólico de anoxicos 58
Ilustración 15 Grafico Temperatura Vs tiempo, inactivación de patógenos (Marta Alfaro V) 60
Ilustración 16 División del proceso de compostaje en 4 fases (Porras Hidalgo, 2011) 62
Ilustración 17 Cambio de la población microbiológica durante el compostaje, medido en log del número de microorganismos por gramo de peso seco (Porras Hidalgo, 2011) 64
Ilustración 18 Grafico del diámetro de colonia vs temperatura de distintos hongos (Kane & Mullins, 1974). 68
Ilustración 19 Sistema de aireación forzada 77
Ilustración 20 Volteamiento mecánico de la pila mediante una pala frontal. (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013) 77
Ilustración 21 Técnicas de volteo y distribución de pilas (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013) 78
Ilustración 22 Recipientes para utilizar el sistema de compostaje cerrado, de izquierda a derecha está el de malla metálica, pared de madera, paredes de ladrillo y bidón 79
Ilustración 23 Grafico de la variación del coeficiente de radiación vs temperatura 83
Ilustración 24 Grafico de variación de la velocidad de secado coeficiente U vs Velocidad de secado. 83
Ilustración 25 Grafico de variación de la velocidad de secado con respecto a la diferencia de temperatura 84
Ilustración 26 Comportamiento de temperatura, humedad, pH, conteo de E.coli y Enterococcus spp en un baño con adición de aserrín (Osorio Reyes, 2014). 86
Ilustración 27 Ciclo de funcionamiento de INCINOLET, baño de incineración con fuente eléctrica 87
Ilustración 28 Tambor de almacenaje ocupado actuantemiente en BIS 95
Ilustración 29 Malla hexagonal utilizada en la construcción. 99
Ilustración 30 Ibuttons. 100

Ilustración 31 Seguimiento de la temperatura en 3 tipos de compostaje..... 103
Ilustración 32 Modulo inferior 121
Ilustración 33 Módulos laterales y puerta..... 121
Ilustración 34 Modulo superior 121
Ilustración 35 Ensamblaje final. 122

Índice de tablas

Tabla 1 Punto de muerte térmica de algunos patógenos y parásitos comunes. Confección propia con datos de “Aproppiate technology for wáter supply and sanitation” (Hillel I, Charles G, & DeAnne S, 1981) y “Survival Time and Critical Temperatures of Various Strains of Entamoeba histolyca” (Cabrera & Porter, 1958) 43
Tabla 2 Guía para la verificación y monitoreo en tratamientos colectivos y uso de heces en la agricultura 44
Tabla 3 Numero de rellenos sanitarios y vertederos según región (INE, 2017). 45
Tabla 4 Composición porcentual de RSD en la región metropolitana en 4 estudios (Sepulveda Quiroz, 2011) 45
Tabla 5 Valores promedios de heces generadas (Christian Rieck, 2011) 48
Tabla 6 Precipitaciones 2015 enero-junio. Confección propia con datos del INE (INE, 2016) 49
Tabla 7 Precipitaciones 2015 julio-diciembre. Confección propia con datos del INE (INE, 2016) 49
Tabla 8 Precipitaciones 2016 enero-junio. Confección propia con datos del INE (INE, 2017) 49
Tabla 9 Precipitaciones 2016 julio-diciembre. Confección propia con datos del INE (INE, 2017) 49
Tabla 10 Temperatura media mensual 2015 enero-junio. Confección propia con datos del INE (INE, 2016) y meteored (Meteored, s.f.). 50
Tabla 11 Temperatura media mensual 2015 julio-diciembre. Confección propia con datos del INE (INE, 2016) y meteored (Meteored, s.f.). 50
Tabla 12 Temperatura media mensual 2016 enero-junio. Confección propia con datos del INE (INE, 2017) y meteored (Meteored, s.f.). 50
Tabla 13 Temperatura media mensual 2016 julio-diciembre. Confección propia con datos del INE (INE, 2017) y meteored (Meteored, s.f.). 50
Tabla 14 Datos humedad relativa 2017. Confección propia con datos de meteored. 51
Tabla 15 Datos de humedad relativa 2017. Confección propia con datos de meteored. 51
Tabla 16 Reacciones químicas que ocurren en procesos anaerobios. Confeccíon propia con datos de "The practical handbook of composting engieneering" (T. Haug, 1993) 59
Tabla 17 Clasificación de bacterias. Confección propia con datos de "The practical handbook of composting engineering" (T. Haug, 1993) 65
Tabla 18 Proporción Carbono/Nitrógeno. Confección propia con datos de "The Humanure Handbook" (Jenkins J. , 1999) 71
Tabla 19 Control de la aireación. 72
Tabla 20 Parámetros de humedad óptimos. 74
Tabla 21 Parámetros de temperaturas óptimos. 75
Tabla 22 Cuadro Comparativo entre los sistemas de saneamiento. 89
Tabla 23 Calculo de cantidad de heces y basura orgánica producida. 98
Tabla 24 Costos de construcción 101

1. Introducción

La necesidad de crear métodos para la disposición de las heces generadas por las personas, han estado presentes en la humanidad desde que las sociedades dejaron de ser nómades y se instalaron en lugares fijos. Desde las chinampas utilizadas por culturas mesoamericanas, acueductos utilizados por los romanos, hasta tratamientos de aguas residuales que existen el día de hoy.

A pesar del desarrollo en la tecnología de tratamiento de aguas servidas que existe hoy en día, no sé a logrado que la totalidad de la población esté conectada a un sistema integrado de tratamiento de aguas. Es por esto que nos hemos visto en la obligación de recurrir a métodos no convencionales, los cuales ya han sido ocupados anteriormente por la humanidad.

Entre estos métodos, se encuentran los baños secos, que tienen la cualidad de no necesitar agua para su funcionamiento diario, salvo que sea necesario limpiarlo. Funcionan de manera que las heces y la orina se excretan en recipientes distintos y son tratados cada uno por separado.

El tratamiento de la orina es bastante simple (ver capítulo 1), generalmente consta únicamente de un tratamiento primario en donde la orina es filtrada al suelo, esto no genera problemas ya que la orina generalmente es estéril. Distinto es el caso de las heces las cuales, son portadoras de enfermedades, por lo que necesitan tratamientos más complejos que la orina. Estos tratamientos se dividen en dos, el primario y el secundario, el primario es aquel que ocurre generalmente abajo del inodoro, en donde se elimina un alto porcentaje de humedad debido al calor y al material secante que se agrega luego de cada excreta. El tratamiento secundario por su parte tiene mayor complejidad, cumple con la tarea de eliminar patógenos presentes en las heces, para que posteriormente puedan ser dispuestas en la naturaleza.

Existen varios tratamientos disponibles para realizar un tratamiento secundario, la incineración, deshidratación, almacenamiento, compostaje, entre otros... Estos tienen la característica de alcanzar altas temperaturas, necesarias para la eliminación de los agentes patógenos presentes en heces.

La empresa de Ingeniería en Innovaciones Sanitarias (InnSania S.P.A) desarrollo la unidad sanitaria llamada Baño Integral Sostenible (BIS). Las unidades BIS son baños secos con un sanitario, un lavamanos, una ducha y un calentador de agua solar.

Actualmente el tratamiento secundario que se les realiza a las heces en BIS, es el almacenamiento. Básicamente se depositan las heces en un tambor de 200 litros en donde se busca reducir la humedad y esperar la muerte de los agentes patógenos debido a las faltas de condiciones para subsistir. Sin embargo, este método de tratamiento secundario cuenta

con importantes falencias, una deshidratación desigual y no alcanzar las altas temperaturas necesarias para la eliminación de patógenos, son importantes variables y que tienen la mayor influencia en la obtención de una correcta sanitización.

En este trabajo se busca diseñar un sistema de saneamiento mediante el compostaje. Se selecciona este método para realizar una comparación con la técnica de deshidratación e incineración.

El Compostaje es un proceso natural que ocurre debido a la actividad de microorganismos presentes en el ciclo de descomposición de la materia orgánica. Este ha existido en la naturaleza desde hace miles de años y ha sido utilizado por el hombre de manera industrial desde hace unos 200 años. La finalidad del compostaje es aumentar la fertilidad del suelo que es usado para la agricultura, sin embargo, soluciona otro problema, la disposición de lodos residuales. Actualmente existen más de 200 plantas de compostaje para el tratamiento de lodos activados en Europa y más de 50 en Estados Unidos. Sin embargo, en Chile este sistema no se ha aplicado todavía para el manejo de lodos residuales.

En paralelo otro alumno (Cristian Zúñiga) realizará un trabajo de tesis denominado *"Diseño de un sistema prototipo para optimizar tratamiento de heces humanas en sistemas de saneamiento seco fabricados por la fundación ECOSAN ubicados en una vivienda familiar"* en la cual diseñara un sistema de saneamiento mediante la deshidratación. La finalidad de realizar estas tesis en paralelo es realizar una comparación profunda entre ambos sistemas con respecto a la efectividad en el saneamiento de las heces.

2. Objetivos

2.1. Contexto

El término **alcantarillado** proviene de la palabra hispanoárabe al–qantara y se refiere a una red de saneamiento, red de drenaje o red de tuberías, usado para el transporte de aguas residuales, pluviales o industriales desde el lugar que se generan hasta el que se depositan para ser tratadas y/o enviadas al medio natural.

El sistema de alcantarillado más antiguo del que se tiene referencia data del año 3750 AC construido en NIPPUR (Irak), posteriormente se hizo más común este sistema en la Antigua Grecia, hacia el año 1700 AC. En las civilizaciones modernas, este sistema empieza a ser instalado a principios del siglo XIX en algunas ciudades de Europa en las que ya no solo se usaban para recolectar aguas lluvias, sino que también aguas de uso humano.

En Chile, junto con la creación de la ciudad de Santiago en 1541 y del trazado de sus calles, debió incorporarse la creación de canales de riego y acequias de desagüe que capturaban fundamentalmente aguas lluvias, aunque no exclusivamente. Tarea encomendada al alarife Don Pêdro De Gamboa, razón por la que se considera el primer ingeniero Sanitario de Chile.

Las primeras cañerías surtidoras de agua potable tienen registro en Valparaíso (1850), Concepción (1860), la construcción de estanques en Santiago (1860), En Iquique (1888) y la primera etapa del servicio de alcantarillado de Santiago en 1894 (SISS, 2018).

En la actualidad Chile, presenta un porcentaje de conexión al Sistema de Alcantarillados de casi el total de la población que habita el territorio. Según cifras oficiales solo un 3,17% de la población carece de este servicio, porcentaje que podría parecer bajo, sin embargo, al tratarse de un tipo de servicio asociado a los derechos humanos básicos de cualquier población, dado su impacto en la calidad de vida y salud de la población, hace necesario salir de la contabilización porcentual y hacer conciencia que este guarismo equivale a un monto superior a 550.000 personas que habitan nuestro territorio y que carecen de una conexión necesaria para asegurar un servicio con condiciones técnicas que aporten soluciones higiénicas básicas.

Junto a lo anterior está la urgencia planetaria de reducir la emisión de todo tipo de contaminantes que en el caso de la realidad domiciliaria está compuesta en más de un 50% de material orgánico que puede ser tratado para transformarlo en compost que a su vez es un insumo del proceso incorporado en algunas de las soluciones sanitarias que se evalúan en este documento.

2.2. Objetivo General

- Diseño de una alternativa de solución para el tratamiento de heces generadas, en la utilización de un baño seco, considerando distintos factores que influyen en la utilización y funcionamiento de un prototipo.

2.3. Objetivos Específicos

- Analizar la situación actual del tratamiento de heces
- Estudiar en profundidad el compostaje como sistema de tratamiento de desechos.
- Comparar el compostaje con otros sistemas de tratamiento de heces.
- Identificar el contexto operacional en el cual será probado el prototipo de baño seco.
- Presentar el diseño de prototipo de baño seco que utilice el compostaje como sistema de tratamiento de heces.
- Determinar los factores técnicos que influyen en el diseño del prototipo.

3. Capítulo 1: Sistemas de tratamientos de heces en Chile

El 28 de Julio de 2010 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció explícitamente el derecho al agua y al saneamiento como esenciales para la realización de una vida digna y de todos los derechos humanos.

Chile siendo un país en vías de desarrollo ha debido invertir recursos en el tratamiento de aguas servidas, adquiriendo nuevas tecnologías y creando normas para tener una línea de referencia. En Chile existen distintas normas, decretos y leyes que respectan a la calidad del agua y sus usos. Dentro de las que competen para este capítulo son; el DS N°90 de 2000 que establece las normas para la descarga a aguas marinas y continentales superficiales, Decreto N°4, Titulo III 28.10.09 que establece el reglamento para el manejo de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas servidas, NCh 409/1 Of.2005 que define los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radiactivos, organolépticos y de desinfección que debe cumplir el agua potable. Los decretos y normas mencionados se adjuntan en anexos (I, II, III).

Sin embargo, a pesar de todas las iniciativas que ha tenido el Estado para proveer a todo Chile con un sistema de alcantarillado, no sé ha logrado la totalidad, es así como, en diciembre de 2016 la cobertura de alcantarillado fue de un 96,83% al total de la población en Chile (SISS, 2016). Lo anterior significa que existe un 3,17% de la población que equivale a algo más de 550.000 personas, que no tienen acceso a servicios sanitarios.

La mayoría de este grupo poblacional forma parte de campamentos o sectores rurales, que carecen de recursos económicos para implementar soluciones tecnológicamente tradicionales por lo que deben implementar respuestas alternativas acordes a su disponibilidad de recursos.

A continuación, se presentan los métodos más comunes para el tratamiento de heces en Chile, tanto en los casos con conexión al sistema de alcantarillado como los sin conexión.

3.1. Con conexión al sistema de alcantarillado

En general las aguas que entran a las plantas de tratamiento se encuentran contaminadas en su mayoría con coliformes fecales, amonios y sulfuros/sulfatos, si bien existen otros elementos contaminantes como el cloro, magnesio y metales pesados en general, que son desechados por la industria, la gran mayoría de las plantas de tratamiento se enfocan en las aguas que provienen del uso doméstico.

Las tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas servidas son principalmente de lodos activados y lagunas aireadas, que en conjunto corresponden casi a un 80% de las plantas de tratamiento existentes en Chile que alcanzan a un total de 260. Estos dos tipos de tecnología, lodos y lagunas son las que entregan un afluente final con mayor estado de pureza, sin embargo, son también los que tienen mayores costos de inversión y costos fijos. Los tipos de tratamiento se pueden clasificar como convencionales, no convencionales y emisarios submarinos (SISS, 2018).

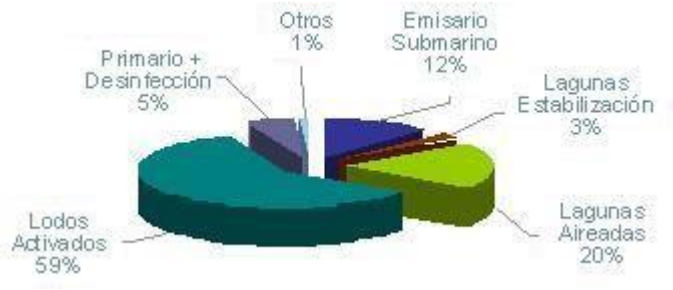


Ilustración 1 División de PTAS en Chile según la tecnología que utiliza (SISS, 2018).

3.1.1. Cultivo Suspendido (lodos activados)

El sistema de lodos activados empieza en un tanque de aireación que es equipado de aireadores que cumplen la función de suministrar el oxígeno a las bacterias que colonizan la biomasa. Los 2 procesos más utilizados para suministrar el aire son por una parte los aireadores de superficie y por otra parte los difusores de aire dispuestos sobre el fondo del tanque.

La aireación de las aguas residuales que residen en el tanque de aireación genera la formación de flóculos, debido a que las bacterias poseen la propiedad de tener una membrana de naturaleza polisacarida con propiedades adhesivas lo que permite que se aglomeren entre ellas. Para acelerar la formación de estos flóculos, que constituyen la biomasa, la puesta en marcha de una estación de depuración puede ser acelerada por el aporte de lodos de una otra instalación.

El buen funcionamiento de la etapa aireación consiste en un equilibrio entre 3 elementos:

1. La cantidad de materia orgánica que constituyen la contaminación.
2. La cantidad de bacterias que son la base de la biomasa.
3. La cantidad de oxígeno necesaria para las bacterias con el fin de asimilar las materias orgánicas.

Posteriormente ocurre la etapa de decantación, que consiste en la separación de flóculos y que por acción de la fuerza de gravedad se separan del líquido. De este modo los flóculos con mayor densidad que el agua, alcanzan una velocidad que les permite llegar al fondo de

la unidad de decantación en un tiempo adecuado, para posteriormente ser extraídos de la unidad mediante bombas.

La recuperación del agua depurada en la superficie es un punto importante que requiere una pantalla delante del vertedero y un barredor de superficie para eliminar las partículas flotantes.

La ilustración 2 muestra el esquema del tratamiento biológico para los contaminantes. Las aguas residuales, despejadas de la mayoría de los compuestos carbonosos, nitrógenos y fosforados, pueden ser vertidas en la red hidráulica natural sin afectar el medio ambiente. Los compuestos carbonosos, nitrogenados y fosforados, eliminados de la fase liquida, son eliminados o en la fase solida (lodos en exceso) o en la fase gaseosa (CO_2,N_2) (Carpentier, 2014).

Ilustración 2 Lo que adviene de los contaminantes tras el tratamiento biológico (Carpentier, 2014).

3.1.2. Cultivo fijo

Estos son procesos utilizados normalmente, para eliminar materia orgánica que se encuentra en el agua residual y son empleados para llevar a cabo el proceso de nitrificación. Se destacan en los sistemas de cultivo fijo principalmente los filtros percoladores y los biodiscos.

- **Filtros Percoladores**

Filtros percoladores: consiste en un lecho formado por un medio sumamente permeable al que se adhieren los microorganismos y a través del cual percola el agua residual fenómeno del que recibe el nombre del proceso. El medio filtrante suele estar formado por piedras o diferentes materiales plásticos de relleno. El diámetro de estas oscila entre 2,5-10 [cm].

- **Biodiscos**

Es un sistema de tratamiento secundario de aguas residuales de tipo rotatorio. Este movimiento promueve la transferencia de oxigeno entre la atmosfera y la flora bacteriana desarrollada sobre el lecho del disco rotatorio. Destaca por su simplicidad de operación, bajo consumo de energía, no requiere un control de oxígeno disuelto, bajo niveles de ruido, espumas y olores.

En la ilustración 3 se muestra un esquema que considera las siguientes etapas;

- Afluente: Cuerpo o lugar de donde proviene las aguas a tratar.
- Sedimentación Primaria
- Contactores Rotatorios
- Sedimentación Secundaria.
- Desinfección
- Efluente tratado
- Sobrenadante
- Procesamiento de lodos
- Digestión de lodos
- Deshidratación de Lodos
- Retorno de Líquidos
- Disposición de Lodos deshidratados.

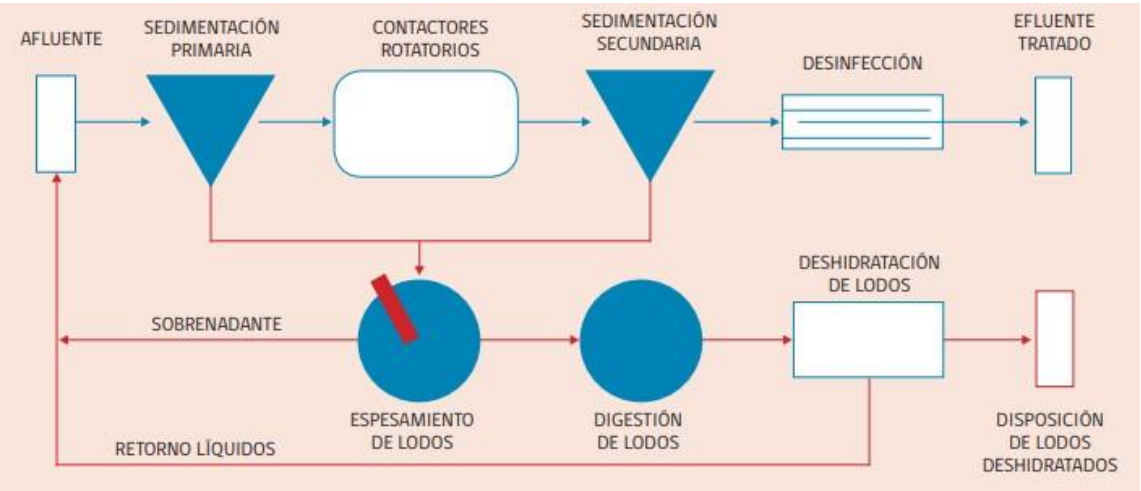


Ilustración 3Esquema sistema contactor biológico rotatorio (Biodiscos) (Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo, 2018).

3.1.3. Lagunas Aireadas

Las lagunas aireadas son un proceso muy similar con el de lodos activados, en el cual la presencia de oxigeno genera un habitad ideal. En el que los sólidos residuales decantan y son extraídos a través de un sedimentador.

Los sistemas de tratamiento biológico de efluentes basados en lagunas aireadas, con o sin el auxilio de tecnología sofisticada, constituyen una de las alternativas más comunes en el abordaje de proyectos ambientales, tanto en el sector municipal como en el industrial.

Se puede realizar una clasificación o caracterización de la siguiente forma:

- Lagunas aeróbicas: son piletas o cuerpos de agua usualmente artificiales, con profundidades típicamente entre 30 y 60 [cm]. El oxígeno necesario para permitir el desarrollo de biomasa es suministrado por algas (fotosíntesis en el periodo diurno) y aireación natural. Debido al diseño intencional de muy poca profundidad el objetivo es que haya actividad fotosintética y biológica en toda la columna de agua. Es frecuente el empleo de recirculación tanto para mezcla como distribución/homogeneización de oxígeno disuelto. Los tiempos de estadía son relativamente cortos, del orden de cinco días. Es común el empleo de varios cuerpos de agua o lagunas en conjunto. El gran problema de las lagunas aeróbicas, entre otras cosas es la gran cantidad de algas que deben retirarse a posteriori, e.g. mediante filtración. El hecho adicional de que deba asignarse cantidades significativas de área o superficie dedicada hace que no siempre su diseño o implementación sea recomendada.
- Lagunas Facultativas: también denominadas lagunas o piletas de oxidación o estabilización, son probablemente la alternativa más común, al menos históricamente. La profundidad de este tipo de lagunas es usualmente entre 1.5 [m] y 2.5 [m] los tiempos de detención asociados típicamente entre casi un mes e incluso hasta poco más de seis. Las lagunas facultativas presentan tres zonas bien diferenciadas: una capa superior netamente aeróbica, una capa inferior intencionalmente anaeróbica y una capa intermedia con características híbridas, i.e. microorganismos facultativos.

En la ilustración 4 se puede observar un esquema de funcionamiento de lagunas aireadas que incluye; inlet (entrada) , scum (espuma), Outlet (salida), Sedimentation zone (zona de sedimentación), sludge (lodos residuales), stracted ludge (Lodo extraido).

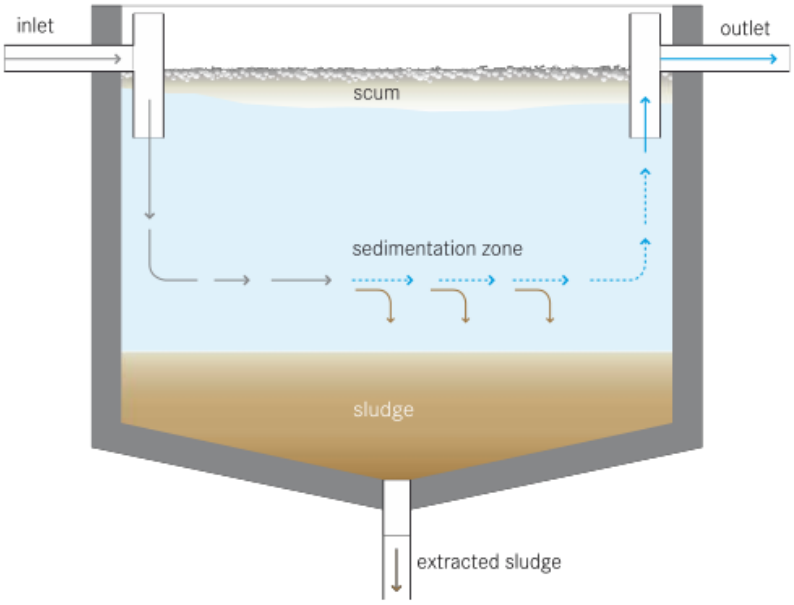


Ilustración 4 Esquema del funcionamiento en las lagunas aireadas.

3.1.4. Procesos Anaeróbicos

- **Proceso anaeróbico de contacto**

El filtro anaeróbico es una columna rellena de diversos tipos de medios solidos que se utiliza para el tratamiento de la materia orgánica carbonosa contenida en el agua residual. El agua por tratar fluye en sentido ascendente, entrando en contacto con el medio sobre el que se desarrolla y fijan las bacterias anaeróbicas.

Se logra obtener tiempos de retención del cultivo del orden de cien días, se obtiene alta remoción de carga orgánica y baja retención hidráulica.

- **Proceso de lecho expandido**

En este proceso el agua residual a tratar se bombea a través de un lecho de carbón, arena o grava expandido donde se ha desarrollado un cultivo biológico, el afluente es recirculado para diluirlo y con el fin de mantener un caudal que mantenga el lecho expandido.

Características:

- Empleo de concentraciones de biomasa entre 15000 a 40000 [mg/l].
- Alta eficiencia: tiempos de retención hidráulica pequeños.
- Producción de metano recuperable.

3.1.5. Emisario Submarino

Un emisario submarino, es un sistema de desecho para las aguas negras y aguas grises domésticos y otros residuos que terminan en el alcantarillado, vertiendo estos en el mar a una distancia prudente de la costa. El principal objetivo de los emisarios submarinos es minimizar el impacto que puede tener el vertido de aguas residuales al mar o lo que es lo mismo, garantizar una buena dilución de manera que la mezcla de aguas residuales y agua de mar no altere de forma alguna el aspecto natural y sea inocua para el ecosistema marino, para el litoral y para la salud de los seres humanos.

Los parámetros importantes en el diseño e instalación de los emisarios submarinos son la disolución primaria y secundaria.

La disolución primaria, es la obtenida cuando el flujo inyectado en la profundidad marina va ascendiendo hasta la superficie debido a las diferencias de densidad. Para lograr una buena dilución primaria hay que tener en cuenta los siguientes factores:

- La profundidad de la inyección: En general cuanto más profunda sea la inyección, mejor dilución obtendremos, ya que aumentará el tiempo de contacto entre el efluente y el agua de mar. Sin embargo, los costes económicos y las dificultades de construcción aumentan con la profundidad, por lo que se debe buscar la mejor relación profundidad-coste.
- La forma de la boca de salida del emisario: La morfología más recomendable es la circular, ya que tiene una buena difusión y minimiza la acumulación de sedimentos, lo que previene las obstrucciones.
- La orientación del chorro incidente: Con una orientación horizontal se consigue un mayor recorrido del efluente, por lo que es más recomendable que la orientación vertical, que lo dirige directo hacia la superficie.
- Las corrientes submarinas: La presencia en la zona de inyección de corrientes permanentes o semipermanentes, puede influir positivamente en la trayectoria del efluente, consiguiendo una mejor dilución. Es muy recomendable hacer un profundo estudio de las corrientes antes de comenzar la construcción de un emisario submarino.

La dilución secundaria o dilución por arrastre, es la creada por las corrientes que el viento genera en las capas superficiales del agua. Este tipo de dilución depende casi completamente de las propiedades de la corriente, por lo que los factores a considerar son:

- La dirección e intensidad del viento: Es importante estudiar los datos estadísticos sobre la intensidad y la dirección de los vientos que suele haber en la zona.
- La morfología de la costa y del fondo marino: Los accidentes topográficos, como acantilados, rocas marinas u otros, influyen sobre los vientos y la presencia de

una barra, una elevación del fondo marino paralela a la costa puede convertirse en un obstáculo que impida la dispersión de la mancha.

- Las mareas y el oleaje: Igualmente importante es estudiar las mareas y la dinámica del oleaje, para conocer la manera en que pueden incidir sobre la zona en la que se realiza la dilución secundaria.

En la ilustración 5, se muestra un esquema tipo del funcionamiento de un emisario submarino.

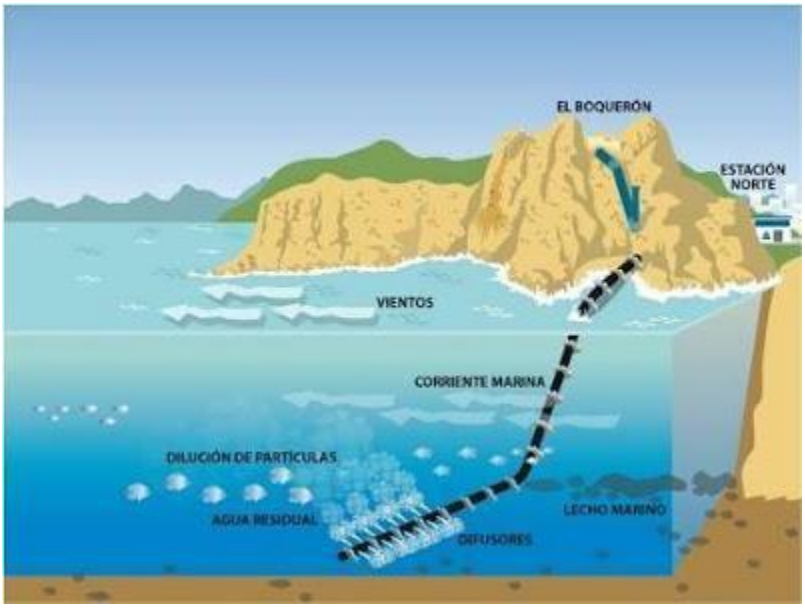


Ilustración 5 Esquema de funcionamiento de un emisario submarino

3.1.6. Lombrifiltro

En términos generales, el lombrifiltro consiste en un estanque relleno por diferentes capas filtrantes, con lombrices en la capa superficial, las que en conjunto con la microbiología ahí generada degradan la materia orgánica y la transforman en humus, agua, CO2 y otros gases. El proceso se inicia con una separación primaria de sólidos gruesos, para lo cual se contemplan cámaras de rejas manuales en plantas de menor tamaño y auto-limpiantes en plantas de mayor magnitud.

Posteriormente, el agua servida es acumulada en un estanque de homogenización, desde donde se impulsa para ser dispersado por aspersión sobre la superficie del lombrifiltro en donde se produce un proceso de absorción de las partículas disueltas en el líquido, quedando retenidas en las capas filtrantes para ser posteriormente digeridas por las lombrices y la microbiología existente del sistema.

El Layout típico de esta tecnología obedece al siguiente esquema presentado en la ilustración 6;

- Afluente
- Filtro Parabólico
- Lombrifiltro
- Atrapa lombrices.
- Desinfección.
- Efluente tratado.
- Cancha Acopio.
- Retorno líquido.
- Aplicación o disposición humus.

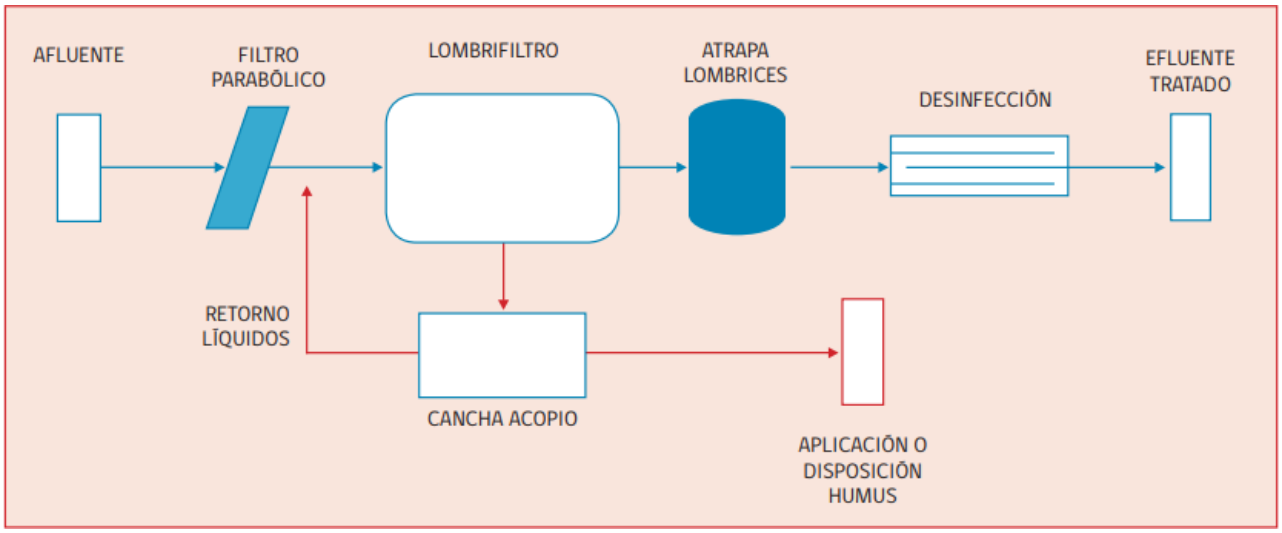


Ilustración 6 Esquema de lombrifiltro (Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo, 2018).

La materia orgánica del afluente es consumida por las lombrices, pasando una fracción menor de ella a constituir parte de su masa corporal y el resto como deyecciones de las mismas, denominadas comúnmente humus de lombriz.

El efluente es sometido posteriormente a desinfección (cloración) para la reducción de los coliformes fecales.

En la siguiente fotografía se presenta la disposición general de un sistema construido y en operación.

Ilustración 7 Lombrifiltro construido y en operación (Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo, 2018).

En el actual estado del arte, esta tecnología tiene detractores y defensores. Aquellos sistemas mal diseñados, o que con el correr del tiempo quedaron sub dimensionados o fueron diseñados sin considerar la variabilidad del caudal a lo largo del año como en las localidades balneario, indudablemente que operan en forma deficiente, lo cual es extensivo a todas las tecnologías, y generan baja calidad de las aguas servidas tratadas y olores al entorno inmediato.

Al presente, el país cuenta con más de 100 plantas instaladas en base a esta tecnología para el tratamiento de las aguas servidas domésticas, existiendo también sistemas de tratamiento operando en México, Paraguay, Argentina, Malasia, etc. (Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo, 2018).

En lo referido a las PTAS existentes en el país, existen numerosos sistemas en base a lombrifiltro que operan adecuadamente como es el caso de la planta de tratamiento de aguas servidas El Salado de Aguas Chañar (hasta que el aluvión del pasado año, en la Región de Atacama, la destruyó por completo, siendo construida nuevamente con la misma tecnología), la planta del Casino Enjoy de Los Andes, etc.

El sistema cuenta al momento con criterios y parámetros de diseño, los que son semejantes a los de los sistemas en base a cultivo fijo por filtros biológicos (FB), operando conceptualmente como un FB de baja carga hidráulica con un medio mucho más fino, el que actúa como filtrante y como soporte de biomasa.

Adicionalmente, las lombrices en su movimiento por el medio mantienen la permeabilidad de este.

El lombrifiltro presenta altas eficiencias de remoción en términos de los parámetros de interés y tiene aplicación práctica en pequeñas instalaciones.

Las eficiencias de remoción de NKT y PT son altas y pueden asemejarse a las de un lodo activado. En el caso del NKT, el sistema presenta nitrificación casi completa, entendible a la luz de que, en su calidad de organismos vivos, las lombrices y la población microbiana presentes, también requieren nutrientes para su metabolismo.

3.2. Sin conexión al sistema de alcantarillado

3.2.1. Fosa Séptica

En Chile, no todos los hogares cuentan con una conexión al alcantarillado. Lo más común es contar con una fosa séptica para depositar las aguas servidas. Una fosa séptica, es un artilugio para el tratamiento primario de las aguas residuales domésticas. En ella se realiza la separación y transformación fisicoquímica de la materia orgánica contenida en esas aguas. Se trata de una forma sencilla y relativamente barata de tratar las aguas residuales. Sin embargo, el tratamiento no es tan completo como los sistemas tradicionales (lagunas aireadas, lodos activados) mencionados con anterioridad.

Las fosas pequeñas pueden tener una sola cámara, pero, en general, es preferible que tengan dos o más. Mientras más cámaras de tratamiento tenga la fosa séptica, mayor será la calidad de agua expulsada a las zonas de filtración. Los sólidos contenidos en las aguas vertidas irán al fondo (cienos) y debido a la descomposición anaeróbica generada por las mismas bacterias que contienen las heces, se encargan de digerir y descomponer esta materia orgánica. Las grasas entre tanto se separan quedando en la parte superior.

Son tanques prefabricados que ofician como tanque combinado tanto de sedimentación y desgrasado como de almacenamiento de lodos que se digieren en el fondo por digestión anaeróbica sin mezcla ni calentamiento.

A continuación, se presenta una ilustración de un sistema de fosas sépticas de una sola cámara.

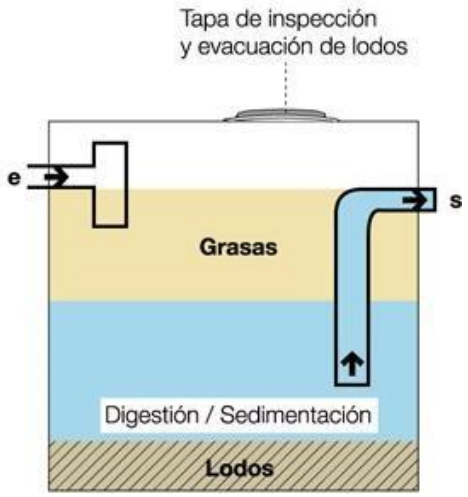


Ilustración 8 Esquema de funcionamiento de una fosa séptica (Maydisa Materiales y Diseños S.A).

En la ilustración 8 se puede observar;

- Entrada (e)
- Grasas
- Digestión/sedimentación
- Lodos
- Salida (s)

Hasta un 50 por ciento de los sólidos que se acumulan en el tanque se descomponen; el resto se depositan como lodo en el fondo y debe ser retirado cada cierto tiempo (cada uno o dos años) y transportado a un lugar donde pueda ser tratada totalmente.

El uso de fosas sépticas está diseñado para contener los desechos de una vivienda antes de ir al drenaje. Sólo se permite su uso en localidades rurales o urbano marginales que no cuenten con la red de alcantarillado o que éstas se encuentren alejadas de la localidad, resultando muy costosa su conexión.

El diseño de una Fosa Séptica depende del número de usuarios, la cantidad de agua usada por individuo, la temperatura promedio anual, la frecuencia de bombeo y las características de las aguas residuales. El tiempo de retención debe ser de 48 horas para alcanzar un tratamiento moderado.

En la ilustración 9 se presenta un esquema de un sistema de fosa séptica que incluye los siguientes etapas o procesos;

- Cámara de grasas.
- Arqueta.
- Fosa séptica.

- Aireador.
- Zanja filtrante Describir la función de cada uno.

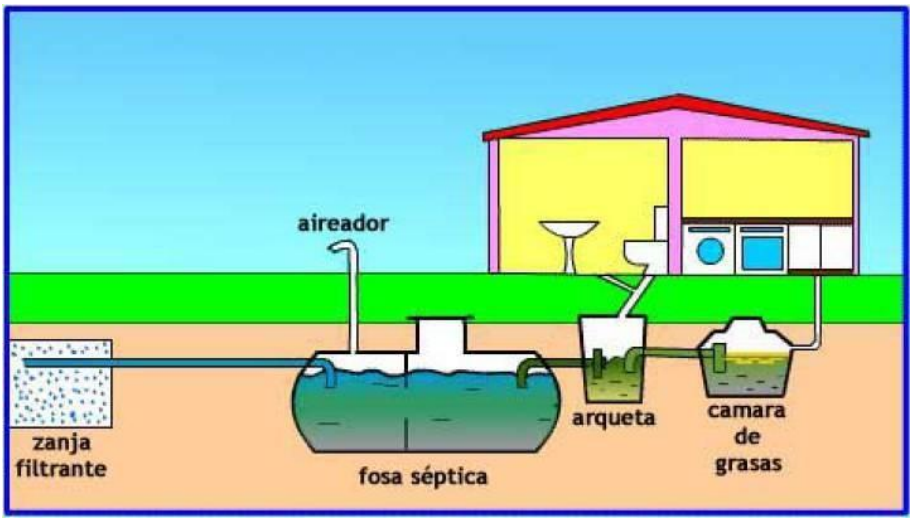


Ilustración 9 Esquema de un sistema con fosa séptica (Desatascos Cuatro, 2015).

Se adjunta en anexos (IV) un estudio de costos de inversión y mantenimientos de fosas sépticas realizado por el SUBDERE en el informe de "estudio de soluciones sanitarias para el sector rural" (Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo, 2018).

3.2.1.1. Operación

Históricamente, el problema más importante que se presenta en la operación de la fosa séptica es el arrastre de sólidos, aceites y grasas, lo que ocasiona la reducción prematura de la capacidad de asimilación de carga hidráulica en los campos de disposición del efluente por infiltración, dando origen a la formación de zonas húmedas en la vecindad de las zanjas de infiltración y acumulación del efluente en la superficie del suelo.

Para limitar la descarga de sólidos en el efluente de fosas sépticas se ha generalizado el diseño con dos compartimentos, respecto a lo cual la experiencia ha demostrado que los beneficios atribuidos se deben más al diseño que a la subdivisión del tanque (SUBDERE, 2017).

Un método más efectivo para reducir la descarga de sólidos sin tratamiento consiste en instalar un filtro para mejorar la calidad del efluente en tanques con un solo compartimento. Durante la operación, el líquido fluye dentro del filtro a través de los orificios de entrada localizados en la parte central de la pared de la cámara de filtrado, y antes de pasar a la zona central de la cámara, el efluente debe atravesar un tamiz situado al

interior de la cámara. Debido a la gran superficie del tamiz, la colmatación del mismo no se produce rápidamente (de ser necesario, el tamiz se puede retirar para labores de limpieza).

3.2.2 Baños secos

Un baño seco consta básicamente de un sistema que separa las heces con la orina al momento de excretar, existen varios sistemas de inodoros que realizan esta función, entre los que podemos encontrar baños con separación de orina de cámara de compostaje, baños con separación de orina de pozo, baños con separación de orina de simple cámara de deshidratación, baños con sistemas de incineración, entre otros. Cada uno de estos, cuenta además con un sistema de tratamiento para las heces, ya sea inactivando los agentes patógenos o cubriéndolos con tierra para que no proliferen al medio ambiente. Estos sistemas tienen algunos elementos y factores en común para tener en cuenta, ventilación para eliminar la humedad y sistema para evitar la entrada de esta, ya sea por lluvias, inundaciones y/o la humedad presente en el ambiente, a excepción de los sistemas que ocupan el compostaje, ya que este requiere humedad para poder realizar el proceso.

Los primeros baños secos de los que se tenga registro fueron instalados en casas con varios pisos de pueblos de Yemen y se utilizaron por cientos de años. Los baños secos con separación de orina con doble cámara de deshidratación que conocemos actualmente se diseñaron originalmente en 1950 en el Laboratorio de Salud Pública de la prefectura de Kanagawa, Japón, y se desarrollaron de manera más intensivamente en 1960 en Vietnam, como una forma de incrementar la seguridad e higiene de la excreta reutilizada en la agricultura (Augusto, 2016).

Sin embargo, a diferencia de los sistemas de baño tradicionales, en donde las excretas y la orina se descargan hacia el sistema de alcantarillado y posteriormente reciben alguno de los tratamientos convencionales, los baños secos deben contar con un sistema de tratamiento en el cual las heces y la orina son tratados por separado. Si bien hay lugares en que se utilizan baños secos por temas de conciencia ecológica, en la mayoría de los casos se debe a la falta de conexión a redes de alcantarillado.

En general, la orina a diferencia de las heces es estéril, es decir, no contiene patógenos o virus y no presenta un peligro para los usuarios. El único peligro que puede presentar la orina es que contenga bacterias que causen infecciones tracto urinarias, las cuales normalmente se transmiten por contacto. Por lo tanto, a menos que la orina tenga contacto con una herida o el sistema urinario del usuario que la manipula, no existirán riesgos en su manejo, de todas formas, es recomendable tener precaución y utilizar elementos de protección, tales como máscaras y guantes. La orina generalmente tiene una calidad higiénica muy alta en comparación a las heces, los riesgos higiénicos asociados con

la desviación de la orina principalmente se deben al resultado de la contaminación por heces, que es posible en un sistema de separación de heces y orina defectuoso.

Por el contrario, las heces si, son fuentes de enfermedades, virus e infecciones, y deben ser tratadas con especial cuidado, siguiendo las recomendaciones y lineamientos presentados por la OMS para su manejo.

La ilustración 10 muestra un esquema tipo de funcionamiento de baño seco.

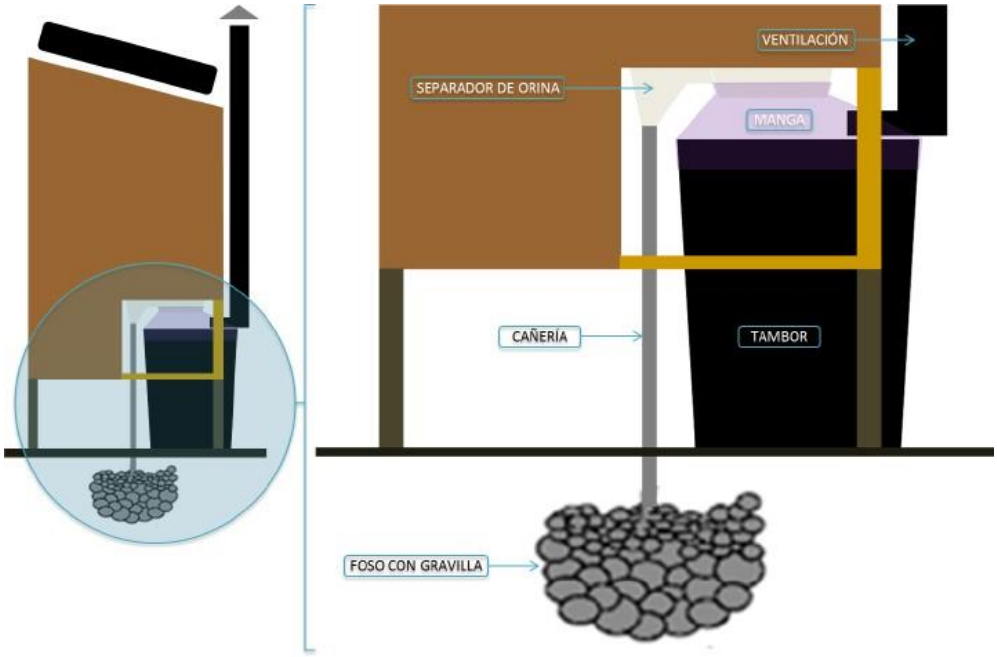


Ilustración 10 Esquema de funcionamiento de baños secos BIS (Pizarro Sánchez, 2012)

A continuación, se presentan los métodos más utilizados para el tratamiento de heces y orina que se generan con la utilización de baños secos.

Orina

La orina, luego de ser acumulada en el WC es enviada hacia un contenedor o un pozo filtrador (tambor de la ilustración 10) a la cual, en la primera opción es necesario realizarle un post tratamiento primario y secundario si es que lo amerita y para la segunda la orina simplemente se filtra a través de una capa de gravilla hacia el suelo.

La filtración hacia el suelo de la orina se puede realizar únicamente si es que esta no afecta negativamente pozos o fuentes de agua que se utilizan para ingesta de la población.

3.2.2.1.1. Tratamiento Primario

La orina es enviada desde el inodoro al tanque de recolección (es importante diferenciar del tanque contenedor). En este estanque donde la orina ha permanecido inmóvil por un tiempo se forman sedimentos debido a la acumulación de ureasa, esto ocurre generalmente en el sifón del inodoro, en las tuberías horizontales y en el tanque. La estruvita ($MgNH_3PO_4$) y apatita ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$) que aparecen una vez que el PH de la orina aumenta a 9-9,3 debido a la degradación de la urea a amonio (ecuación 1), son los principales componentes de los sedimentos, esto ocurre ya que a altos niveles de PH las concentraciones iniciales de fosfato, magnesio, calcio y amonio ya no son solubles si no que se precipitan. Alrededor de un 30% del fosforo (P) de la orina eventualmente se transforma en sedimentos (Jönsson, Richert Stintzing, Vinneras, & Salomon, 2004). Cuando el diámetro de tubería es lo suficientemente grande (≥75 [mm] para tuberías horizontales) y la pendiente es al menos de un 1% los sedimentos fluyen al estanque de recolección, donde se forma una capa inferior. Esta se encuentra en estado líquido y puede ser manipulada con el resto de la orina.

$$NH_4^+ + 1.5O_2 \rightarrow NO_2^- + 2H^+ + H_2O \qquad \text{Ecuación 1}$$

El fosforo (P) que se acumula en estos sedimentos puede ser manipulados y reutilizados con el resto de la orina sin alterar la cantidad ni la disponibilidad de este u otro nutrientes. La concentración de fosforo (P) en los sedimentos pueden ser más del doble del resto de la orina. Es así, que estos sedimentos pueden ser utilizados para cultivos con altas demandas de fosforo o manipulados con el resto de la orina. En este último caso, el producto fertilizado deberá preferiblemente ser mezclado antes de ser aplicado para obtener una dosis uniforme.

El pH alto de la orina en el tanque de recolección, normalmente 9-9,3, añadido a la alta concentración de amonio, significa que existe el riesgo de perder N en forma de amoníaco con la aireación (Ecuaciones 2 y 3). Sin embargo, estas pérdidas son fácilmente eliminadas al diseñar el sistema de tal manera que el tanque y las tuberías no sean ventilados, sino solamente la presión igualada. Esto también elimina el riesgo de malos olores del sistema de orina. La orina es muy corrosiva por lo que los tanques deben ser de un material resistente, por ejemplo, plástico o concreto de alta calidad; se debe evitar el uso de metales.

$$NH_4^+ + OH \rightarrow NH_3(aq) + H_2O \qquad \text{Ecuación 2}$$

$$NH_3(aq) \rightarrow NH_3(g) \qquad \text{Ecuación 3}$$

3.2.2.1.2. Tratamiento Secundario

El almacenamiento de la orina por separado es un método de tratamiento secundario sencillo y económico. En el tanque de almacenamiento ocurren los mismos procesos que en el tanque de recolección. Mientras el tanque tenga una presión equilibrada y no sea ventilado, no se producirán pérdidas de nutrientes ni cambios en su disponibilidad. El contenido de fosforo de los sedimentos inferiores es alto y puede ser usado para plantas cuya demanda de fosforo es elevada, caso contrario este deberá ser mezclado con el resto del contenido del tanque antes de la aplicación, para proveer una dosis uniforme. (Jönsson, Richert Stintzing, Vinneras, & Salomon, 2004).

La higienización que se da cuando la orina es almacenada por separado es en la mayoría de los casos suficiente, sin embargo, no puede ser confiable cuando la orina es almacenada en conjunto con heces, puesto que las heces aumentan el número de patógenos, y la capacidad de amortiguamiento y la materia orgánica. Es así, que, al mezclar la orina con las heces, esto aumenta simultáneamente la necesidad de higienización y reduce el efecto de higienización a tal punto que no puede confiarse en este.

3.2.2.2. Heces

Distinto es el caso de las heces, que deben cumplir con el tratamiento primario y secundario para ser utilizadas en alguna actividad o simplemente desechadas al ambiente, sin embargo, es importante tener claro cuál es la diferencia entre estos dos. El tratamiento primario es aquel que ocurre en la etapa de recolección, consta en agregar un elemento seco que junto con un sistema de ventilación tiene la misión de remover humedad de las heces. A menudo sucede debajo del inodoro en el tanque o contenedor donde va se almacena temporalmente las heces, este tiempo puede durar entre 1 a 15 días, no es recomendable que dure más que esto para evitar problemas de higiene y salud. Este tratamiento tiene como finalidad la eliminación de olores, reducir el riesgo de la presencia de moscas y el riesgo higiénico.

Por su parte el tratamiento secundario, ocurre en un segundo contenedor que tiene como función eliminar los agentes patógenos de las heces y dejarlas higiénicamente seguras. Otro objetivo es transformar la mezcla de heces a un estado donde sea inodora y visualmente agradable, es decir, que no se reconozcan pedazos de heces o papel higiénico en la mezcla. Este punto es importante cuando se manipula de forma manual para no causar un mal momento al usuario.

3.2.2.2.1. Tratamiento Primario

Ocurre generalmente en una cámara ventilada donde se recolectan las heces, que normalmente se le agrega algún aditivo, como cenizas vegetales, cal, tierra seca u hojas secas. Es importante que el aditivo tenga un bajo porcentaje de humedad y que tenga alta capacidad de absorción suelen tener un contenido de humedad entre 0% a un 15%, que es muy bajo en comparación a las heces que en el momento de la excreción es de alrededor de un 80%. De esta forma si se agregan capas de materia seca cada cierto tiempo o idealmente luego de cada uso que tenga el inodoro, la materia seca de la mezcla será mayor que el de las heces, incluso si no ocurre secado por aireación. El aumento de materia seca es el responsable de reducir los riesgos de malos olores y de moscas. Reduce el riesgo de algunos patógenos y además si el pH del aditivo es alto el efecto se verá reforzado, tales son el caso de la cal o de las cenizas vegetales. El riesgo de las moscas es aún más reducido si el aditivo se aplica de manera que las heces no queden expuestas a la superficie, es decir, que luego de cada defecación se aplique el aditivo de manera que cubra completamente las heces.

Los aditivos traen con ellos su propio aporte de nutrientes. Las cenizas vegetales y la tierra son ricas en potasio (K), fosforo (P) y calcio (Ca), estos ayudan a aumentar la cantidad de nutrientes que tendrá la muestra final. Otra ventaja de agregar aditivos es que el tiempo de secado de las heces será menor ya que la humedad es compartida entre la materia seca. Además, una rápida disminución de humedad trae consigo una disminución en la degradación biológica por lo que las pérdidas de materia orgánica y nitrógeno (N) son pequeñas.

En el tratamiento primario todos los nutrientes excepto el nitrógeno (N), que una parte se pierde como amoniaco, y la mayoría de la materia orgánica son conservados. Si el secado es rápido las perdidas las pérdidas son menores ya que la degradación biológica disminuye y cesa cuando el nivel de humedad es bajo. Para esta situación, tan solo una parte de materia orgánica soluble en agua y del nitrógeno (N) (alrededor de un 50% del total) corren el riesgo de perderse (Jönsson, Richert Stintzing, Vinneras, & Salomon, 2004). Si por lo contrario el secado es lento, ocurrirá una mayor degradación biológica y ayudará a una mayor formación de amoniaco lo que se traduce en una pérdida de nitrógeno (N) mayor.

3.2.2.2.2. Tratamiento secundario

Existe el riesgo que durante el tratamiento secundario se pierdan nutrientes como el nitrógeno o el azufre, los factores que más influyen en esta perdida son la aireación y la degradación que ocurre en el proceso.

Hay distintas opciones para el tratamiento de heces secundario entre los que se encuentran el compostaje, digestión, incineración, tratamiento químico, incineración y deshidratación. Cada una de estas, tiene sus ventajas y desventajas. Sin embargo, debido al desafío existente, del cual se hablará más adelante, las alternativas reales a utilizar son la deshidratación, almacenamiento, incineración y compostaje. Estas opciones serán analizadas con mayor profundidad en los capítulos 3 y 4.

3.2.2.3. Desafíos del sistema de baños secos

Siendo esta una tecnología diferente a la tradicional, poco conocida y usada por el común de la gente, tiene distintos desafíos que superar para conseguir que un mayor número de usuarios la prefieran en vez del sistema tradicional que existe.

Si bien existen algunos desafíos técnicos para superar, el mayor desafío se encuentra ligado a la conducta de uso, en donde se debe lograr una aceptación por parte de los usuarios para utilizar este tipo de baños y un aprendizaje para que el sistema sea utilizado de forma correcta, eliminando así peligros biológicos o de olores.

3.2.2.3.1. Aceptación social entre usuarios

En referencia a la aceptación social, la adopción exitosa de esta tecnología está vinculada a:

- La motivación y voluntad de los/as usuarios/as para cambiar hábitos y conductas instaladas, tales como la disposición de los hombres para orinar sentados en caso de que no haya mingitorios especiales.
- Actitud proactiva por parte de todos/as los/as involucrados/as (usuarios/as, encargados/as del mantenimiento, planeadores/as, agricultores/as, políticos/as, etcétera).
- Posible uso de la orina como fertilizante (o alguna opción para su disposición final en caso de que su reutilización en agricultura o acuicultura no sea posible).
- Obstáculos culturales, como preconceptos de los/as usuarios/as.

El miedo a posibles olores es un obstáculo más para la aceptación social, pero con un correcto diseño y operación del sistema, los olores emitidos por inodoros y orinales secos son los mismos o inclusive menores que sus variantes convencionales. Además, los baños

secos con separación de orina tienen considerablemente menos olor y presencia de moscas que las letrinas, con lo que pueden construirse en interiores, lo que inclina la balanza hacia su aceptación.

La aceptación social también depende en un alto grado de:

- La situación actual del saneamiento en territorio, y las expectativas de los/as usuarios/as para el futuro.
- Las normas prevalecientes en cuanto a la reutilización de excretas humanas y los tabúes que éstos involucran.
- La existencia de proveedores de servicios de recolección y mantenimiento. Por todo esto, es crucial una planificación cuidadosa y compromiso entre todas las personas involucradas.

3.2.2.3.2. Cooperación de usuarios

Hay tres cuestiones principales para tener en cuenta en lo referente a la cooperación de los/as usuarios/as:

- Los baños secos con separación de orina necesitan predisposición de antemano para asegurar no sólo su correcto uso sino su aceptación por parte de los/as usuarios/as.
- Si los/as usuarios/as no cooperan, el mal uso del inodoro puede resultar en olores (por ejemplo, en caso de que se orine en el contenedor de heces, o se orine parado en lugar de sentado cuando el inodoro no esté preparado para tal uso) o en un inodoro ¨desordenado¨ (por ejemplo, si los/as usuarios/as defecan en el contenedor de orina). En este sentido, cualquier sistema de saneamiento mal utilizado genera olores y problemas de higiene.
- La limpieza de un inodoro con separación de orina consume un poco más de tiempo que uno convencional, debido a la separación en el inodoro mismo para conducir las heces y la orina.

3.2.2.3.3. Reutilización, disposición de orina y heces.

En referencia a la reutilización y disposición final de la orina y heces, se debe tener presente lo siguiente:

- Necesitan ser transportadas a su destino final, y en caso de que la distancia sea elevada esto genera un aumento del tráfico, emisiones de CO_2, ruido, contaminación, entre otros.

- Cuando la orina y/o heces se usa en la agricultura, los/as granjeros/as necesitan capacitación para hacerlo de la forma adecuada.
- Si no pueden ser reutilizadas, no pueden ser vertidas a los suelos debido a que puede causar polución en las napas con nitrato (dependiendo de factores como el volumen vertido o las propiedades del suelo) al igual que las letrinas (aunque estas tienen el problema adicional de que los patógenos de las heces sí van a las napas).
- En lugares urbanos otra opción válida es drenar estos residuos al sistema cloacal.

3.2.2.3.4. Precipitación de orina

En la orina fresca, el principal componente nitrogenado es la urea. Durante su almacenamiento, la urea se hidroliza en amonio/amoníaco e hidrocarbonatos por la presencia de enzimas de ureasa presentes en el contenedor de orina, en el suelo y en sistemas acuáticos. Este proceso se ve acompañado por un incremento del valor del pH, que deriva en la precipitación de estruvita ($MgNH_4PO_4$) y cristales de fosfato de calcio ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$). Estos cristales pueden formar incrustaciones, llamadas piedras de orina.

La precipitación en los caños de orina y tanques de almacenamiento se da tanto en los sistemas basados en agua como en los secos. Además, también se asientan restos de piel, pelos y material orgánico excretado.

El resultado final puede ser precipitaciones duras (incrustaciones) o suaves, viscosas y parecidos a una pasta (depósitos). Las incrustaciones tienden a aparecer en las paredes interiores y los codos de los caños, mientras que los depósitos suelen presentarse en tanques de almacenamiento, (formando un barro al fondo) y en caños de orina casi horizontales.

Los siguientes parámetros de diseño reducen la cantidad de precipitación:

- Poco tiempo de retención: la precipitación suele darse donde la velocidad del flujo de orina es baja o inclusive hay estancamiento, con lo que deberían evitarse los sifones, caños horizontales o los codos en las cañerías donde esto podría suceder.
- Deberían usarse materiales hidrofóbicos y superficies suaves y lisas; a la vez, es recomendable evitar toda ralladura posible en las superficies, con lo que debe tenerse cuidado con la limpieza. Los caños de plástico de PVC suelen ser lo más usado para la cañería de orina.
- Si se utiliza agua en las descargas, usar aguas blandas (como el agua de lluvia) es preferible a las duras (el agua blanda tiene menos calcio y magnesio, elementos que pueden precipitar el amoníaco y el fosfato de la orina).
- Las cañerías con un diámetro relativamente grande (al menos 2,5 cm) tienen menos probabilidades de atascarse.

No usar agua de descarga en lo absoluto (como en los orinales secos) no elimina el problema, dado que la orina también contiene calcio y magnesio, que puede precipitarse con el amoníaco y el fosfato para formar estruvita. En sistemas secos con separación de orina, tienden a darse más depósitos blandos que incrustaciones duras, mientras que en los sistemas de separación de orina con agua es al revés.

3.2.2.3.5. Tratamiento de heces

Al igual que la orina, el tratamiento de las heces tiene sus propios desafíos, que, a diferencia de la orina, la cual enfoca sus desafíos en que el sistema seleccionado de mejorar su rendimiento, el tratamiento secundario de heces está dirigido a lograr un saneamiento correcto. A pesar de que existen diversos estudios que muestran un alto grado de seguridad acerca de los distintos tratamientos de heces las opiniones acerca de si se debe usar o no los baños secos está dividida.

Las opiniones que están en contra del uso de los baños secos abogan que ninguno de los sistemas de tratamiento asegura un 100% en la eliminación de patógenos o que simplemente al usar estos baños, se generan exposiciones innecesarias de la población a contraer enfermedades relacionadas con las heces.

Resulta interesante tener en cuenta que aun la EPA de USA, permite estándares de limpieza de aguas para uso recreativo de 19 enfermedades por cada 1000 nadadores en agua salada y de 8 por cada 1000 en agua dulce (Jenkins J. , 1999). Algunas de estas enfermedades incluyen la fiebre tifoidea, salmonelosis, disentería, hepatitis, gastroenteritis, neumonía e infecciones de piel. Esto puede ser utilizado como argumento en contra las opiniones contrarias a la utilización de los baños secos, argumentando que no existen aún tratamiento que tenga un 100% de eficacia. En el caso de la exposición innecesaria de la población a enfermedades, existen lugares en los cuales hay prácticas que tienen un mayor riesgo sanitario o repercusiones irreversibles para el medio ambiente. La discusión acerca de este tema permanece abierta y el objetivo de este trabajo no es debatir, si no dar una posible solución para el tratamiento de las heces de baños secos.

4. Capítulo 2: Problemática

El desafío principal que intenta solucionar este trabajo es la higienización de las heces que se acumulan al utilizar baños secos. Esta tarea se realiza para evitar la propagación de enfermedades o epidemias que están presentes en la población Chilena. Algunas de ellas son nombradas en este capítulo y descritas brevemente. Además, se exponen las condiciones necesarias para eliminar a los agentes responsables de su propagación.

Sin embargo, no es el único desafío al que se pretende dar solución, también se le pondrá atención a la generación de basura orgánica generada en el hogar. La cual alcanza hasta un 50% o más de los residuos que se eliminan diariamente de los hogares en Chile. De esta forma se busca realizar un acercamiento de los usuarios a la cultura del reciclaje.

Estos desafíos están presentes a lo largo de todo Chile, los baños secos por su parte son utilizados en lugares que no cuentan con conexión al sistema de alcantarillado (capitulo 1) y la poca cultura de reciclaje es algo presente en el general de la población Chilena. Para solucionar estos desafíos, se pondrá foco en la V región de Valparaíso, donde se tendrán en cuenta las condiciones climáticas y otras que puedan afectar la eficiencia del sistema de baños secos.

4.1. Enfermedades comunes en Chile relacionadas con el manejo de heces

Según Bruce Gordon, coordinador en funciones de la unidad de Agua, Saneamiento, Higiene y Salud de la Organización Mundial de la Salud (OMS) en Ginebra, se estima que la falta de acceso a medios de saneamiento seguros y limpios expone a 2500 millones de personas al riesgo de contraer numerosas enfermedades como la difteria, el cólera, el tifus, la esquistosomiasis, el tracoma y la helmintiasis intestinal. Se calcula que cada año mueren 645 000 menores de cinco años de diarrea, una enfermedad prevenible y relacionada con la falta de saneamiento (OMS, 2014).

A continuación, se presentan las enfermedades más comunes en Chile que son causadas de alguna manera por heces humanas. No se mencionarán algunas enfermedades erradicadas de América como la poliomielitis (polio).

4.1.1. Helmintiasis Intestinal

Fuentes de infección: Heces de personas infectadas.

Método de transmisión: Las helmintiasis transmitidas por el suelo, se transmiten por los huevos eliminados a través de las heces de las personas infectadas. Los gusanos adultos viven en el intestino, donde producen miles de huevos cada día. En las zonas que carecen de sistemas adecuados de saneamiento, esos huevos contaminan el suelo, lo que puede ocurrir por distintas vías:

- A través de hortalizas insuficientemente cocidas, lavadas o peladas.
- A partir de fuentes de agua contaminadas.
- En el caso de los niños, al jugar en el suelo contaminado y llevarse las manos a la boca sin lavárselas.

Periodo de incubación: Tras un periodo de 5 días luego de su ingestión, inicia el periodo clínico, extendiendo tres posibles evoluciones: portador asintomático, gastroenteritis autolimitada o cuadro crónico de malabsorción o urticaria (Romero Gonzalez & López Casado).

Causa: Enterobius Vermicularis, Ascaris lumbricoides, Trichuris Trichiura, Strongyloides Stercolaris, Hymenolepis nana, Taenia saginata.

4.1.2. Hepatitis A-E

Fuente de infección: paciente e infectados asintomáticos (70% del total en la infancia y 30% en la adultez).

Contagiosidad: durante las dos semanas antes del comienzo de síntomas y primera semana de cuadro clínico, por excreción fecal o por contacto con sangre del caso índice, contagio sexual por prácticas de sexo oral. Se ignora la contagiosidad por vía sanguínea o fecal de las hepatitis de curso prolongado (sobre 6 semanas) aunque se ha detectado el virus en deposiciones en pacientes con reagudización tardía de los síntomas. El riesgo de contagio es máximo en ambientes con alto fecalismo (oportunidad mayor para quienes comparten comedores, dormitorios y baños en un medio con malos hábitos higiénicos) (Cofre, 2001).

Período de incubación: 15 a 45 días. La transmisión del VHA en la comunidad se ve favorecida por el consumo de aguas contaminadas con excretas humanas; el VHA no es inactivado por la cloración de alimentos y del agua potable. La sobrevida ambiental del VHA en frío es extrema, *in vitro* su viabilidad persiste intacta tras 16 semanas a 4°C y hasta 6 meses en congelamiento a -20 y -70°C; por otra parte, tolera bien el calor, incluso la ebullición a 60ºC durante 10 minutos (Cofre, 2001).

Diagnóstico de infección: IgM anti VHA (técnica de ELISA), alta sensibilidad y especificidad. Vacuna con virus inactivado (dos dosis): eficacia demostrada de 95% a partir de 2 años de edad, su inmunogenicidad en el primer año de vida (aún en evaluación), ha sido demostrada siendo mayor en hijos de madres seronegativas (Cofre, 2001).

Causa: Virus de hepatitis A y Virus de hepatitis E.

4.1.3. Difteria[1]

Descripción clínica: Enfermedad aguda de las amígdalas, faringe, laringe y nariz, que se caracteriza por una o varias placas de membranas grisáceas adherentes confluentes e invasoras, con una zona inflamatoria circundante de color rojo mate, dolor de garganta, aumento de volumen del cuello, fiebre, cefalea y grado variable de compromiso del estado general. La enfermedad puede afectar otras localizaciones, tales como mucosa y piel.

Contagiosidad: Contacto con un paciente o portador. Rara vez a través de artículos contaminados. La leche cruda ha servido como vehículo.

Causa: Corynebacterium diphtheriae. Cuando las bacterias son infectadas por el Corine bacteriófago que contiene el gen tox, hay producción de toxina.

Grupos de riesgo: En general, menores de 6 años sin inmunización.

4.1.4. Fiebre tifoidea[2]

Fuente de infección: La enfermedad se adquiere por vía intestinal, por la ingesta de agua o alimentos contaminados con la bacteria. La infección tan sólo afecta a los humanos por lo que la fuente de contagio es siempre alguna persona infectada o portadora de la bacteria en las heces.

Contagiosidad: Se presume que Salmonella typhi invade a través de las células M del intestino, las cuales forman parte del tejido linfoide o inmunológico.

Periodo de incubación: El período de incubación para Salmonella spp abarca de una semana a un mes, siendo principalmente de dos semanas, a partir de la ingesta de la bacteria proveniente de alimentos o agua contaminada. Muerte a 55° C en 30 minutos (Hillel I, Charles G, & DeAnne S, 1981).

---

[1] Datos obtenidos del informe de normas técnicas de vigilancia de enfermedades transmisibles (MINSAL, 2000)

[2] Datos obtenidos del informe de normas técnicas de vigilancia de enfermedades transmisibles (MINSAL, 2000)

Diagnóstico de infección: La fiebre tifoidea se trata con antibióticos. Los regímenes típicos incluyen amoxicilina, cotrimoxazol y cloranfenicol. Sin embargo, desafortunadamente, la emergencia de cepas con resistencia múltiple a antibióticos se está convirtiendo en un problema global serio. Algunas de las regiones donde estas cepas resistentes se han multiplicado incluyen el subcontinente Hindú, Vietnam, Latinoamérica, y Egipto. A pesar de estas cepas resistentes, el cloranfenicol sigue siendo el antibiótico de elección, por su capacidad de infiltración en los tejidos. Las cefalosporinas y quinolonas de tercera generación constituyen alternativas interesantes (Calva, s.f.).

Causa: el bacilo Salmonella Typhi que en la actualidad es posible tipificar a lo menos 106 fagos. Fiebre paratifoidea: se reconocen 3 serotipos: Salmonella parathyphi A, B y C; también se diferencian varios tipos de fagos.

4.1.5. Cólera[3]

Fuente de infección: Por ingestión de agua o alimentos contaminados con heces y/o vómitos de pacientes o por alimentos contaminados a su vez por agua, heces o moscas.

Contagiosidad: Se mantiene mientras dura el estado de portador, que puede durar pocos días y un máximo 3 a 4 semanas desde el inicio de la enfermedad.

Periodo de incubación: de 1 a 4 dias

Diagnóstico de la infección: La infección asintomática es más frecuente que la aparición del cuadro clínico. Son comunes los casos leves en que sólo hay diarrea, particularmente en niños. El cuadro clínico clásico consiste en una iniciación súbita de náuseas, vómitos y diarreas profusas. Las heces son semejantes al agua de arroz, contienen moco, células epiteliales y gran cantidad de vibriones. Pérdida rápida de agua y electrolitos con deshidratación intensa, colapso circulatorio y anuria.

Causa: Vibrio Cholerae serogrupo 01.

Grupos de riesgo: Todos son susceptibles, pero especialmente aquellos que viven en condiciones de hacinamiento, sin agua potable ni instalaciones sanitarias, malos hábitos de higiene y con deficiente estado nutricional. También aquellos que tienen enfermedades crónicas como úlcera gástrica, TBC, SIDA, leucemia, gastrectomizados o quienes consumen antiácidos.

[3] Datos obtenidos del informe de normas técnicas de vigilancia de enfermedades transmisibles (MINSAL, 2000)

4.2. Tratamiento de heces en baños secos

El tratamiento de heces provenientes de baños secos se enfoca en reducir el riesgo de transmisión de patógenos entre seres humanos y su hábitat. Siendo que los patógenos están presentes principalmente en las heces y en algunos casos la orina, situación que ocurre cuando esta ha estado en contacto con heces, es importante tratar y manejar con extremo cuidado de forma que los riesgos de transmisión de enfermedad sean los mínimos.

Existen distintas opiniones y estudios acerca de si los tratamientos de heces para baños secos son efectivos o no, algunos escritos hablan de esto como una práctica que se debe evitar, sin embargo, otros autores recomiendan el uso de baños secos como solución a los problemas de agua o falta de conexión al alcantarillado, presentando los métodos de post-tratamiento de heces como totalmente seguros. En el caso de este trabajo, la problemática surge de la utilización de los baños secos y por ende la necesidad de encontrar un sistema de saneamiento, por lo que no se discutirá la utilización de este, si no, cual es el método más eficaz para minimizar los riesgos en su utilización. Para el caso de la orina, se puede lograr una reducción de patógenos cercana al 100%. (Christian Rieck, 2011). De todas formas, es importante advertir que un uso inapropiado de baños secos puede reducir la eficiencia del sistema de saneamiento de heces y orina.

Es importante destacar que la cantidad de patógenos que pueden transmitir enfermedades depende únicamente de su anfitrión y de si este presenta o es portador de alguna enfermedad. Estos patógenos se dividen en cuatro categorías, virus, bacterias, protozoos y helmintos (gusanos intestinales) (Christian Rieck, 2011). Cada uno de estas son fácilmente transmitido de personas a personas por vía oral-heces, directamente por el contacto de manos contaminadas o indirectamente debido a la contaminación de la comida o agua a través de contaminaciones fecales que puedan existir.

Una vez excretadas, los patógenos que se encuentran en las heces empiezan a disminuir en número ya que no son tolerantes a distintos elementos que se encuentran en el exterior como altas y bajas temperaturas y a un amplio rango de microorganismos los cuales consumen, compiten o inhiben a estos.

Los protozoos y virus no son capaces de vivir fuera de su portador, por lo que una vez expuestos al ambiente su número disminuirá con el paso del tiempo hasta ser completamente eliminado, por otro lado, las bacterias pueden multiplicarse bajo condiciones favorables (Schönning & Stenström, 2004).

Son los parásitos intestinales y en especial sus huevos los que tienen una mayor resistencia al paso del tiempo, y es por ellos que es necesario realizar un tratamiento posterior a las heces para inactivarlos de forma efectiva.

Tabla 1 Punto de muerte térmica de algunos patógenos y parásitos comunes. Confección propia con datos de "Aproppiate technology for wáter supply and sanitation" (Hillel I, Charles G, & DeAnne S, 1981) y "Survival Time and Critical Temperatures of Various Strains of Entamoeba histolyca" (Cabrera & Porter, 1958)

Organismo	**Punto de Muerte**
Salmonella Thyposa	No se desarrolla en temperaturas mayores a 46°[C]; muerte en 30 minutos entre 55°C y 60°C
Salmonella spp	Muerte en una hora a 55°C o en 15 a 20 minutos a 60°C
Shigella spp	Muerte en una hora a 55°C
Escherichia Coli	Muerte en una hora a 55°C o en 15 a 20 minutos a 60°C
Endamoeba histolytica cysts	Muerte en 3,5 horas a 45°C; Punto de muerte a 68°C
Taenia Saganita	Muerte en 5 minutos a 71°C o 1 hora a 60°C
Trichinella spiralis larvae	Gran reducción al ser expuestas por una hora a 50°C; punto de muerte por temperatura a 62-72°C
Virus de hepatitis A	10 minutos a 62°C
Necatur americanus	Muerte en 50 minutos a 45°C
Brucella Abortus	Muerte en 3 minutos a 61°C
Micrococcus Pyogenes	Muerte en 10 minutos a 50°C
Streptococcus Pyogenes	Muerte en 10 minutos a 50°C
Mycobacterium tuberculosis	Muerte en 15 a 20 minutos a 66°C o instantáneamente a 67°C
Corynebacterium Dipthariae	Muerte en 45 minutos a 55°C

Se observa en la tabla anterior que la mayoría de las bacterias o patógenos causantes de enfermedades se pueden eliminar manteniendo una temperatura de 65° [C] por al menos una hora.

Lo anterior es importante de considerar ya que existe la posibilidad de que algunos organismos sobrevivan en una pila de compost a pesar de que esta llegue a temperaturas superiores a 65°C. Esto puede ocurrir debido a que las zonas laterales de la pila de compost pueden presentar temperaturas más bajas que en el centro. Por ende, aunque las posibilidades sean muy bajas, es importante manejar con cuidado el material compostado y seguir los consejos para su utilización.

Existe niveles de aceptación para la reutilización de las heces tratadas en la tierra, estos utilizan como parámetro principal los huevos de helmintos, debido a su resistencia a los tratamientos para su eliminación, siendo estos un indicador crucial para evaluar el estado de la composta. La composta tratada, debe arrojar valores bajos en el número de huevos de helmintos y de E. coli.

Tabla 2 Guía para la verificación y monitoreo en tratamientos colectivos y uso de heces en la agricultura.

	Huevos de Helmintos (número de huevos por gramo)	**E. Coli (número por cada 100 mL)**
Heces tratadas o mezcla	< 1/g por cantidad de solidos	< 1000/g por cantidad de solidos

La OMS emitió en el 2006 el libro "Directrices para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises en la agricultura" que contiene consejos a seguir para disminuir los riesgos de salud asociados con el uso de heces en la agricultura. En este, se entrega una serie de medidas que reducen el riesgo de contagio de enfermedades para agricultores o consumidores de los alimentos (Bonzi, y otros, 2010). Estas medidas se aplican para cualquier situación en la cual se utilicen las heces como elemento fertilizante.

Dentro de las medidas mencionadas podemos encontrar:

1. Separar las heces de la orina.
2. Deshidratación de las heces durante el periodo que se encuentran en el baño seco, y un posterior tratamiento fuera de este.
3. Técnicas de aplicación específicas para la agricultura
4. Equipo de protección y lavado de manos.
5. Normas de utilización del manejo de comida y su lavado
6. Promover el higiene y salud.

4.3. Basura Orgánica y reciclaje en Chile

Los desechos o residuos son sustancias u objetos que perdieron su vida útil o que simplemente no tienen utilidad alguna y que pueden ser eliminados o valorizados. En Chile, la mayoría de los residuos municipales e industriales son enviados para una disposición final y en gran parte de los casos no se consideran para procesos de valoración o transformación energética.

Los residuos municipales son residuos sólidos domiciliares y/o asimilables como aquellos generados en las vías públicas, comercio, oficinas y edificios. La gestión de estos residuos es responsabilidad de las municipalidades, quienes en su mayoría manejan la disposición final con empresas externas que no implementan una gestión integrada de los residuos, por lo que generalmente el costo del proceso es mayor al beneficio obtenido de reciclar los residuos. A continuación, se señalan algunas normativas que coinciden en apuntar como encargado principal del manejo de residuos a los municipios, sin desmedro de las responsabilidades de otras instituciones.

- Letra “b” del artículo 11° del párrafo III del Código Sanitario con Fuerza de Ley (DFL) N°725/67.
- Letra “f” del artículo 3° de la ley N°18.965.
- Decreto de Ley N°3.063 del año 1979, con posterior modificación en la Ley N°19.388 de 1995.

El promedio en Chile, la producción de basura es de 1,1 [kg] diarios por persona. Además, al año se producen alrededor de 7.400.000 [ton] en el país, de los cuales 4.500.000 [ton] se genera únicamente en la ciudad de Santiago (Emol, 2017). Lo interesante de estos guarismos es que los 6.000.000 de personas que la habitan y que representan un 34% de la población producen un 60,8% de la basura a nivel nacional.

Tabla 3 Numero de rellenos sanitarios y vertederos según región (INE, 2017).

REGIÓN	2014		2015	
	Rellenos sanitarios (N°)	Vertederos (N°)	Rellenos sanitarios (N°)	Vertederos (N°)
TOTAL	**25**	**71**	**34**	**76**
Arica y Parinacota	0	1	4	0
Tarapacá	2	1	2	3
Antofagasta	2	4	4	4
Atacama	1	0	3	1
Coquimbo	1	10	1	10
Valparaíso	0	9	3	8
Metropolitana	3	1	3	1
O'Higgins	2	0	3	0
Maule	3	4	4	0
Biobío	4	2	4	4
Araucanía	2	21	1	15
Los Ríos	2	0	0	4
Los Lagos	0	8	2	6
Aysén	3	8	0	13
Magallanes	0	2	0	7

La composición de los RSD, muestra en diferentes estudios, que la materia orgánica es la más abundante. Si consideramos el porcentaje, se acerca al 50% de los residuos eliminados en la región metropolitana tal como se aprecia en la tabla 3, 4, que posee información de 4 estudios realizados en tiempos diferentes y que entrega la información porcentual de su composición.

Tabla 4 Composición porcentual de RSD en la región metropolitana en 4 estudios (Sepulveda Quiroz, 2011)

	Estudio 1 (%)	Estudio 2 (%)	Estudio 3 (%)	Estudio 4 (%)
Materia Orgánica	73.85	62.72	51.5	47.5
Papel y Cartón	16.12	22.39	15.5	22.1

Escoria, cenizas y otros	1.42	1.74	6.5	5.4
Plásticos	1.72	3.03	10.7	9.8
Textiles	3.5	3.97	4.7	3.9
Metales	1.85	4.06	2.2	2.3
Vidrios	0.59	1.13	1.7	1.6
Huesos	0.28	0.31	0.5	0.5
Otros	0.67	0.65	7	6.9

El grafico que se muestra en la ilustración 11 muestra el promedio de la composición de los RSD realizado en los 4 estudios (tabla 3). El material que posee el primer lugar de abundancia es la materia orgánica, que alcanza el 58.9%, le sigue el papel y cartón con un promedio de 19%, posteriormente los plásticos con un 6.3%.

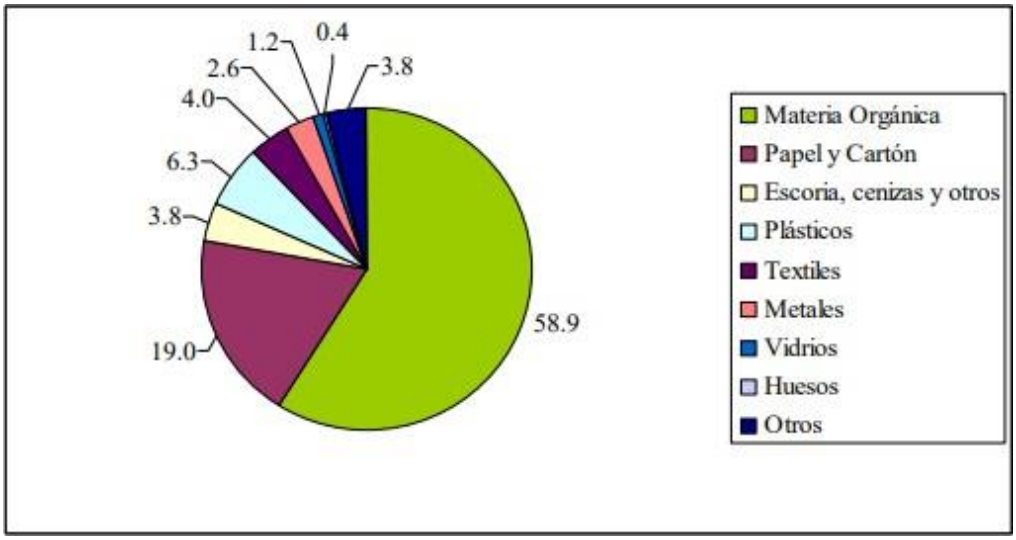


Ilustración 11 Grafico de la composición de los RSD (Sepulveda Quiroz, 2011)

Una gran parte de los residuos sólidos, no son de fácil degradación para el medio ambiente, por lo que, al llegar a su disposición final, pasaran incluso más de 100 años antes que estos sean reducidos, acortando la vida útil de los rellenos sanitaros.

Debido al creciente aumento de producción de RS, en la región metropolitana, así como en todo el país, urgen medidas que tengan foco en la reutilización y/o mejor disposición de estas mismas. Si bien hace 20 años la totalidad de los RS tenían como destino final un vertedero, hoy en día se logró que su mayoría tenga como disposición final un relleno sanitario, los que cumplen una serie de exigencias técnicas y sanitarias (CONAMA, 2005).

Sin embargo, además de resolver ambiental y sanitariamente el acopio final de los residuos es necesario intervenir la gestión de residuos. Una de las maneras más simples de intervenir el sistema de gestión de RSD, es incentivando el reciclaje y reutilización de

residuos. Entendiendo esta situación se han implementado diferentes iniciativas, de agentes privados y gubernamentales, en que se estimula el reciclaje de varios materiales, como el vidrio, plásticos, papeles, cartones, botellas plásticas y otro tipo de materiales, acercando a todos los miembros de la comunidad sistemas de recuperación en diferentes lugares como: supermercados, mall, y otros lugares de masiva concurrencia y fácil acceso (Sepulveda Quiroz, 2011). Además, diversas propuestas para disminuir el consumo de plástico se han convertido en ley, la última es la conocida "ley de prohibición de bolsas plásticas", que prohíbe a la industria del comercio entregar bolsas plásticas.

Una encuesta (Emol, 2017) de por qué no reciclan los Chilenos arrojo los siguientes resultados:

- Falta de costumbre: 32,7%
- Falta de lugares para hacer reciclaje: 26,9%
- Comodidad: 12,4%
- Falta de información: 9,6%
- Falta de tiempo: 8,1%

4.4. Contexto Operacional

La utilización de baños secos es un tema controversial, debido a todos los riesgos que presentan. A pesar de esto hay ocasiones en las cuales no queda otra alternativa, existe una lista de situaciones en las cuales, si es recomendable utilizar este sistema (Christian Rieck, 2011). El contexto operacional para el cual se diseñará el sistema de saneamiento se encuentra dentro de la lista mencionada anteriormente, estas son:

- Falta de agua o un alto costo para la obtención de esta, hacen que la utilización de baños convencionales no sea razonable o incluso imposible de implementar.
- Condiciones del lugar en el cual las letrinas no pueden ser vaciadas con frecuencia y que la limitación de espacio no permite una continua construcción de estas.
- Condiciones del lugar en el cual las letrinas no pueden ser construidas lo suficientemente lejos de las viviendas.
- Escenarios en donde no existe una conexión a una red de aguas servidas en donde sean tratadas.

El contexto operacional en el cual será utilizado el prototipo propuesto tiene 2 factores influyentes. El primero, la cantidad de heces que se producen, es de suma importancia ya que a partir de este se definirá el tamaño y el volumen de material fecal que deberá ser

procesado. El segundo, de igual importancia, es el contexto climático, a partir del cual se deben definir cualidades técnicas del diseño.

4.4.1. Producción de heces

La cantidad de heces a tratar depende únicamente de quienes, y cuantas personas utilicen el baño. Cada persona elimina alrededor de 0,12 a 0,4 [kg] de heces al día dependiendo en la dieta que tengan (alta en proteínas o basada en vegetales) y en la cantidad de comida que consuman. Los valores más altos medidos fueron en Kenia donde se encontraron valores de hasta 0,53 [kg/persona/día] (Christian Rieck, 2011). En caso de no existir una medición concreta de la cantidad de heces eliminada por personas en una comunidad, se recomiendo utilizar la tabla que se muestra a continuación.

Tabla 5 Valores promedios de heces generadas (Christian Rieck, 2011).

Parámetro	**Unidad**	**Heces**	
		Dieta alta en proteínas	Dieta Vegetariana
Masa húmeda	Kg/persona/día	0.12	0.4
	Kg/persona/año	44	146
Masa Seca	Kg/persona/año	9	29
Contenido de humedad	Porcentaje (%)	80	-
Nitrógeno	g/persona/año	550	-
Fosforo	g/persona/año	183	-

Luego del proceso de deshidratación que ocurre en la primera fase en el baño seco, el contenido de agua se reduce entre un 20-40% y deja una masa anual de 20-35 [kg] por persona con dietas alta en proteínas y entre 70-110 [kg] para personas con dietas vegetarianas.

4.2. Contexto climático

Precipitaciones

A continuación, se presentan las precipitaciones obtenidas en la página del instituto nacional de estadísticas.

Tabla 6 Precipitaciones 2015 enero-junio. Confección propia con datos del INE (INE, 2016)

Estación	Ubicación	Precipitaciones [mm]					
		Enero 2015	Febrero 2015	Marzo 2015	Abril 2015	Mayo 2015	Junio 2015
Punta Ángeles	Valparaíso	0,0	0,2	4,4	0,0	0,7	0,0
Jardín Botánico	Viña del mar	-	-	4,7	-	-	-

Tabla 7 Precipitaciones 2015 julio-diciembre. Confección propia con datos del INE (INE, 2016).

Estación	Ubicación	Precipitaciones [mm]					
		Julio 2015	Agosto 2015	Septiembre 2015	Octubre 2015	Noviembre 2015	Diciembre 2015
Punta Ángeles	Valparaíso	44,0	141,2	65,0	79,0	0,7	0,0
Jardín Botánico	Viña del mar	61,6	209,3	84,5	103,6	-	-

Tabla 8 Precipitaciones 2016 enero-junio. Confección propia con datos del INE (INE, 2017).

Estación	Ubicación	Precipitaciones [mm]					
		Enero 2016	Febrero 2016	Marzo 2016	Abril 2016	Mayo 2016	Junio 2016
Punta Ángeles	Valparaíso	1,7	0,0	0,2	95,9	48,5	46,1
Jardín Botánico	Viña del mar	-	-	-	-	-	-

Tabla 9 Precipitaciones 2016 julio-diciembre. Confección propia con datos del INE (INE, 2017).

Estación	Ubicación	Precipitaciones [mm]					
		Julio 2016	Agosto 2016	Septiembre 2015	Octubre 2016	Noviembre 2016	Diciembre 2016
Punta Ángeles	Valparaíso	90,7	0,2	2,2	11,3	0,0	15,3
Jardín Botánico	Viña del mar	-	-	-	-	-	-

Se puede observar que la estación “Jardín Botánico” no entrego los datos de precipitación el 2016, se desconoce la razón, sin embargo, según los datos entregados el 2015, se puede observar que las precipitaciones en Viña del Mar son siempre mayores con respecto a Valparaíso, pero nunca las superan por más de un 50%.

Según lo anterior las precipitaciones máximas en Valparaíso fueron 141,2 y 95,9 en el 2015 y 2016 respectivamente. En Viña del Mar suponiendo una variación máxima del 50% en esta estación con respecto a la de Valparaíso, las precipitaciones máximas serian 209,3 y 143,85 el 2015 y 2016 respectivamente.

Temperatura

Tabla 10 Temperatura media mensual 2015 enero-junio. Confección propia con datos del INE (INE, 2016) y meteored (Meteored, s.f.).

Estación	Ubicación	Temperatura Media Mensual (°C)					
		Enero 2015	Febrero 2015	Marzo 2015	Abril 2015	Mayo 2015	Junio 2015
Punta Ángeles	Valparaíso	17,1	16,9	17,8	15,8	13,5	12,7
Aeropuerto Rodelillo	Viña del mar	17	18	19	18	15	15

Tabla 11 Temperatura media mensual 2015 julio-diciembre. Confección propia con datos del INE (INE, 2016) y meteored (Meteored, s.f.).

Estación	Ubicación	Temperatura Media Mensual (°C)					
		Julio 2015	Agosto 2015	Septiembre 2015	Octubre 2015	Noviembre 2015	Diciembre 2015
Punta Ángeles	Valparaíso	11,8	13,2	13,9	14,0	15,1	16,4
Aeropuerto Rodelillo	Viña del mar	12	14	15	15	17	18

Tabla 12 Temperatura media mensual 2016 enero-junio. Confección propia con datos del INE (INE, 2017) y meteored (Meteored, s.f.).

Estación	Ubicación	Temperatura Media Mensual (°C)					
		Enero 2016	Febrero 2016	Marzo 2016	Abril 2016	Mayo 2016	Junio 2016
Punta Ángeles	Valparaíso	19,4	17,9	16,9	15,5	14,6	11,6
Aeropuerto Rodelillo	Viña del mar	20	19	16	15	14	14

Tabla 13 Temperatura media mensual 2016 julio-diciembre. Confección propia con datos del INE (INE, 2017) y meteored (Meteored, s.f.).

Estación	Ubicación	Temperatura Media Mensual (°C)					
		Julio 2016	Agosto 2016	Septiembre 2016	Octubre 2016	Noviembre 2016	Diciembre 2016
Punta Ángeles	Valparaíso	11,8	13,2	13,9	14,0	15,1	16,4
Aeropuerto Rodelillo	Viña del mar	-	-	-	17	19	19

De las tablas anteriores se observa que las temperaturas medias nunca superan los 20°C y tampoco descienden por debajo de los 10 °C.

Humedad relativa

Se presentan los datos de humedad relativa en Valparaíso

Tabla 14 Datos humedad relativa 2017. Confección propia con datos de meteored.

Ubicación	Humedad relativa promedio (%)					
	Enero 2017	Febrero 2017	Marzo 2017	Abril 2017	Mayo 2017	Junio 2017
Valparaíso	78	80	81	83	83	84

Tabla 15 Datos de humedad relativa 2017. Confección propia con datos de meteored.

Ubicación	Humedad relativa promedio (%)					
	Julio 2017	Agosto 2017	Septiembre 2017	Octubre 2017	Noviembre 2017	Diciembre 2017
Valparaíso	84	84	83	82	79	78

Según las tablas anteriores se observa que la humedad relativa promedio mensual máxima es de 84 % y la mínima de 78%.

5. Capítulo 3: Compostaje

El compostaje es una manera simple y tradicional de tratar los desechos orgánicos, que ha sido practicado por agricultores y jardineros de todo el mundo durante siglos. La materia vegetal y animal son puestas en pilas en espacios abiertos, donde la fermentación realizada por pequeños microorganismos realiza un trabajo largo y silencioso que dura alrededor de 6 meses a un año. Existen informes y datos históricos que hablan de como el compostaje ha logrado que en China los suelos se hayan mantenido fértiles durante 4000 años y que esto ha sido clave para mantener la alta cantidad de población que presenta este país. (McGarry, 1976)

El interés occidental en el compostaje fue impulsado por Sir Albert Howard, un Economista Botánico Inglés que fue contratado por el Gobierno Hindú a principios del Siglo XX, en donde tuvo la posibilidad de poner en práctica los métodos de reutilización de residuos orgánicos a través del compostaje que se utilizaban en China, en la India. Howard creó un método de compostaje que en esencia era el apilamiento de los residuos orgánicos, agregándole astillas, aserrín y cenizas, los que eran volteados cada 20-30 días y regados de vez en cuando. Este método ha sufrido distintas variaciones a través del tiempo, en las que se logra un mejor proceso de aireación, mantener la humedad deseada, entre otras, todas estas con el fin de lograr un ambiente ideal para que los microorganismos encargados de realizar la fermentación puedan sobrevivir y reproducirse.

Posteriormente la utilización del compostaje para tratar los residuos orgánicos y lodos residuales de plantas de tratamiento fue creando mayor interés en el área científica. Durante los años 50, se realizaron estudios básicos e investigaciones en la Universidad de california. Mientras tanto en Europa el compostaje de residuos municipales se desarrolló rápidamente con un total de 200 plantas en funcionamiento en la década de los 80 (Hillel I, Charles G, & DeAnne S, 1981).

El compostaje es un proceso biológico de degradación de distintos materiales de origen orgánico, ocurre naturalmente debido a microorganismos como bacterias y hongos, que se alimentan de los compuestos orgánicos en descomposición. Para que ocurra este proceso se deben tener las condiciones precisas en la que los microorganismos encargados de realizar el proceso pueden subsistir en el ambiente y reproducirse, las variables que influyen en estas condiciones son la temperatura, la humedad, el oxígeno y la dieta (balance Carbono/Nitrógeno).

En el libro "The humanure handbook" su autor habla de la composta como *"un grupo de residuos orgánicos o mezcla de residuos orgánicos y tierra que han sido apilados y se han sometido a una descomposición biológica aeróbica"* (Jenkins J. C., 1999)

El consejo de la composta agrega más valor aún a la descripción de la composta "*La composta es el producto estabilizado y desinfectado del compostaje; la composta es gran*

parte material descompuesto y está en proceso de convertirse en humus. La composta se asemeja poco al material del cual fue hecha". Esto último es de suma importancia, ya que da mayor tranquilidad a la hora de compostar heces.

Generalmente se distingue el compostaje en dos tipos según la temperatura que alcance, también se puede distinguir en compostaje aeróbico y anaeróbico (relacionadas al nivel de oxígeno). Este trabajo se enfocará en el compostaje mesófilo y termófilo o de baja y alta temperatura respectivamente. De acuerdo con lo anterior según la temperatura que exista, habitarán bacterias de distinta índole en el compost, unos que se activan con bajas temperaturas (nunca menores a 0° [C]) y otros a temperaturas más altas (mayores a 45° [C]), estas son llamadas bacterias mesofílicas y termofílicas respectivamente.

Como se habló en el capítulo 2 para obtener una higienización efectiva deben ocurrir ciertos procesos en los cuales influyen primariamente la temperatura y el tiempo. En el compostaje termofílico se obtiene una mayor higienización ya que las altas temperaturas son una de las encargadas de eliminar los agentes patógenos presentes en las heces, más adelante en este capítulo se mostrará que bastaría con mantener una temperatura de 55° [C] durante 25 horas para un saneamiento correcto, y en el compostaje a alta temperatura se pueden lograr temperaturas medias de 55° [C] sin mayores problemas, se abordara este tema con mayor profundidad en este capítulo más adelante. En general, el compostaje es un proceso natural controlado por los humanos que se lleva a cabo gracias a la acción de microorganismos que degradan y transforman los materiales orgánicos en presencia de oxígeno. En caso de lograr un compostaje de manera correcta, aparecen bacterias termófilas que son responsables de generar una cantidad de calor considerable.

En el libro de Hillel I *"Apropiate Technology for Water Supply and Sanitation Night-Soil Composting"* se menciona que a pesar que no se logren altas temperaturas en la totalidad de la pila de composta, debido a que la parte de la pila que está en contacto con el ambiente pierde calor, existe evidencia de que otros factores biológicos contribuyen a la inactivación de algunos organismos patógenos y de esta manera reduce la posibilidad de supervivencia de estos, inclusive en los lugares de la composta que no alcanzan una alta temperatura.

5.1. Compostaje Termófilo (aeróbico)

El compostaje termófilo o a alta temperatura, como lo dice su nombre sucede cuando las temperaturas se elevan debido a los microorganismos o "caldo microbiano" (Bacterias, hongos, protozoos y actino bacterias) que se desarrollan en estas condiciones. Los organismos termófilos pueden generar un ambiente que destruye a los organismos patógenos que existen en el compost, convirtiendo este en una mezcla sin olor, de aspecto agradable para el ser humano y seguro para su utilización en el medio ambiente, la mezcla

resultante tiene un aspecto totalmente distinto al estiércol crudo. Para objeto de este trabajo se apuntará a conseguir este tipo de compostaje, ya es el que logra un saneamiento de mayor efectividad.

Expertos en la materia plantean lo siguiente: "*A partir de un estudio de la literatura del tratamiento del estiércol crudo, se puede concluir que el único método a prueba de fallas para el uso del estiércol crudo que permite efectiva y esencialmente la inactivación total de patógenos, incluyendo a los helmintos [lombrices intestinales] más resistentes como los huevos de Áscaris y cualquier otro patógeno bacteriano o viral, es el tratamiento a una temperatura de 55° a 60°C durante varias horas*" (Shuval, 1981). En este libro los expertos se refieren específicamente al calor de la pila de composta.

Los organismos termofílicos viven y se reproducen con temperaturas mayores a los 45° C, sin embargo, solo algunos grupos de organismos pueden mantener su actividad con temperaturas mayores a 65° C (Termófilas extremas). A pesar de esto, aun por sobre los 65° C existen actividades beneficiosas para la pila de composta, aun hasta los 90° C existen microorganismos que trabajan en la descomposición de materia orgánica (Hillel I, Charles G, & DeAnne S, 1981). Alcanzar estas temperaturas puede ser extremadamente beneficioso desde el punto de saneamiento ya que como se habló anteriormente los organismos patógenos son inactivados con temperaturas sobre los 55° C.

Este es un proceso que depende del calor que proviene de la descomposición y que gracias a esto alcanza altas temperaturas que pueden alcanzar hasta los 90° [C], las cuales deben durar un número de días que asegure una reducción segura de agentes patógenos. Para lograr altas temperaturas se debe obtener una alta tasa de descomposición, la cual requiere mucho oxígeno, es más, el peso total del aire necesario normalmente excede varias veces el del sustrato. En un compostaje exitoso, el pH del sustrato aumenta a 8-9, inclusive cuando el pH es bajo (~5). Este aumento de pH se debe principalmente al nitrógeno (N) orgánico, que se degrada en forma de amoniaco.

Cuando el amoniaco es expuesto a una alta temperatura, un alto pH y una aireación elevada, este se pierde. Estas pérdidas se pueden reducir en cierta parte aumentando la relación de carbono/nitrógeno (C/N) mediante el uso de aditivos altos en carbono, como es el caso de hojas, papeles o paja. Sin embargo, si la relación C/N es muy alta (mayor a 30-35) entonces se obtiene un efecto no deseable de ralentizar el compostaje, comprometiendo el proceso y evitando que se alcancen las temperaturas requeridas. Con relación de C/N que dan como resultado un compostaje exitoso, las pérdidas de nitrógeno (N) van en el rango de 10-50%. Si al compostaje de heces se le agrega además la orina la entrada de N en la composta aumenta de 3-8 veces y la mayoría del N de la orina se pierde, ya que está básicamente en forma de amoníaco, que escapa fácilmente del compostaje aerobio.

Finalmente, en la composta el 90-95% del nitrógeno (N) es nitrógeno orgánico. Este se vuelve disponible para las plantas solamente si es degradado adicionalmente en el suelo.

El nitrógeno remanente, 5-10% del total es amonio y nitrato, que están disponibles en las plantas.

El resto de los nutrientes (fosforo (P), potasio (K) y azufre (S)) se encuentran en altas cantidades en el compostaje. Sin embargo, si existen fugas de elementos lixiviados durante o después del proceso, debido a lluvias o sustrato líquido remanente, los nutrientes escurrirán con ellos y se perderán. Por lo tanto, es importante que en el manejo del compostaje se eviten el escape de lixiviados.

Estudios del compostaje con heces humanas y otros tipos de materiales orgánicos, fueron realizados en el norte de China por Scott y sus colaboradores en las universidades de Cheeloo y Yen Chin, con la finalidad de encontrar un mejor producto final en el proceso de compostaje, hablando desde el punto de vista de la calidad nutritiva para el suelo con fines agrícolas (Scott, 1952). Ambos métodos, aeróbico y anaeróbico fueron estudiados. Scott fue capaz de demostrar que, con compostaje aeróbico, en el cual, la materia fecal fue mezclada con materia vegetal en distintas proporciones y fue complementada con cenizas vegetales y excremento de caballo y vacas, se lograron temperaturas de 55°C-60°C que se mantuvieron durante al menos 3 semanas. Prácticamente todos los huevos de Áscaris fueron eliminados en conjunto con el resto protozoos, virus y bacterias. Scott agregó a su informe que los niveles óptimos de actividad microbiana se obtuvieron con humedades entre 50% y 60%. La presencia de moscas fue insignificante.

Se han identificado cepas de bacterias termófilas con temperaturas óptimas que van desde los 55°C hasta los 105°C, (Brock, 1986). Las cepas capaces de sobrevivir en ambientes con temperaturas extremadamente altas se llaman termófilos extremos o hiper-termófilos, y tienen temperaturas óptimas de 80°C o mayores. Estas bacterias se encuentran naturalmente en aguas termales, tierras tropicales, excremento humano, calentadores de agua y nuestra basura, por mencionar algunos lugares. La actividad biológica se detiene casi totalmente cuando la pila de composta alcanza los 82° C (Palmisano & Barlaz, 1996).

La tierra procedente de composta o abono puede contener de 1 a 10 tipos distintos de bacterias termófilas, mientras que otras tierras contienen el 0,25% o menos. Las tierras que jamás han sido cultivadas pueden estar libres de bacterias termófilas (Waksman, 1952).

Como se ha dado a entender en los párrafos anteriores, las bacterias termófilas son las responsables del calentamiento de las pilas de compostaje, lo cual puede ocasionar que estas se incendien. Si bien no existe una gran cantidad de casos en la cual pilas de composta se hayan incendiado, es importante tener precaución para que esto no ocurra. Casos conocidos son incendios desatados, en dos plantas de composta en USA – Schenectady y Cape May – debido a compostas demasiado secas (Jenkins J. C., 1999).

Es importante realizar la interrogante acerca del lugar de donde proviene la energía que se utiliza para calentar la pila de compostaje. La respuesta a esta pregunta nos lleva a una de las partículas más pequeñas que se conoce, el electrón. La transferencia de electrones de la glucosa al oxígeno, en un proceso de óxido-reducción, se llama oxidación aeróbica de la glucosa, en la cual mientras el oxígeno es reducido, el carbono es oxidado produciendo partículas de dióxido de carbono. Este es un proceso metabólico que realizan los microrganismos termófilos.

$$\overbrace{C_6H_{12}O_{6_{aq}}}^{-24e^-} + 6O_{2_g} \rightarrow 6CO_{2_{aq}} + 6H_2O_l \qquad \Delta G_R^o = -677 \text{ kcal / mol}$$

$$+24e^-$$

Ilustración 12 Ecuación oxido-reducción que ocurre en un compostaje termofílico.

Todos los organismos que usan el oxígeno para entregar electrones son llamadas aeróbicas. Todos los macroorganismos y muchos microorganismos son obligadamente aerobios. En otras palabras, sólo pueden utilizar el oxígeno para entregar electrones.

Sin embargo, el calor de la pila de composta es una característica muy aclamada del compostaje a la cual se le da demasiado peso en ocasiones. Se puede llegar a creer que es únicamente el calor de la composta la que destruirá a los patógenos, por lo que buscarán alcanzar la mayor temperatura posible. Esto, no es totalmente beneficioso para la pila de composta, de hecho, la composta puede sobrecalentarse y cuando lo hace, destruye la biodiversidad de la comunidad microbiana. Como lo plantea Harold Gotaas, *"Los estudios han indicado que la temperatura no es el único mecanismo involucrado en la destrucción de patógenos y que el uso de temperaturas muy elevadas podría incluso, constituir una barrera para el saneamiento efectivo bajo ciertas circunstancias"* (Gotaas, 1956).

Una pila de composta demasiado caliente puede destruir su propia comunidad biológica y dejar una masa de material orgánica que requerirá ser poblada nuevamente para continuar con el proceso de transformación. Una composta esterilizada de esta manera es más propensa a ser colonizada por organismos no deseados, como la *Salmonella*. Investigadores han demostrado que la biodiversidad de la composta actúa como barrera contra la colonización de microorganismos no deseados.

5.2. Compostaje mesofílico (anaeróbico)

Como ha sido descrito anteriormente el compostaje puede ser definido como un proceso de degradación de residuos orgánicos a compost, realizada por microorganismos en procesos que suceden constantemente en la naturaleza.

En distintas partes del mundo, se han practicados diferentes formas de compostaje que involucran la descomposición anaeróbica con el paso del tiempo. Sin embargo, la descomposición anaeróbica, normalmente está relacionada con la aparición de gases, olores desagradables y normalmente ocurre a temperaturas ambiente, en donde se desarrollan microorganismos que viven en temperaturas que van desde los 8° a 45° C.

El material orgánico no puede ser completamente desintegrado en el compostaje anaeróbico, debido a que no ocurre el proceso de oxidación, que solo puede ser llevado a cabo por microorganismos aeróbicos.

El compostaje a bajas temperaturas es un tipo de descomposición a temperaturas ambientes, es considerado una variante a baja temperatura del compostaje termofílico y puede ser realizado de manera aeróbica o anaeróbica. Además, los productos finales de este proceso, las pérdidas de nitrógeno que van entre un 10-50% y nivel de pH final también son los mismos que un compostaje termofílico. Las principales diferencias en estos procesos de compostaje son dos: primero es la necesidad adicional de sustrato fácilmente degradable (menor tamaño) en el compostaje a alta temperatura, así como de entradas extensivas de operación y mantenimiento es menor y segundo es que la higienización alcanzada gracias a las altas temperaturas no ocurre en el compostaje mesofílico. En resumen, el compostaje mesofílico tendrá un menor costo de instalación y operación, pero no se obtendrán los mismos resultados que en uno termofílico.

Lo descrito anteriormente de la descomposición aeróbica en gran medida tiene lugar también cuando el proceso se lleva a cabo en el suelo, como es el caso del arbor loo y fosa alterna. Sin embargo, la pérdida de amoniaco puede ser menor en estos procesos, comparada con el compostaje sobre el suelo, debido a que una parte del amoniaco podría dispersarse en el suelo circundante, posiblemente ser usado por las plantas o simplemente ser disuelto en el suelo mojado. Si algún cultivo es plantado encima de un arbor loo o fosa alterna, esto será sumamente ventajoso. El cultivo requiere humedad para sobrevivir, y esta, al subir, arrastra consigo el amoniaco hacia arriba que es disuelto en el suelo mojado y utilizado por la planta.

Como lo dice su nombre, el compostaje anaeróbico es aquel en el cual el proceso metabólico de los microorganismos presentes ocurre sin presencia de oxígeno. A continuación, se presenta la reacción de la glucosa en ausencia de oxígeno.

$$\overbrace{C_6H_{12}O_{6aq}}^{+12e^-} \rightarrow 3CH_{4_g} + 3CO_{2_{aq}} \qquad \Delta G_R^o = -96 \text{ kcal / mol}$$

$$-12e^-$$

Ilustración 13 Reacción química en el proceso metabólico de organismos mesófilos.

Dentro de la familia de los microbios, algunos pueden utilizar otros compuestos para entregar electrones. Los más utilizados son los compuestos inorgánicos oxidados, dentro de los cuales se encuentra el nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-) y el sulfato (SO_4^{2-}). El dióxido de carbono también puede ser utilizado para entregar electrones, y normalmente es reducido a metano. Los microbios que utilizan estos compuestos en su metabolismo son llamados anóxicos. El proceso de oxidación de la glucosa, usando el sulfato para entregar electrones, ocurre de la siguiente forma:

$$\overbrace{C_6H_{12}O_{6_{aq}}}^{-24e^-} + 3SO_{4_{aq}}^{=} + 6H_{aq}^{+} \rightarrow 6CO_{2_{aq}} + 6H_2O_l + 3H_2S_{aq} \qquad \Delta G_R^o = -107 \text{ kcal / mol}$$

$$+24e^- \qquad (pH = 7)$$

Ilustración 14 Reacción química que ocurre en el proceso metabólico de anoxicos.

Es importante destacar que en estos procesos hay menos energía disponible en comparación con los procesos aeróbicos. Los microorganismos buscarán siempre utilizar aquellos compuestos que tengan una mayor cantidad de energía disponible. El orden de uso es generalmente oxígeno, nitrato, nitrito y sulfato. Esto son buenas noticias ya que manteniendo un flujo de oxígeno apropiado en la composta se puede evitar la aparición del sulfato, que es el responsable de la generación de malos olores (T. Haug, 1993).

Al igual que en el compostaje aeróbico, las reacciones químicas que ocurren en el compostaje anaeróbico tienen relación con la capacidad de las moléculas para aceptar electrones. Para el caso de la ecuación exhibida en la ilustración 13, el dióxido de carbono entrega electrones al metano. El tipo de reacción se llama oxido-reacción, sin embargo, en estos casos, la glucosa, así como entrega también recibe electrones. A este tipo de reacciones se les llama fermentación, lo que significa “vida sin aire”. Existe alguna confusión con esta nomenclatura, debido a que se utiliza el mismo término en distintas disciplinas. En la industria, la mayoría de los procesos que se realizan con microorganismos

se les llama fermentación, a pesar de que se hagan en presencia de oxígeno. Sin embargo, en este trabajo se referirá a fermentación al proceso que ocurre en ausencia del oxígeno.

El Metabolismo mostrado en la ilustración 13 se ha simplificado, en realidad es un proceso de conversión de mayor complejidad. Esto se debe a que el proceso de conversión de las moléculas no ocurre únicamente en una fase, sino que es una serie de procesos que ocurre en distintos microorganismos. En palabras simples, los productos del metabolismo de un individuo sirven como alimento para un segundo, y así continúa. Existe una gran variedad de productos intermedios que se generan en este proceso, a continuación, se presenta una tabla con distintas reacciones químicas que ocurren en un proceso anaeróbico (T. Haug, 1993).

Tabla 16 Reacciones químicas que ocurren en procesos anaerobios. Confeccíon propia con datos de "The practical handbook of composting engieneering" (T. Haug, 1993)

Productos Finales	**Reacciones**	ΔG°_{R} **@ pH = 7 [kcal/mol]**
Acetato	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3CH_3COO^- + 3H^+$	-78.55
Propionato, acetato, H_2	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2COO^- + CH_3COO^- + 2H^+ + CO_2 + H_2$	-70.84
Butírico, H_2	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2 + 2H_2$	-61.7
Etanol	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$	-51.14
Lactato	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CG_3CH(OH)COO^- + 2H^+$	-49.5
Metanol	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 4CH_3OH + 2CO_2$	-21.42

Como se puede apreciar las reacciones anaeróbicas también liberan energía, sin embargo, a diferencia de las que ocurren en presencia de oxígeno, no entregan la energía suficiente como para calentar la pila de composta a una temperatura mayor a 40°-45°C.

Sin embargo, la temperatura no es el único agente capaz de destruir los patógenos de las heces. Es posible, eliminar o inactivar alguno de estos patógenos a bajas temperaturas si se deja transcurrir un largo periodo de tiempo. Observando el gráfico que se presenta en la ilustración 15 se puede concluir que se logra la inactivación de al menos el 50% de los patógenos presentes al dejar transcurrir el periodo de un año. Es acá donde el compostaje mesofílico entra como un posible tratamiento, ya que, en caso de no lograr un compostaje a altas temperaturas, ocurrirá de todas formas uno a bajas temperaturas.

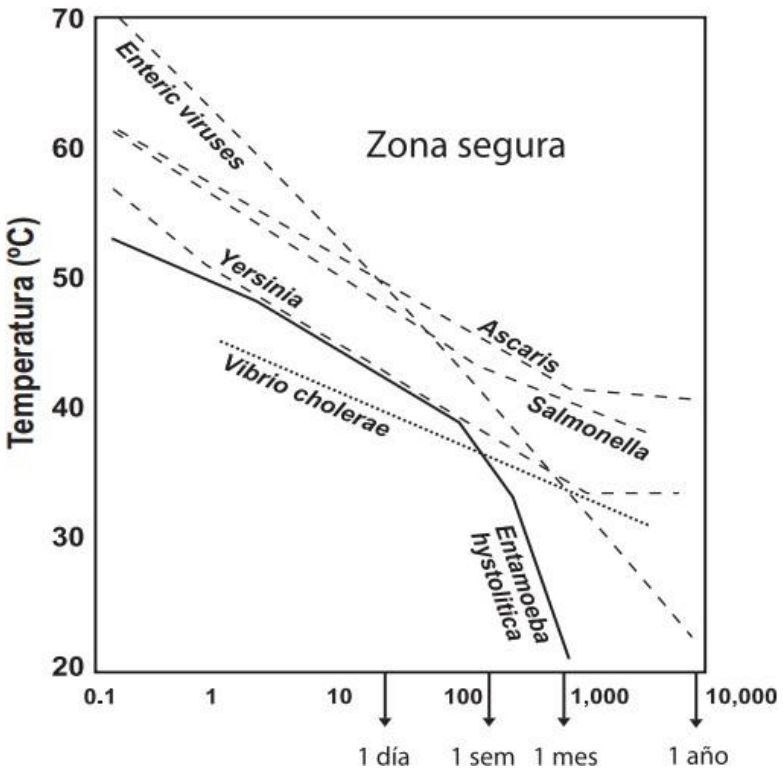


Ilustración 15 Grafico Temperatura Vs tiempo, inactivación de patógenos (Marta Alfaro V).

Además, se nombra la combinación de factores que pueden lograr una inactivación de los agentes patógenos:

- La competencia por comida de los microorganismos de la composta
- La inhibición y el antagonismo entre microorganismos
- Microorganismos depredadores
- El calor biológico que se genera
- Antibióticos producidos por los microorganismos.

Por ejemplo, cuando se cultivaron bacterias en una incubadora sin composta a 50°C y otra separada con composta a 50°C, las de la incubadora con composta, murieron después de solos 7 días, mientras que las de la incubadora sin composta, vivieron hasta los 17 días. Esto indica que no es simplemente la temperatura la que determina el destino de las bacterias patógenas. Los factores antes nombrados, afectan indudablemente la viabilidad de microorganismos patógenos. Para que estos factores ocurran se requiere una actividad microbiana tan amplia y diversa como sea posible (Jenkins J. C., 1999).

Incluso si no todas las partes del material compostado se someten a altas temperaturas internas en la pila de composta, el proceso de compostaje, aun así, contribuye inmensamente a la producción de material orgánico saneado. O, en las palabras de un experto en materia de compostaje, *"Las altas temperaturas alcanzadas durante el*

compostaje, aunado a la competencia y el antagonismo entre microorganismos (biodiversidad), reducen considerablemente el número de patógenos de plantas y animales. A pesar de que algunos patógenos resistentes puedan sobrevivir y otros puedan permanecer en secciones más frías de la pila de composta, aun así, el riesgo de enfermedad se ve reducido en gran medida" (Rynk, 1992).

Es importante entender que el compostaje mesofílico no trata acerca del reciclaje del estiércol crudo mediante su aplicación a la tierra, una práctica que debería evitarse cuando existan alternativas sanitarias como la composta. La composta lenta generalmente se lleva a cabo a temperaturas menores a la del cuerpo humano, que es de 37° [C]. Esto es lo que hacen la mayoría de los inodoros composta comerciales. Este tipo de composta elimina la mayoría de los organismos patógenos en un lapso de meses y eventualmente debería eliminar todos los patógenos que afectan al ser humano. La composta a baja temperatura produce un útil aditivo para la tierra que al menos resulta seguro para su uso en jardines ornamentales, para la horticultura y en huertos.

5.3. Microorganismos presentes en el compostaje

Las heces pueden ser recicladas naturalmente, simplemente al dárselas de comer a pequeños organismos que la utilizan como alimento. Estos han estado presentes durante millones de años esperando ser descubiertos por los seres humanos, lo que ocurrió hace solamente algunos cientos. Estos pequeños organismos son los encargados de convertir los excrementos en material para generar una tierra rica en nutrientes, el proceso de alimentar a estos microorganismos se llama compostaje, y el realizarlo de manera apropiada asegura la destrucción de los patógenos causantes de enfermedades para el ser humano presentes en las heces (Jenkins J. C., 1999).

Para empezar, será necesario, dividir el compostaje en distintas fases, ya que según ellas existen distintos tipos de microorganismos que son característicos de cada etapa. Se presenta a continuación lo descrito.

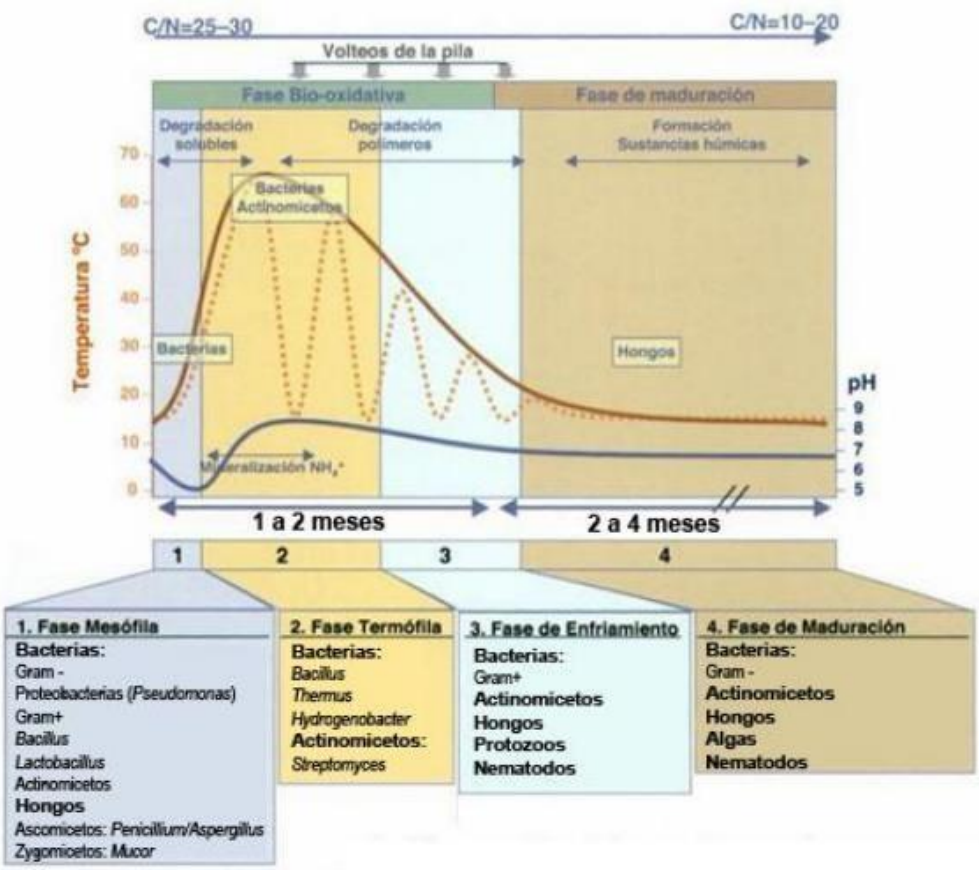


Ilustración 16 División del proceso de compostaje en 4 fases (Porras Hidalgo, 2011) .

A las cuatro etapas que se presentaron en la ilustración anterior se agrega una primera etapa de latencia, todas se describen a continuación.

- **Etapa de latencia**: Etapa presente en todo proceso biológico en el cual los microorganismos empiezan una adaptación con el medio. Este proceso ocurre hasta que existen cambios en el ambiente de los microorganismos, especialmente de temperatura, lo que puede ocurrir entre 24-72 horas. La prolongación de esta etapa se puede disminuir si se realiza una previa inoculación con suelo fértil, el cual puede mezclarse con los desechos a compostar en una razón de 0,5 Kg/m^2 sobre residuos extendidos en capas no superiores a los 20 [cm] (Porras Hidalgo, 2011).
- **Etapa Mesofila 1 (10-40° C)**: En esta etapa las bacterias mesófilas proliferan y empieza el proceso de nitrificación[4], además de otros compuestos producidos durante la respiración aeróbica. Entre estas bacterias mesófilas pueden figurar la E.coli y otras bacterias procedentes del tracto intestinal humano, pero pronto serán

[4] Proceso en el cual algunas bacterias, transforman el amonio en nitrato. Ocurre en dos fases, la primera es la transformación del amonio en nitrito y luego este es transformado en nitrato.

inhibidas por la temperatura. Una parte de la energía es usada por los microorganismos para su reproducción y crecimiento, el resto se libera en forma de calor. Esta etapa dura hasta que se alcanzan los 40° C.

- **Etapa termófila (40-80° C)**: Durante esta etapa los organismos mesófilos son sustituidos por termófilos. Las bacterias termófilas generan CO_2 hasta que se genera un ambiente anaeróbico, en el cual los organismos termófilos no son capaces de subsistir. Es por esto, que el volteo de la pila de composta ayudara a evacuar el dióxido de carbono generado y a agregar nuevas moléculas de oxígeno. Esta etapa puede durar hasta alcanzar los 70°C o más. La etapa de calentamiento sucede bastante rápido y puede durar tan solo algunos días, semanas o meses. Tiende a focalizarse en la parte superior de la composta de jardín, donde se agrega el material fresco continuamente (Jenkins J. C., 1999). La alta temperatura además sirve como ayuda para inactivar los microorganismos nocivos como el Enterovirus y Salmonella entre otros (Porras Hidalgo, 2011).
- **Etapa Mesófila 2 o de enfriamiento**: Luego de la fase termófila, las excretas y material orgánico parecerá haber sido digerido, pero no así el material voluminoso. Debido a distintos factores, como la reducción de alimento (carbono/nitrógeno), falta de aireación, entre otros, los organismos termófilos detienen su metabolismo y empieza una baja en la temperatura, que genera una segunda etapa mesófila. Los hongos empiezan a ganar terreno por sobre las bacterias y desintegran el sustrato. Otros organismos de mayor tamaño como lombrices, cochinillas o chanchos de tierra, empezaran a migrar a la composta en ayuda para digerir los materiales más gruesos y convertirlos en humus. Esta etapa ocurre alrededor de 2 o 3 meses iniciado el proceso de compostaje. Materiales orgánicos que requieren un mayor tiempo de descomposición como la lignina, se descomponen en esta etapa. Los hongos, son los principales encargados de degradar estos materiales.
- **Etapa de maduración o curación**: En esta última fase, los compuestos más resistentes terminan de degradarse. Aquí los organismos predominantes son los hongos, los cuales colonizan el material desde el entorno circundante. Algunas actino-bacterias o bacterias filamentosas que resistieron la etapa termófila, se preocupan de participar activamente en el proceso de humificación. Finalmente, la temperatura de la pila se equilibra con la del ambiente. Un proceso de curación largo, de alrededor de un año después de la fase termófila, proporciona una mayor seguridad para la destrucción de patógenos. Muchos patógenos que provienen del ser humano tienen un corto periodo de vida en la tierra, por lo que mientras más tiempo se le someta a una competencia microbiológica, más probable es que mueran (Jenkins J. C., 1999).

El conjunto de microorganismos presentes en la pila de composta puede afectar positiva o negativamente, dependiendo del tipo que sean. Los indeseados serán aquellos que están

asociados con el esparcimiento de una enfermedad o que ayudan a la generación de malos olores. Por el contrario, se espera que proliferen aquellos organismos que degradan la materia y que son capaces de aumentar la temperatura en la pila.

Los microorganismos presentes y/o predominantes en cada etapa dependen netamente de su capacidad de adaptación y supervivencia en el ambiente, siendo los principales factores; la temperatura, la presencia de oxígeno y la cantidad de nitrógeno disponible. A continuación, se presenta un gráfico de la variación de distintos tipos de organismos presentes en la pila de compostaje según el tiempo transcurrido.

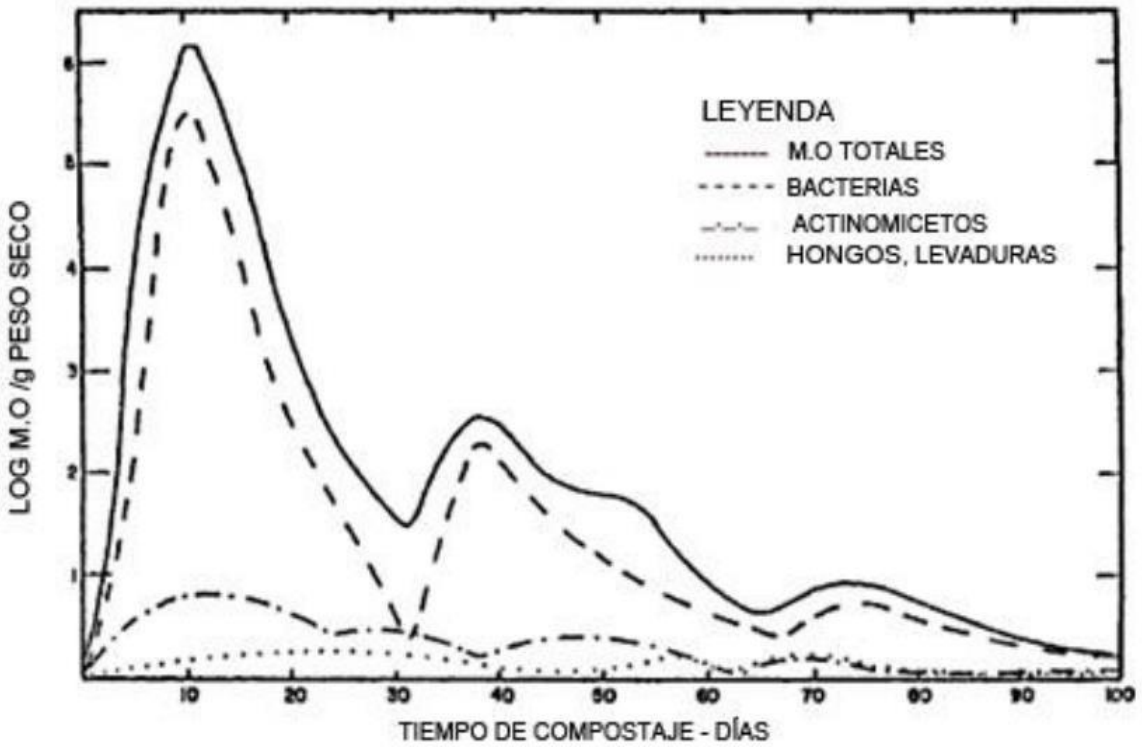


Ilustración 17 Cambio de la población microbiológica durante el compostaje, medido en log del número de microorganismos por gramo de peso seco (Porras Hidalgo, 2011).

La biodiversidad microbiana de la composta es importante para la descomposición del material orgánico. El calor en exceso puede ser negativo para lograrlo. Según un estudio realizado en una composta a altas temperaturas (80°C) solamente el 10% de los lodos residuales pudieron descomponerse en un periodo de 3 semanas, mientras que una composta que solo alcanzó los 50-60°C descompuso el 40% de los lodos (Jenkins J. C., 1999). Aparentemente la temperatura más baja, permite la proliferación de una biodiversidad microbiana mayor. Según Palmisano y Barlaz la temperatura optima de compostaje es entre 55°-59°C, siendo este rango de temperatura adecuado para la destrucción de patógenos (Palmisano & Barlaz, 1996). Un estudio llevado a cabo en 1955 en la Universidad Estatal de Michigan, indicó que la descomposición óptima ocurre a una

temperatura más baja aun, de 45°C (Rodale, 1960). Otros textos hablan de una biodegradación máxima que sucede entre 45°-55° C, mientras que la biodiversidad microbiana máxima requiere un rango de temperatura de 35°-45°C. Aparentemente aún existe cierto grado de flexibilidad en estos rangos de temperaturas y de cuáles son los óptimos para lograr una mayor biodiversidad microbiana. Aun así, el calor excesivo probablemente no es algo a lo que se le deberá poner mucha atención, siempre y cuando la temperatura no sobrepase los 70°C en la pila de composta.

5.3.1. Bacterias

La clasificación de las bacterias según su género y especie es una tarea particularmente difícil debido al pequeño tamaño que tienen. Esto significa que su morfología, no es suficiente para una clasificación exacta. Los nuevos tipos de clasificación toman en cuenta el tipo de nutrición, respiración, respuestas a pruebas químicas, composición del ADN y otros factores (T. Haug, 1993). Por lo mismo, en este trabajo no se profundizará en la clasificación de estas, si no, se dará a conocer cuál es su papel en el compostaje. Sin embargo, para tener una idea de los tipos de bacterias se presenta una clasificación según; tipo de metabolismo, fuente de energía y productos que aportan al compostaje entre otros:

Tabla 17 Clasificación de bacterias. Confección propia con datos de "The practical handbook of composting engineering" (T. Haug, 1993)

Reductor	Oxidante	Productos	Fuente de carbono	Tipo de respiración	Categoría metabólica	Tipo
NH_4^+, NH_3	O_2	NO_2^-, H_2O	CO_2	Aeróbica	Litoautotrofo	Nitrificante
NO_2^-	O_2	NO_3^-	CO_2	Aeróbica	Litoautotrofo	Nitrificante
S^{2-}, H_2S	O_2	SO_4^{2-}	CO_2	Aeróbica	Litoautotrofo	Oxidante de azufre
Fe^{2+}	O_2	Fe^{3+}, H_2O	CO_2	Aeróbica	Litoautotrofo	Hierro Oxidante
Fe^{2+}	NO_3^-	Fe^{3+}, N_2, H_2O	CO_2	Anoxica	Litoautotrofo	Hierro Oxidante
H_2	O_2	H_2O	CO_2	Aeróbica	Litoautotrofo	Bacteria de hidrogeno
H_2	CO_2	CH_4, H_2O	CO_2	Anaeróbica	Litoautotrofo	Reductor de CO_2
Orgánico	O_2	CO_2, H_2O	Orgánicos	Aeróbica	Organoheterótrofo	Muchas Bacterias

Orgánico	NO_3^-	CO_2, H_2O, N_2	Orgánicos	Anoxica	Organoheterótrofo	Bacteria desnitrificante
Orgánico	SO_4^{2-}	CO_2, H_2O, H_2S	Orgánicos	Anoxica	Organoheterótrofo	Azufre reductor

El metabolismo de las bacterias es el encargado de catalizar las reacciones químicas que suceden dentro de una pila de composta. Debido a su pequeño tamaño tienen una proporción de superficie/volumen bastante alto, esto permite una transferencia rápida del sustrato soluble al interior de la célula, lo que a su vez significa un proceso metabólico más rápido. Esto significará una predominancia de bacterias por sobre otros microorganismos de mayor tamaño en sustratos acuosos.

Existe una cantidad inimaginable de bacterias y actino-bacterias que pueden ser aisladas en una pila de composta. La identificación de estas tiene un amplio interés académico e incluso se han realizado algunos estudios para aprender más acerca de las mismas (T. Haug, 1993). Se sabe que en un principio de la etapa de compostaje predominan las bacterias mesofílicas, y cuando se generan condiciones que hacen subir la temperatura estas comienzan a disminuir en número y dan paso a la aparición de las bacterias termófilas, las que trabajan con temperaturas mayores a 40° C.

Algunos actinomicetos termófilos, así como bacterias mesófilas, producen antibióticos que muestran una potencia considerable contra otras bacterias y aun así exhiben una baja toxicidad al ser probadas en ratones. Hasta la mitad de las cepas termófilas pueden producir compuestos antimicrobianos, algunos de los cuales han demostrado su eficacia contra la *E. coli* y la *Salmonella.* Una cepa termófila con una temperatura de crecimiento óptima de 50°C produce una sustancia que *"ayudó notablemente en la curación de heridas superficiales en exámenes clínicos conducidos en humanos. Los productos también estimularon el crecimiento de una variedad de tipos de células, incluyendo varios cultivos de tejidos animales y vegetales y algas unicelulares"* (Jenkins J. C., 1999). Teóricamente, la producción de antibióticos de los microorganismos de la composta asiste en la destrucción de patógenos humanos que pudieran haber existido en el material orgánico antes de ser compostado.

5.3.2. Hongos

La gran mayoría de los hongos son saprofitos y descomponen materia orgánica en el suelo y ambientes acuosos. Ellos son una parte importantísima para el ciclo de vida que existe en la tierra, pues son los responsables de la destrucción de la materia orgánica en la

tierra y de esta forma reciclar los nutrientes que esta contiene. Para su clasificación se pueden dividir en dos grupos en general; moho y levadura. Los que se encuentran en el grupo del moho son completamente aeróbicos, mientras que en los presentes en el grupo de la levadura pueden ser tanto aerobios como anaerobios.

Los hongos al igual que las bacterias, se alimentan de los mismos tipos de sustratos, por lo que la competencia entre estas es muy común. Se diferencian, sin embargo, debido al tipo de célula eucariota que presentan los hongos, generalmente de un mayor tamaño y a sistemas de reproducción más sofisticados. Ambos pueden usar enzimas hidrolíticas para disolver el sustrato y alimentarse. Sin embargo, los hongos se ven menos afectados por niveles bajos de humedad, estos pueden crecer sustratos secos y absorber la humedad que hay presente en el ambiente. Pueden sobrevivir en un amplio rango de pH y generalmente tienen un requerimiento de nitrógeno menor que las bacterias. Estas cualidades les dan a los hongos ventajas por sobre las bacterias en la subsistencia.

Ross E. McKinney, logró una formulación empírica aproximada para la composición de un tipo de hongo (Aspergillus Niger) la cual es $C_{10}H_{17}O_6N$ (McKinney, 1962). Asumiendo que esta composición química como representativa, entran en evidencia los bajos niveles de nitrógeno requeridos por este tipo de organismos, por lo tanto, se hace presente la ventaja por sobre las bacterias en ambientes con bajos niveles de nitrógeno)).

Existen más de 80.000 tipos de hongos conocidos hasta el día de hoy, sin embargo, para el propósito de este trabajo no es necesario entrar en detalles en su clasificación. Una gran cantidad de especies de hongos pueden ser identificadas tanto en la etapa mesofílica como termofílica (Kane & Mullins, 1974). Kane y Mullins indicaron que 304 tipos de hongos fueron identificados. A continuación, se muestra un gráfico del tamaño de las colonias de los tipos de hongos según su género versus la temperatura existente.

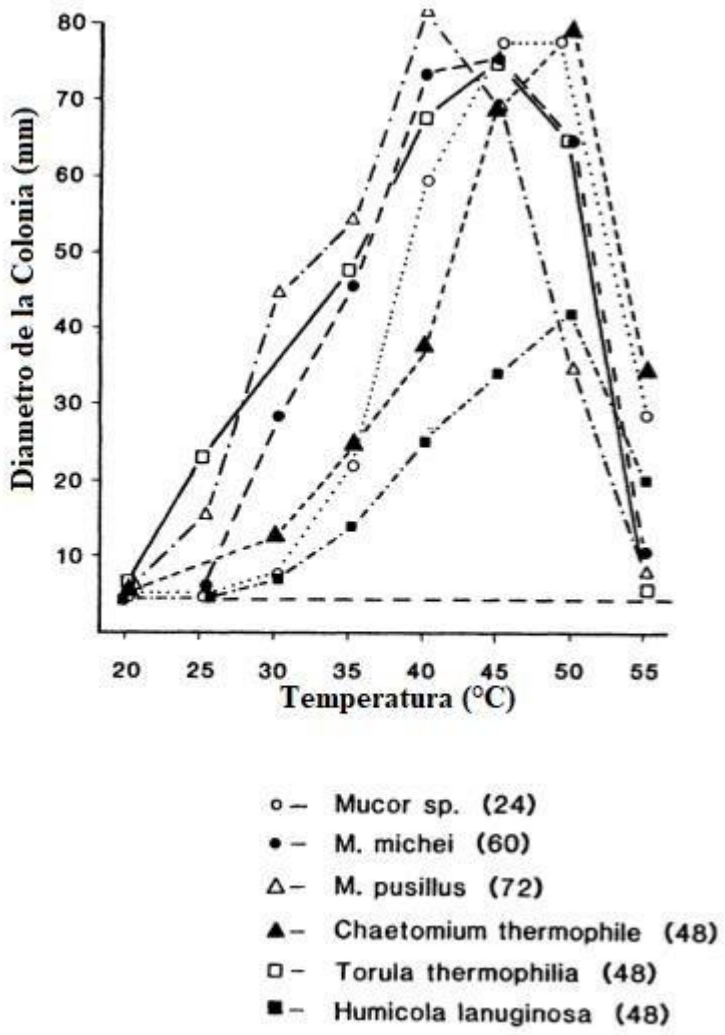


Ilustración 18 Grafico del diámetro de colonia vs temperatura de distintos hongos (Kane & Mullins, 1974).

A pesar de esto, la importancia de cada tipo de hongos en el compostaje no está dado por la cantidad que se encontró en la pila de compostaje. Los hongos termofílicos se observan en toda la fase del compostaje, incluyendo en la primera fase mesófila.

En general, la presencia de hongos en la pila de composta se ve afectada por; la calidad del sustrato, temperatura, cantidad de oxígeno, pH, contenido de humedad y en algunos casos el tipo de sistema que existe para dar vuelta la pila. Durante el proceso se pueden alcanzar temperaturas en la cual los hongos son inactivados debido al calor, la mayoría de los hongos termofílicos parecieran no seguir creciendo con temperaturas mayores a 60° C (T. Haug, 1993). De esta forma se concluye que altas temperaturas, acidez del sustrato y falta de oxígeno, pueden ser factores que limiten el crecimiento de colonias de hongos en la pila de compostaje.

5.3.3. Otros Microorganismos

Si bien la mayoría de los microorganismos que viven en una pila de composta se trata de hongos y bacterias, no corresponde hablar de ellos como los únicos que ahí habitan. Algas, protozoos y algunos virus también se encuentran presentes. Las algas lo hacen tanto en forma eucariótica como procariota. Tienen un metabolismo fotosintético debido a su contenido de clorofila, además por lo mismo son capaces de liberar oxígeno en la pila. Sin embargo, debido a esto no cumplen un rol importante en la descomposición de materia orgánica.

Los virus son partículas carentes de células, que portan la información genética para su reproducción, pero no los elementos necesarios para entregar esta información o metabolizar algún otro tipo de compuesto. Es por esto que se ven en la obligación de actuar como agentes parásitos, usando células como anfitrión para proveerse de los elementos necesarios para su reproducción. Son en general extremadamente pequeños, variando entre 0,01 a 0,25 [µm]. En general, cada virus tiene un tipo de célula específica a la cual atacar. La mayor preocupación acerca de los virus, es la capacidad que tienen para transmitir enfermedad a plantas, animales y personas, por lo que su estudio se enfoca principalmente en métodos que permitan su destrucción o inactivación.

Por su parte los protozoos son organismos eucariontes órgano-heterotrofos, que presentan una tendencia a crecer en conjunto, logrando organización intermolecular. Si bien, tienen la capacidad de degradar materia orgánica en la pila de composta, este rol es básicamente realizado por las bacterias. En cambio, los protozoos sirven como carroñeros de las partículas orgánicas presentes e incluso de las bacterias. Su rol en el compostaje es menor (T. Haug, 1993). Debido a su capacidad de transmitir enfermedades como la disentería amebiana, giardiasis, malaria, enfermedad del sueño africana, y otras enfermedades causadas por estos organismos, la principal preocupación que existe en torno a ellos, al igual que los virus son los métodos de destrucción o inactivación.

5.4. Los 4 pilares del compostaje

Una combinación óptima de todos los factores, incluyendo el tamaño de las partículas, balance C/N, pH, oxigeno, humedad y temperatura, son esenciales para un compostaje y saneamiento efectivo. Numerosas investigaciones y estudios demuestran que, con la combinación correcta de estos factores, las pilas de composta pueden alcanzar rangos termofílicos por encima de los 60° C por periodo de entre 5 hasta 10 días. Por lo tanto, un compostaje realizado de manera correcta en el cual se alcancen rangos termofílicos provee un alto grado de seguridad con respecto a la destrucción de patógenos.

La proporción correcta de estos factores se puede alcanzar fácilmente, solo es necesario tener en cuenta los materiales que se le han agregado y los que se sumarán posteriormente, de esta forma, se puede hacer una estimación de las condiciones generales en la pila de compostaje.

Si bien se mencionan seis factores importantes para que ocurra un buen proceso de compostaje, cuatro de estos son los principales. Esto se debe a que una buena combinación de estos cuatro, logran una autorregulación de los otros dos. Por ejemplo, si a nuestra pila de compostaje se le agrega materia orgánica ácida, como radículas de pino, el mismo proceso de degradación y gracias a los microorganismos presentes, aumentará el pH de la pila de compost.

5.4.1. Relación Carbono/Nitrógeno

Las actividades de los organismos vivos presentes en la pila de composta mejoran con una nutrición apropiada. Es importante el tema de la nutrición ya que es el carbono disponible lo que sirve como fuente de energía para los microorganismos, por su parte, el nitrógeno es utilizado para la construcción del protoplasma. Mientras más alto sea el consumo de energía, mayor deberá ser la proporción C/N, sin embargo, existe un límite, el cual, según distintas bibliografías, varía entre 25-35 [C/N], en donde el rango con el que se logra un compostaje eficiente y efectivo es de 25-30 [C/N]. Un compost ya tratado y estabilizado, se caracteriza por tener una proporción C/N entre 10-20 [C/N], dependiendo de la materia original de la cual haya sido compuesto el compostaje.

En el compostaje de jardín, en donde la mayoría de los materiales son residuos ricos en carbono, la falta de nitrógeno es un problema que considerar. Una de las recomendaciones que hay para adherir nitrógeno a la pila de composta es el excremento. Por lo tanto, para el caso de este trabajo, la falta de nitrógeno en la pila de composta no debería significar una dificultad, y en caso de que así sea, adherir la orina que se recolecta en los baños secos puede ser una solución.

Las pérdidas de nitrógeno son inevitables, sin embargo, se debe procurar que estas sean las menores posibles. Stone (1949) realizó un informe de los resultados de la reutilización de la “tierra de noche” en plantaciones de arroz en China, en donde se realiza un tratamiento de compostaje mezclando heces con residuos de las mismas plantaciones de arroz y basura orgánica. En un principio la mezcla tenía un 90% de agua y se producía una descomposición anaeróbica, con grandes pérdidas de nitrógeno, al inicio la mezcla tenía un 0,62% de contenido de nitrógeno y solo un 0,26% cuando se finalizaba el proceso de compostaje. Stone logró controlar el compostaje al conseguir una digestión aeróbica y temperaturas de entre 60° C a 65° C en un clima húmedo y cálido de 22°C, en Shaoyang, China. En esta mezcla se obtuvieron mejores resultados, luego de 50 a 60 días de maduración se realizó una medición de la composición química que arrojó los siguientes resultados (Hillel I, Charles G, & DeAnne S, 1981):

- Nitrógeno: 3,94%

- Fosfatos (P_2O_5): 1,50%
- Potasio (K_2O): 2,57%
- Humedad: 42%

Si hay demasiado nitrógeno, los microorganismos no pueden usarlo todo y el exceso se pierde en forma de amoniaco, un gas con olor intenso. La pérdida de nitrógeno debido al exceso de este en la pila de composta (baja proporción de C/N) puede llegar a más del 60%. Con una proporción C/N de 30 o 35 [C/N] , solo la mitad del uno por ciento del nitrógeno se perderá (Jenkins J. C., 1999).

En la práctica, la medición de la proporción de carbono/nitrógeno es bastante difícil de efectuar, por un lado, esta no será homogénea en toda la pila de composta, así como realizar esta medición cada vez que se agrega material a compostar no tiene mucho sentido. Lo anterior llevaría únicamente a que el proceso se vuelva costoso, tedioso y poco rentable. Para esto podemos utilizar mediciones ya realizadas, del porcentaje de nitrógeno y proporción C/N de los residuos más comunes utilizados en el compostaje y que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 18 Proporción Carbono/Nitrógeno. Confección propia con datos de "The Humanure Handbook" (Jenkins J. , 1999).

Proporción Carbono/Nitrógeno					
Material	%N	Prop. C/N	Material	%N	Prop. C/N
Lodo residual activado	5-6	6	Tréboles Rojos	1.8	27
Amaranto	3.6	11	Cáscaras de arroz	0.3	121
Pulpa de manzana	1.1	13	Aserrín podrido	0.25	200-500
Sangre	10-14	3	Algas de mar	1.9	19
Pan	2.10	--	Lodo residual del drenaje	2-6.9	5-16
Col	3.6	12	Abono de borrego	2.7	16
Cartón	0.1	400-563	Residuos de camarón	9.5	3.4
Café molido	--	20	Corteza de madera suave	0.14	496
Estiércol de vaca	2.4	19	Madera suave	0.09	641
Mazorcas de maíz	0.6-0.8	56-123	Paja	0.7	80
Tomate	3.3	12	**Orina**	15-18	0.8
Desechos de pavo	2.6	16	Zanahoria	1.6	27
Pasto cortado	2.4	12-19	Heno	2.10	--
Estiércol de gallina	8	6-15	**Estiércol de caballo**	1.6	25-30
Lechuga	3.7	--	Restos de carne	5.1	--
Mostaza	1.5	26	Periódico	0.6-0.14	398-852
Cebolla	2.65	15	Pimienta	2.6	15
Estiércol de cerdo	3.1	14	Papas	1.5	25
Aserrín crudo	0.11	511	**Estiércol Humano**	5-7	5-10

Como se puede observar, los excrementos son la fuente de nitrógeno más fácil de conseguir, es importante tener una noción de cuánto aportan. Por esta misma razón, las

heces y la orina, jamás se deben compostar sin otros ingredientes. Tienen un alto contenido de nitrógeno y no lo suficiente de carbono. Principalmente se puede agregar celulosa vegetal, la cual tiene un alto contenido en carbono. Es importante que si se agrega aserrín se tenga cuidado de que este esté limpio, en el sentido que la madera que la origina no haya sido expuesta a químicos.

5.4.2. Oxigeno

Una composta sana requiere el cultivo de bacterias aeróbicas y de esta manera asegurar una degradación termófila. Esto se puede lograr al agregar materiales voluminosos a la pila de composta, y de esta manera crear espacios intersticiales del aire.

Como se detalló anteriormente, la descomposición bacteriana puede ocurrir anaeróbicamente, pero es un proceso más lento y frio que además de producir malos olores, no asegura una destrucción total de los microorganismos patógenos. Los hedores anaeróbicos son causados por el sulfuro de hidrogeno, ácidos butíricos, ácidos acéticos, ácidos valeriánicos, alcoholes y compuestos fenólicos (Ingham, 1998). Claramente se prefiere evitar estos olores manteniendo una pila aeróbica.

Una composta aeróbica y bien lograda no debería generar malos olores. Aunque esto suceda, se puede seguir la siguiente regla: *"Cualquier cosa que cause mal olor, que se agregue a la composta, debe cubrirse con material limpio y sin olor"* (Jenkins J. C., 1999). Aserrín, turba, hojas, pasto, entre muchos otros materiales son eficientes para cubrir la pila de composta. Muchas bibliografías recomiendan las hierbas, paja, heno y otros materiales voluminosos que ayudaran a atrapar el oxígeno dentro. El secreto para la eliminación de malos olores es la cobertura adecuada de la pila de composta con materiales limpios, lo que a su vez mantiene las moscas alejadas.

Tabla 19 Control de la aireación.

Porcentaje de aireación	**Problema**		**Soluciones**
<5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando un exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación.
Rango ideal 5%-15%			
>15%	Exceso de	Descenso de temperatura y evaporación del agua	Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la

	aireación	haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua	aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de frutas, verduras, césped u otros)

5.4.3. Humedad

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

Una pila de composta debe mantenerse húmeda, de lo contrario el compostaje no dará resultado, solo quedará ahí siendo un montón de basura apilada. En el compostaje la perdida de humedad es algo que ocurrirá sin importar las precauciones que se tomen, por esto es importante realizar riegos periódicamente sobre todo en lugares secos. Una pila de composta raramente genera filtración, pero en lugares donde llueve mucho, esto puede suceder, en cuyo caso basta con tapar la pila de composta.

El gran responsable de la perdida de humedad en la composta es el aire, comúnmente provoca pérdidas de humedad entre 40-80% (Jenkins J. C., 1999). Aun cuando se utilicen materiales orgánicos mojados, la composta puede secarse considerablemente (T. Haug, 1993). Un nivel de humedad del 65% puede reducirse entre 20 y 30% en solo una semana, de acuerdo con algunos estudios (Palmisano & Barlaz, 1996). Existen una mayor probabilidad de lidiar con falta de humedad que con exceso de esta.

La cantidad de humedad que una composta recibe o requiere, dependen de los materiales que se le agregue, así como de su ubicación. En lugares como Puerto Montt, Chile, donde las precipitaciones pueden alcanzar hasta 241 [mm] en promedio en los meses más lluviosos, raramente se requiere un regado en la pila de composta, ya que la misma humedad del aire mantendrá condiciones favorables. De acuerdo con Sir Albert Howard, regar una composta situada en algún lugar de Inglaterra, donde la precipitación anual es de 610 [mm], resulta innecesario. Aun así, el agua requerida para hacer composta puede ser entre 1000 y 1500 litros por cada metro cubico de composta terminada (Howard, 1943).

La necesidad de humedad se puede satisfacer al añadir la orina a la pila de composta y mantener la pila descubierta para que reciba la cantidad adecuada de lluvia. Otros materiales que contienen humedad también pueden ser un aporte importante, restos de

comida, entre otros, pueden aportar agua adicional. En caso de no contar con la cantidad de agua apropiada y el contenido de la composta no está húmedo, será necesario realizar riegos periódicos. Para este propósito basta con utilizar las aguas grises del drenaje o simplemente agua lluvia recolectada anteriormente (Jenkins J. C., 1999).

De la misma manera un exceso de agua puede ser perjudicial para la pila de composta, ya que esto evitaría el paso del aire, y se formaría una masa lodosa, la cual beneficiaria la proliferación de bacterias anaeróbicas. De ocurrir esto, es de esperar la aparición de malos olores. Se puede solucionar dejando lixiviar la pila de composta y agregando material seco que absorba el contenido de humedad, además de revolver la composta para que se mezclen bien los materiales secos y húmedos.

La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad baja por debajo de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es demasiado alta (>60%) el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material.

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

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

Tabla 20 Parámetros de humedad óptimos.

Porcentaje de Humedad	**Problema**		**Soluciones**
<45%	Humedad Insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua o material fresco con un mayor contenido de humedad.
Rango ideal 5%-15%			
>60%	Oxigeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas anaeróbicas.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto contenido de carbono.

5.4.4. Temperatura

La deshidratación causara que los microorganismos de la composta dejen de trabajar. También lo hará el congelamiento. Si se congela, la pila de composta no trabajara. Sin embargo, los microorganismos pueden esperar simplemente a que la temperatura se eleve lo suficiente para descongelarlos y entonces reanudaran su proceso metabólico. De haber espacio se puede seguir agregando material a una pila de composta congelada. Tras descongelarse, los microorganismos volver a trabajar como si no hubiese ocurrido nada (Jenkins J. C., 1999).

El proceso de compostaje involucra 2 rangos de temperatura, el mesofílico y el termofílico. La temperatura ideal para iniciar el proceso de compostaje es entre 20-45°C, seguido a esto, cuando las bacterias termofílicas toman el control de la pila de compost, las temperaturas ideales son entre 50-70°C. Las altas temperaturas son características de un proceso de compostaje aeróbico bien realizado y dan señal de una alta población microbiana. Los patógenos normalmente se destruyen a temperaturas de 55°C o más. El volteo y aireación de la pila de composta pueden ser utilizados para regular la temperatura.

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

Tabla 21 Parámetros de temperaturas óptimos.

Temperatura (°C)	**Causas asociadas**		**Soluciones**
Bajas temperaturas (< 35°C)	Humedad insuficiente	La falta de humedad genera una disminución en la actividad metabólica de los microorganismos, lo que evita que se genere calor.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad
	Material Insuficiente	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje
	Déficit de nitrógeno o baja C:N	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas.	Añadir material con alto porcentaje de nitrógeno como heces u orina.
Altas temperaturas (> 75°C)	Ventilación y humedad insuficiente.	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con

		descomposición.	alto contenido de carbono de lenta degradación (madera o pasto seco) para que ralentice el proceso.

5.5. Técnicas de compostaje

El primer paso para realizar compostaje es elegir la técnica de compostaje que se utilizara, por lo general existen 2, sistemas abierto y sistemas cerrados. Los sistemas abiertos son aquellos que se realizan al aire libre y los sistemas cerrados son aquellos que se hacen bajo techos o en recipientes.

La elección de la técnica a utilizar se basa en los siguientes factores claves:

- Tiempo del proceso
- Requisitos de espacio
- Condiciones climáticas del lugar (temperaturas bajo cero, vientos fuertes, lluvias torrenciales u otros eventos climáticos).

5.5.1. Sistemas abiertos o en Pilas

Cuando hay una cantidad abundante y variada de residuos orgánicos (sobre $1m^3$ o superior), se puede llevar a cabo este tipo de compostaje.

En función de la clase de manejo a las pilas (espacio, tiempo de retención, tecnología), existe una amplia variedad de formación de pilas, variando así el volumen de estas, su forma y la disposición entre ellas.

A nivel industrial, las pilas cuentan con un alto nivel de tecnificación. Los procesos que más se repiten, se nombran a continuación:

- Aireación forzada, en el que se proporciona oxígeno a través de la inyección de aire a la pila mediante canales construidos en el suelo para así mantener los niveles requeridos.

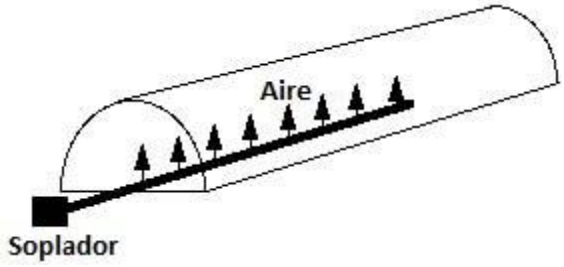


Ilustración 19 Sistema de aireación forzada

- Sistema de pilas con volteo mecanizado, utilizando un volteador lateral de tornillo adaptado a un tractor, o una pala frontal. En el primer sistema la altura de la pila varia con la altura del volteador lateral, mientras que, en la segunda, pueden alcanzar una altura de 3 metros. Para el caso de una familia, se recomienda no tener una pila mayor a 1,5 metros para facilitar la tarea de volteo.

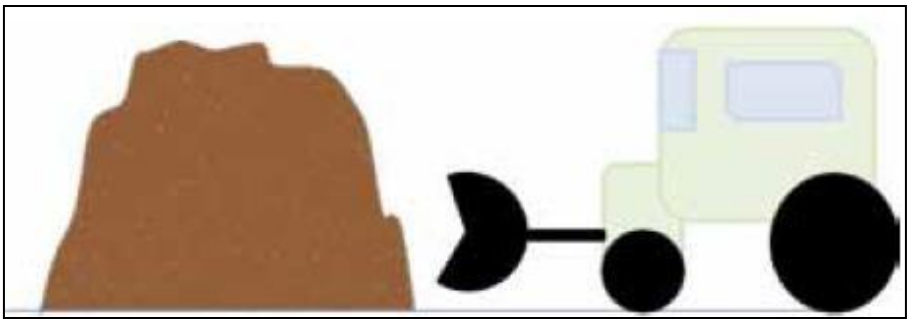


Ilustración 20 Volteamiento mecánico de la pila mediante una pala frontal. (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013)

Las tareas por realizar en la formación y el manejo de la pila son:

- Elección del área y nivelación. Esta elección se hace en función de: condiciones climáticas, distancia al área de producción de residuos, distancia al área donde se aplicará el compost final y pendiente del terreno. Es preferible un área protegida de vientos fuertes, a prudente distancia de nacimientos de agua (más de 50 metros) para evitar contaminaciones, y de poca pendiente (< 4%) para evitar problemas de lixiviados y erosión.

- Picado del material y amontonamiento. El material a compostar se pica manual o mecánicamente de preferencia en fragmentos de 5-10 cm. Se toma normalmente como unidad de tiempo la semana para amontonar material en una misma pila, antes que empiece la fase termofílica o de higienización, y así evitar la re-contaminación del material con material fresco. Otro aspecto importante aquí es la mezcla de material para alcanzar una relación C:N adecuada.

- Volteo. Normalmente, se hace un volteo semanal durante las 3 a 4 primeras semanas, y luego pasa a ser un volteo quincenal. Esto depende de las condiciones climáticas y de la humedad y aspecto del material que se está compostando. Se debe hacer un control de aspecto visual, olor y temperatura para decidir cuándo hacer el volteo (véase punto siguiente, control de temperatura, humedad y pH). Es importante optimizar el espacio de operación y volteo. En la Figura 18 se dan algunos ejemplos de optimización del espacio.

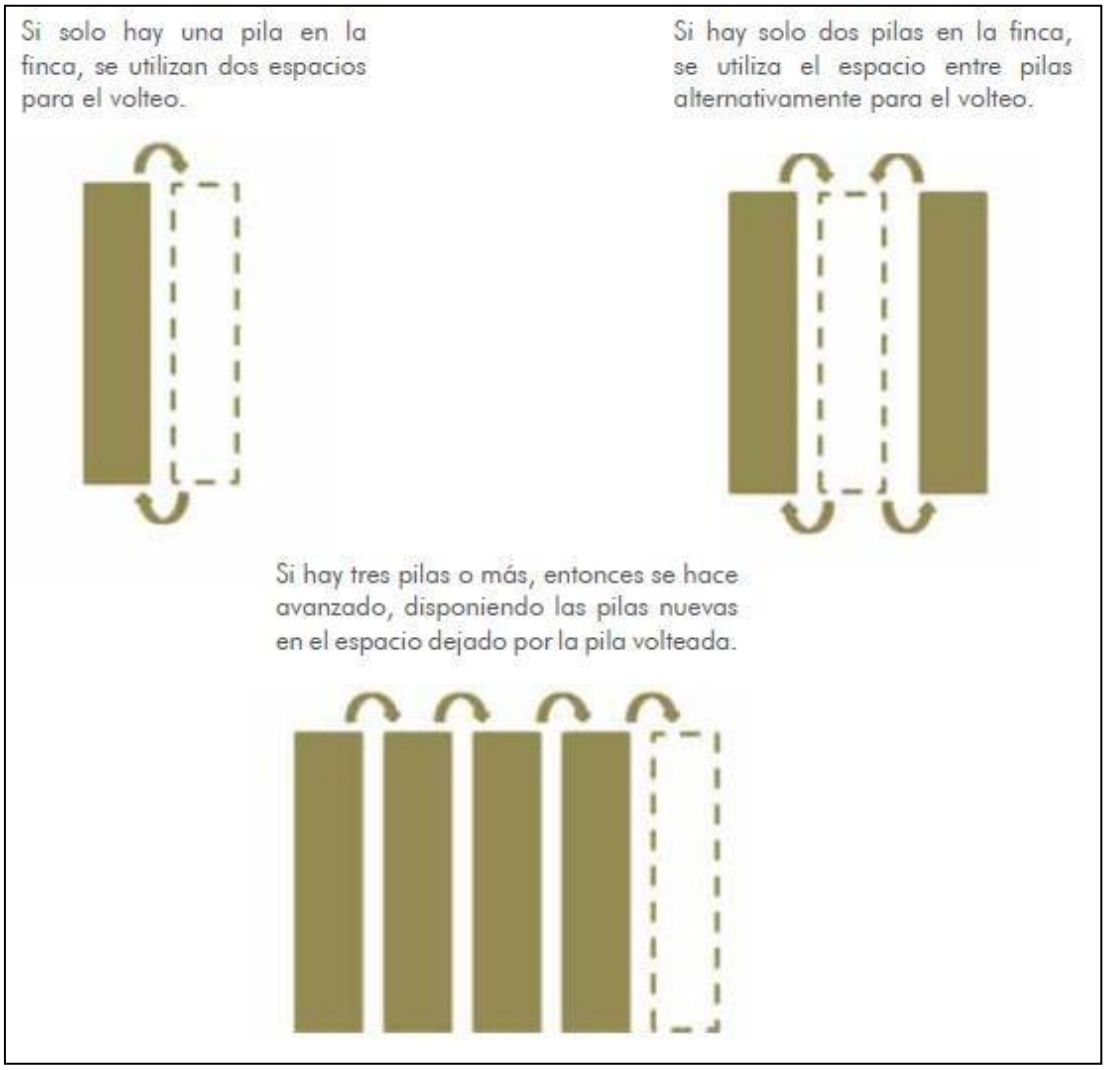


Ilustración 21 Técnicas de volteo y distribución de pilas (Roman, Martinez, & Pantoja, 2013)

Sistemas cerrados o en recipientes

Este es el método más recomendado para ser usado a nivel familiar. Sus cualidades favorecen a su replicación en cualquier lugar, si nombramos algunas se tiene; evitar la

acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de animales y evita el acceso al material en descomposición por niños o personas ajenas que pueden correr riesgos. Además, este es el método que puede alcanzar mayor temperatura, cualidad que es bienvenida para la finalidad que tiene este trabajo.

Existen distintos tipos de recipientes que se pueden utilizar para el compostaje, paredes de madera, paredes de ladrillo, bidones, de mallas metálicas, son algunos de los más utilizados el día de hoy.

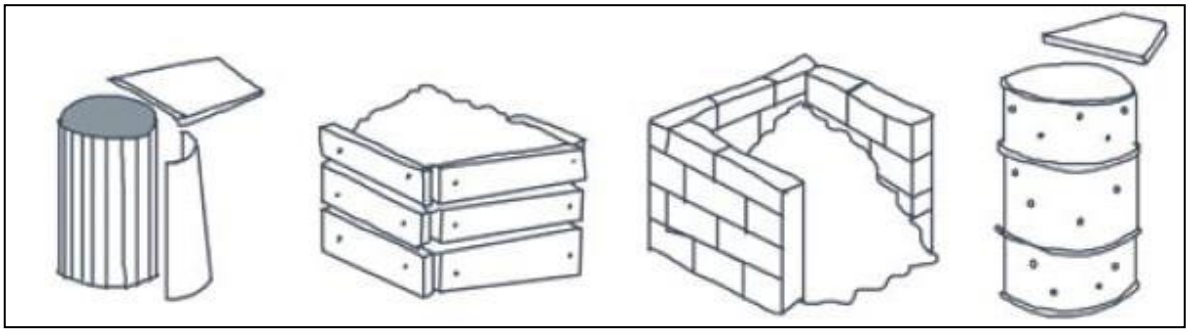


Ilustración 22 Recipientes para utilizar el sistema de compostaje cerrado, de izquierda a derecha está el de malla metálica, pared de madera, paredes de ladrillo y bidón.

Las tareas para realizar en un sistema de compostaje cerrado son:

- Elección del lugar y tipo de compostera. En función el espacio disponible (que sea de fácil acceso y preferiblemente cubierto y ventilado), cantidad de material a añadir y tiempo de labor que pueda dedicarse al proceso de compostaje.

- Picado del material y llenado del recipiente. Es importante que el material tenga un tamaño entre 5 y 20 cm para un proceso de descomposición óptimo. El material debe conseguir una relación C:N de 25:1 a 35:1 para un adecuado comienzo de la descomposición. El recipiente se puede ir llenando a medida que se genera material orgánico. Una vez el recipiente en su total capacidad, el recipiente se deja en reposo compostando hasta que el proceso de compostaje haya finalizado y se extraiga el compost final.

- Control de la humedad y aireación, volteo, extracción del material y cernido o tamizado. Se aplican las mismas técnicas y conceptos que el compostaje en las pilas de compostaje.

6. Capítulo 4: Otros sistemas de saneamiento y comparación entre ellos.

6.1. Deshidratación y almacenamiento

La deshidratación es el proceso en el cual se elimina la humedad presente en una mezcla, objeto o masa sólida. En general se entiende que la deshidratación como la separación de la humedad de los sólidos. Se utiliza en distintos ámbitos, principalmente en la agricultura, industria alimenticia, industria pesquera y en el campo industrial en general, ejemplos de estos son, la deshidratación de frutas, leche en polvo, harina de pescado, elaboración de ladrillos, etc. El proceso de deshidratación generalmente se realiza mediante el aumento en la temperatura del cuerpo en el que se va eliminando la humedad en forma de vapor, en consecuencia, en cualquier proceso de deshidratación es importante tener en cuenta los mecanismos de transmisión de calor y transporte de masa. En la práctica, la humedad suele ser vapor de agua y el gas empleado para secarlo, suele ser aire. Este último caso, es el que compete a este trabajo, ya que la humedad que contienen las heces es agua y utilizar otro gas que no sea aire, no tiene mucho sentido.

Las cámaras de deshidratación son usadas para recolectar, almacenar y secar/deshidratar las heces. Las heces solo se deshidratarán cuando las cámaras son impermeabilizadas para evitar que la humedad exterior entre y cuando la orina y las aguas grises son desviadas desde las cámaras.

Cuando la humedad es removida de las heces, la capacidad de supervivencia de los organismos presentes en esta se reduce. El grado de inactivación patógena dependerá de; la temperatura, el pH y el tiempo de almacenamiento. Generalmente se acepta que las heces deben ser almacenadas de 12 a 18 meses con un pH superior a 8, aunque existen algunos patógenos que pueden sobrevivir a estas condiciones.

La deshidratación de heces es un método discontinuo debido a que las condiciones ambientales varían con el tiempo, sin embargo, para el análisis que se hará a continuación se considerará como un método continuo, con el fin de identificar los principales factores influyentes en el proceso.

La cinética de secado de un sólido se puede modelar matemáticamente. En el libro "*Problema de Ingeniería Química, Tomo II"* (Ocon Garcia & Tojo Barreiro, 1980), se define la velocidad de secado por la pérdida de humedad del solido húmedo en la unidad de tiempo, y más exactamente por el coeficiente diferencial $(-{dX}/{d\theta})$ operando en condiciones constantes de secado, es decir, que las condiciones (temperatura, humedad, presión y velocidad) permanecen constantes con el tiempo.

Analíticamente, la velocidad de secado se refiere a la unidad de área de superficie de secado, de acuerdo con la ecuación:

$$W = \frac{S}{A}\left(-\frac{dX}{d\theta}\right) \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

S= Peso de solido seco

A= Área de la superficie expuesta

W= Velocidad de secado

Además de la cinética, es igual o más importante aún, el tiempo necesario para realizar el secado. Refiriéndose nuevamente a los apuntes de Ocon y Tojo, se divide el período de secado en dos; el primero, en el cual la velocidad de secado es constante hasta alcanzar un valor crítico, al que llamaremos humedad crítica. Posteriormente, la velocidad de secado disminuye con el paso del tiempo, anulándose cuando la humedad del solido alcanza la humedad de equilibrio con el aire en condiciones constantes de operación.

El periodo en el cual la velocidad de secado es constante va desde la humedad inicial del solido hasta la humedad critica, mientras tanto; el segundo periodo, en el cual la velocidad de secado decrece, ocurre desde la humedad critica hasta la humedad final o de equilibrio.

A partir de la ecuación presentada anteriormente, se puede calcular la duración del secado por integración entre las humedades inicial y final:

$$\theta = \frac{S}{A}\int_{Xi}^{Xf}\frac{dX}{W} \qquad \text{Ecuación 2}$$

Para calcular esta integral es necesario conocer W=f(x) la cual varía según los distintos tipos de sólidos, pero que en general se puede distinguir en dos periodos:

a) Periodo Ante-crítico: Como durante este periodo W es constante la integración de la ecuación 2, desde la humedad inicial Xi hasta la humedad critica Xc nos lleva a:

$$\theta_a = \frac{S}{A}\left(\frac{X_i - X_c}{W_c}\right) \qquad \text{Ecuación 3}$$

b) Periodo post-critico: Analíticamente y suponiendo que la velocidad de secado varia linealmente con la humedad, desde la humedad critica hasta la final, la integración de la ecuación 2 conduce a la expresión:

$$\theta_p = \frac{S}{A}\left(\frac{X_c - X_f}{W_c - W_f}\right)\ln\frac{W_c}{W_f} \qquad \text{Ecuación 4}$$

Finalmente, para calcular la velocidad de secado, es necesario agregar al análisis los fenómenos físicos que ocurren en el sólido, difusión del líquido, transporte de materia y

transmisión de calor. Luego es necesario realizar algunos supuestos; i) el calor se utiliza exclusivamente en evaporar la humedad y ii) la resistencia de difusión del líquido a través del sólido es despreciable. La velocidad de secado en el periodo ante-critico viene dada por:

$$W_C = \frac{U}{\lambda_i}(t - t_i) \text{ Ecuación 5}$$

Donde U corresponde al coeficiente de transmisión de calor; λ_i el calor latente de vaporización del líquido a la temperatura de interfase, t_i y t, la temperatura en el seno del aire.

El coeficiente de transmisión de calor depende de la convección y radiación. Para el coeficiente de convección se utiliza un valor tabulado que varía según la velocidad del aire, y fluctúa entre valores de 5 a 25 [m/s]. El coeficiente de radiación es un poco más complicado de obtener, sin embargo, una manera sencilla de aproximarlo es utilizando la siguiente ecuación:

$$h_r = \sigma * \varepsilon * (T_1{}^2 + T_2{}^2)(T_1 + T_2) \text{ Ecuación 6}$$

Donde $\sigma = 5{,}67\ [\frac{W}{m^2 * K^4}]$ es la constante de Stefan Boltzmann; ε es la emisividad del objeto; T_1 es la temperatura de superficie y T_2, es la temperatura de los gases o exterior.

Entonces el coeficiente U queda dado por la suma de estos dos coeficientes:

$$U = h_r + h_c \text{ Ecuación 7}$$

Se realiza un análisis a la ecuación anterior. El coeficiente de convección se obtiene de tablas, suponiendo una velocidad de aire de 6 $[\frac{m}{s}]$, este será 20 $[\frac{W}{m^2 * °C}]$. Al variar las temperaturas de gases y superficie en conjunto, el coeficiente de radiación varía directamente con estas. Hasta los 40 °C la variación es casi despreciable, pero luego aumenta de manera logarítmica al continuar aumentando la temperatura, se presenta un gráfico a continuación:

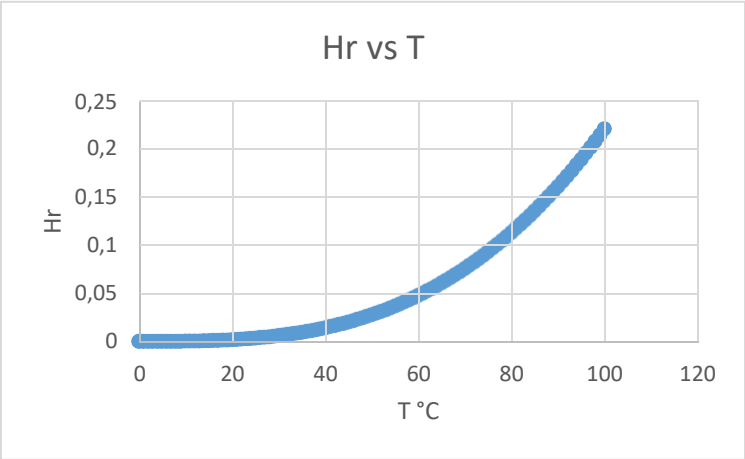


Ilustración 23 Grafico de la variación del coeficiente de radiación vs temperatura.

Se observa además que la magnitud del coeficiente de radiación en comparación con el de convección no afecta ~~a~~ el valor de U significativamente, ya que el guarismo de Hr es de 0,22 a los 100°C, mientras que el coeficiente de convección es de al menos 5.

Por lo tanto, graficando la ecuación 5, según la variación de la temperatura, se observa un comportamiento lineal, sin embargo, al igual que el coeficiente U, su valor no varía significativamente con el aumento de temperatura.

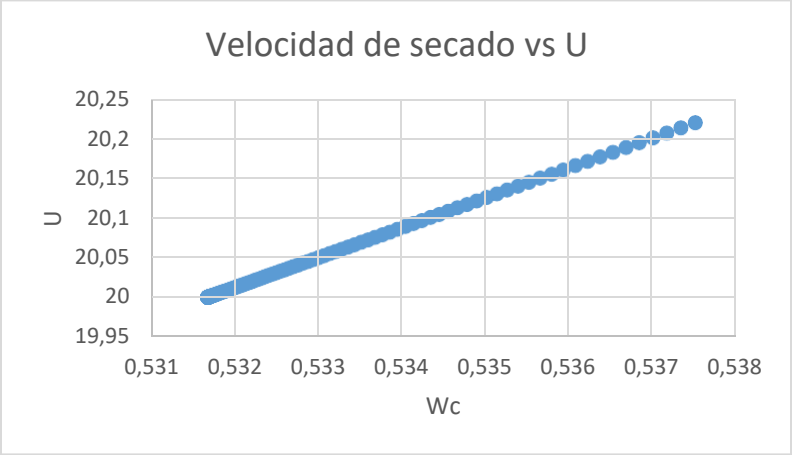


Ilustración 24 Grafico de variación de la velocidad de secado coeficiente U vs Velocidad de secado.

Nuevamente al graficar la ecuación 5, esta vez, variando la diferencia de temperatura entre el aire y la temperatura de interface $(t - t_i)$, se observa nuevamente una relación lineal, pero con mayor influencia en la velocidad de secado.

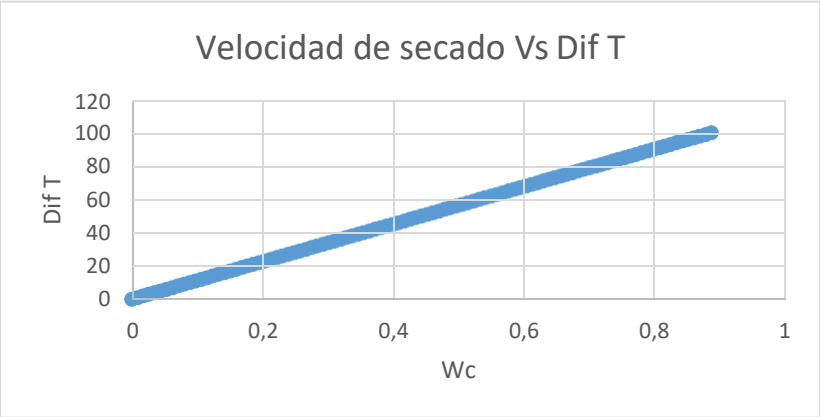


Ilustración 25 Grafico de variación de la velocidad de secado con respecto a la diferencia de temperatura.

Según los gráficos anteriores, se puede concluir que la velocidad de secado depende principalmente de la diferencia de temperatura que haya entre la interface o directamente del sólido y el aire utilizado para remover la humedad. Además, la remoción de humedad que ocurre debido a la radiación es muy pequeña en comparación con la que ocurre debido a la convección, siendo el coeficiente de radiación de casi 100 veces menor magnitud que el de convección.

Si el lector desea ahondar en mayor profundidad la resolución de las ecuaciones presentadas en este capítulo y tiene interés en el secado de solidos se recomienda la lectura del libro "*Problema de Ingeniería Química, Tomo II"* (Ocon Garcia & Tojo Barreiro, 1980).

Cuando las heces están completamente secas, quedarán como una sustancia polvosa y de baja consistencia. El material es rico en carbón y nutrientes, pero puede aún contener patógenos. El material se puede mezclar con la tierra, ya sea para la agricultura o para otro uso.

Las heces secas son un entorno hostil para los organismos, y consecuentemente, no sobreviven (por mucho tiempo). Si se mezcla agua u orina con las heces secas, se pueden generar olores y microorganismos complejos; las heces húmedas permiten que las bacterias sobrevivan y se multipliquen. Un ambiente tibio y húmedo permitirá que los procesos anaeróbicos generen olores ofensivos. Al sacar heces deshidratadas de las cámaras de deshidratación, se debe tener cuidado de que el polvo se levante y pueda ser inhalado (AlianzaporelAgua, s.f.).

La falta de humedad no es el único factor que influye en la desactivación de patógenos. Ambientes con temperaturas mayores a 50°C ya se presentan como hostiles para los patógenos. Erika Giraldo, presenta en su informe acerca del control de la temperatura y humedad en deshidratadores solares gráficos que muestran temperaturas que alcanzan hasta los 70°C (Giraldo Sepulveda, 2014). Existen deshidratadores industriales que pueden

alcanzar hasta 1200°C, pero no están adaptados para la deshidratación de heces y además su elevado costo los elimina como opción para ser utilizados en este desafío.

Los aspectos por considerar para que el saneamiento por deshidratación se lleva a cabo apropiadamente son los siguientes:

- La mezcla de lodos debe alcanzar niveles menores al 25% de humedad, considerando que su humedad original oscila entre 66% a 80%.
- Aumento del pH con aditivos alcalinos: normalmente la baja humedad se combina con un aumento del pH, lo que favorece a la inactivación de los agentes patógenos. Con un pH cercano a 12 la muerte de los patógenos es rápida, y con pH cercano a 9 es posible alcanzar una eliminación total de huevos de áscaris y virus en un periodo de 6 meses. Si bien no existen muchas referencias en cuanto a la cantidad de aditivo que se debe agregar exactamente para asegurar un aumento del pH, existen textos que hablan de 1 a 2 tazas por defecación.
- Almacenamiento prolongado: Las fecas son arrojadas en una cámara de reposo donde se mantienen seguras a la intemperie por un periodo de 6 a 12 meses (Osorio Reyes, 2014).

Como se menciona en el último punto, un complemento al tratamiento de deshidratación es el almacenamiento de las heces en un estado seco al ambiente o a una temperatura mayor. La reducción de elementos patógenos se ve beneficiada por el incremento de la temperatura ambiental. Si el nivel de humedad se mantiene bajo del 20 % durante todo el almacenamiento, entonces la degradación es baja y las pérdidas de nitrógeno (N) y materia orgánica también. *"Estas sustancias son conservadas y, después de la incorporación en el suelo y el humedecimiento, ellas son degradadas de la misma manera que el material en un compostaje mesofílico o en un Arbor Loo. Adicionalmente, puesto que la degradación tiene lugar en pequeños volúmenes en suelo húmedo con una planta sembrada, el riesgo de pérdida de amoníaco o pérdidas por lixiviados es virtualmente nulo."* (Jönsson, Stintzing, Vinnerå, & Salommon, 2004).

A continuación, se presenta una tabla con la tasa de muertes de patógenos en un tiempo de retención de 2 meses, el cual sugiere que en tiempo tan prolongado como 6 meses, se puede alcanzar niveles aceptables.

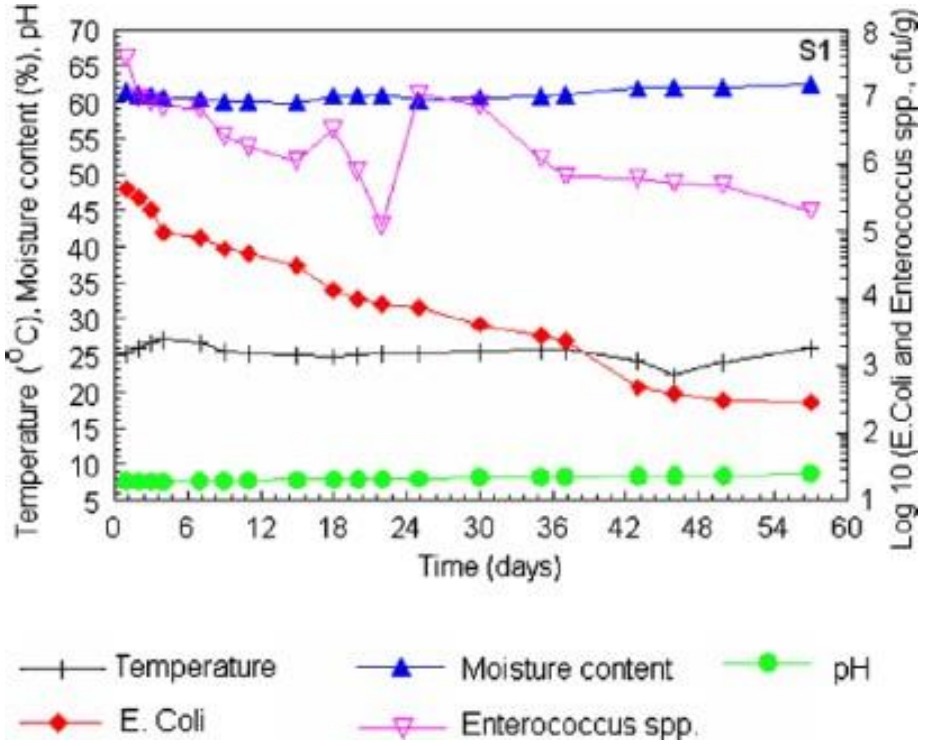


Ilustración 26 Comportamiento de temperatura, humedad, pH, conteo de E.coli y Enterococcus spp en un baño con adición de aserrín (Osorio Reyes, 2014).

6.2. Incineración

El proceso de incineración es aquel en el cual las heces son desintegradas mediante la aplicación de una gran cantidad de calor. Existen distintos tipos de inodoros que han sido construido con este propósito, los que tienen distintos precios y funcionan con distintas fuentes de energía. Este proceso entrega una alta higienización en donde los organismos al igual que la mayoría de los nutrientes presentes en las heces, mueren o desaparecen por completo. Son sistemas que no requieren una conexión a sistemas de agua para su funcionamiento.

Este consiste en un proceso aeróbico donde la materia orgánica se degrada completamente. Por lo tanto, si la incineración de las heces es completa y exitosa, se perderá todo el nitrógeno (N) y azufre (S) en las emanaciones de gas, mientras prácticamente todo el fósforo (P) y potasio (K) se mantendrán en las cenizas. De la misma forma que la ceniza vegetal, la ceniza de incineración completa es un concentrado y fertilizante higiénico con altos contenidos de fosforo (P) y potasio (K). La aplicación de

este fertilizante debe realizarse con suma precaución, existen consejos y técnicas de aplicación con el fin de evitar una posible contaminación del sustrato a fertilizar.

Un inodoro de incineración es como uno normal, solo que no necesita estar conectado ni a una fuente de agua ni a una de desagüe. Funciona de la misma manera, el usuario debe sentarse en él y realizar sus necesidades. En la mayoría de los casos, antes de cada uso, se instala una bolsa o malla protectora parecida a un filtro de café la que al terminar de usar el inodoro se almacena en la cámara de combustión. Los incineradores eléctricos deben ser puestos en funcionamiento luego de 3 o 4 usos, en donde al iniciar el sistema de combustión que generalmente tiene un consumo entre 0.8 [kWh] y 2.0 [kWh] funciona durante un tiempo predeterminado por el usuario, que normalmente varía entre 45 minutos a una hora y fracción. Las cenizas que produce cada proceso de incineración dependen de la cantidad de excretas que hayan sido depositadas, pero comúnmente son del porte de una cuchara grande. Los incineradores que funcionan con gas tienen un funcionamiento parecido, pero con estos se debe tener una mayor precaución, como no tener un trapo o alfombra bajo el inodoro . Las temperaturas alcanzadas en ambos son entre los 520°C a los 760°C. Si la línea de ventilación es instalada correctamente, es decir, dejar la salida a la altura del techo, los malos olores son casi mínimos o inexistentes.

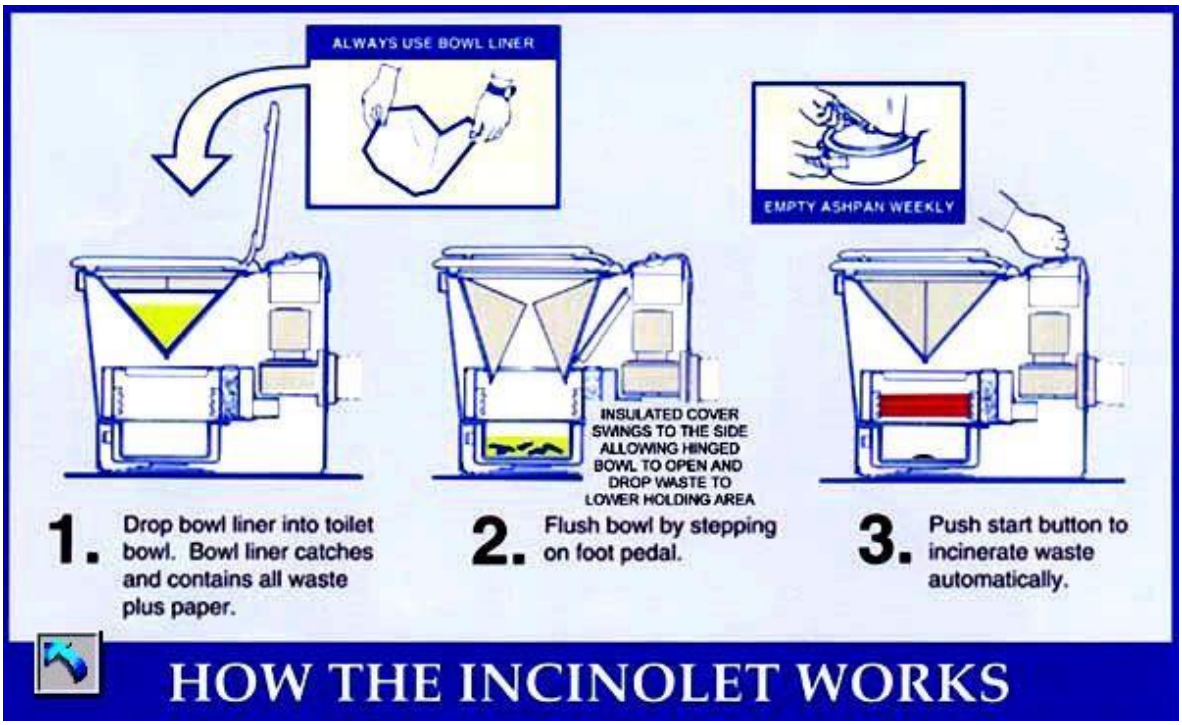


Ilustración 27 Ciclo de funcionamiento de INCINOLET, baño de incineración con fuente eléctrica

El valor comercial de los inodoros de incineración va desde los $1.500 hasta $5.000 USD, y su consumo por ciclo es de entre $0,23 a $0,4 USD valor de referenciado al costo de electricidad en Estados Unidos (Enviroment, 2018).

Para el caso que se desee crear un incinerador de forma artesanal, existen algunos tipos de precauciones que se deben tener. Para su incineración, el efluente debe tener un nivel mínimo de sanitización, debido a que el usuario debe trasladar el contenido desde el lugar donde las heces son excretadas hasta el incinerador. Para la manipulación de cámaras móviles, se recomienda un tiempo mínimo de dos semanas de maduración (Osorio Reyes, 2014), en caso de considerar un sistema con cámaras móviles. Se puede construir un horno con este propósito en el que se produzca la combustión con abundante material combustible como aserrín o ramas secas, sin embargo, armar una hoguera al aire libre es recomendable si las heces se deshidrataron bien, debido a la posibilidad que su humedad esté sobre el 10% y se produzca mucho humo y malos olores.

La utilización de sistemas de incineración en comparación con el resto de los sistemas da como resultado un proceso que otorga el mejor resultado de higienización en el cual, entrega un producto libre de microorganismos y agentes patógenos.

Si se considera la utilización de un proceso de incineración, se debe revisar con la autoridad de salud pública local, la reglamentación para revisar los requerimientos y cumplir con los estándares de seguridad que regulen la instalación y el uso de estos.

En el informe de Osorio Reyes se recomendó utilizar estos baños en zonas donde:

- Exista escasez de ceniza o materiales secos para un inodoro por deshidratación debido al clima húmedo.
- Exista escasez de materiales ricos en carbono como hojas, paja, virutas o aserrín para realizar el proceso de compostaje.
- Climas fríos, en los que el congelamiento y las bajas temperaturas del material de las cámaras impidan una deshidratación o un compostaje apropiado
- Exista acceso de insumos como gas, diésel o electricidad necesarios y de forma fácil para la operación de estos dispositivos.

6.3. Comparación

Para realizar un análisis a las tres alternativas presentadas en este trabajo (compostaje, incineración y deshidratación) se utilizará como herramienta un cuadro comparativo más un análisis FODA a cada uno de los sistemas. Ambos basados en información presentada anteriormente en este trabajo.

6.3.1. Cuadro Comparativo

En el cuadro comparativo se presentan distintas características, para las cuales se agrega un comentario con respecto a cada sistema. En la primera fila se enlistan los sistemas a comparar entre sí, y en la primera columna las características sobre las cuales se realiza el análisis.

La selección de las características analizadas fue basada en puntos, críticos los cuales deben ser tomados en cuenta al momento de seleccionar el sistema a utilizar para el saneamiento de las heces. Se intenta abarcar una amplia gama de parámetros, desde la efectividad del proceso, la factibilidad económica, la disponibilidad real, factores sociales, entre otros.

Tabla 22 Cuadro Comparativo entre los sistemas de saneamiento.

	Incineración	**Deshidratación Solar**	**Compostaje**
Capacidad de saneamiento	Elimina patógenos en su totalidad.	Posibilidad de áscaris lumbricoides sobrevivan al tratamiento	Posibilidad de áscaris lumbricoides sobrevivan al tratamiento
Dificultad de uso	Fácil, tiene un accionamiento simple.	Normal, el usuario debe acomodar las heces y posteriormente verificar si el proceso se completó.	Difícil, el usuario debe entender por lo menos lo básico del proceso y estar atento a su evolución
Energía utilizada	Gas o eléctrica	Solar	Bioquímica
Costos asociados	Costo de inversión alto y costo operacional medio.	Costo de inversión medio-alto y costo operacional bajo	Costo de inversión medio y costo operacional bajo o nulo
Épocas operativas	Disponible durante todo el año	Disponible únicamente en días de sol.	Disponible durante todo el año
Duración del proceso	Horas.	Días o semanas.	1 año
Adaptación al clima	Utilizable en cualquier clima	Únicamente en lugares donde la radiación solar sea suficiente.	Cualquier lugar en que no haya temperaturas bajo cero de forma regular
Producto final	Cenizas de bajo valor	Heces secas, alto valor como fertilizante	Compost, alto valor como fertilizante

6.3.2. Análisis FODA

6.3.2.1. Compostaje

Fortalezas

- Es un proceso natural, por lo que no necesita energías externas de ningún tipo, ya que esta se genera en el mismo proceso gracias al metabolismo de bacterias y otros microorganismos.
- Todos los elementos que se utilizan para construir una compostera sirven únicamente con la función de facilitar y agilizar el proceso de compostaje, sin embargo, en un caso hipotético donde no existan recursos para obtener estos elementos, basta únicamente con contar con el espacio para realizarlo ya que se puede hacer un sistema de pilas.
- La materia sobrante puede ser utilizada, "el compost" puede ser utilizado como fertilizante para campos, jardines, huertas, etc.

Oportunidades

- Al proceso de compostaje de heces, se puede agregar, además, la basura orgánica generada en la cocina, restos de frutas, verduras, etc. lo que soluciona en cierta parte el exceso de generación de basura que existe hoy en Chile. Esto a su vez puede ser un paso para enseñar a la gente los métodos de reciclaje y utilizarlo como primer paso para generar una cultura de reciclaje.
- El compost es un material con valor comercial, analizar la posibilidad de realizar un negocio con el compost generado puede ser bastante interesante.

Debilidades

- Al ser un proceso poco común y por su necesidad de cuidado, la dificultad de uso es mayor. El usuario debe entender por lo menos lo básico del proceso de compostaje, lo que requiere una capacitación inicial y material de apoyo para que el usuario pueda guiarse durante el proceso.
- El tiempo de atención que requiere por parte del usuario, es mayor en comparación a otros sistemas, ya que debe estar preocupado de que el proceso cumpla con todas sus necesidades y por otro lado el proceso en sí, toma por lo menos seis meses en realizarse y otros seis meses para curar el compost.
- La posibilidad que sobrevivan elementos patógenos al compostaje es de cuidado. A pesar de que la presencia de huevos de Ascaris Lumbricoide depende de si el emisor de las heces está infectado y que estas se ingieran. Es importante cuidar los precedimientos y seguir las medidas de precaución al momento de manipular y utilizar el compost para evitar el contagio.

Amenazas

- Ya que la eliminación de patógenos depende principalmente del aumento de la temperatura en el compostaje, si este no se realiza de manera adecuada, no se logrará la temperatura deseada y, por ende, es posible, que el producto final presente elementos patógenos que sean un peligro para las personas que estén expuestas.
- Está la posibilidad de una actitud negativa por parte de la gente seguir las instrucciones del proceso y no darle la atención necesaria.

6.3.2.2. Incineración

Fortalezas

- La fortaleza más importante de la incineración es la capacidad de asegurar un 100% de eliminación de patógenos.
- En los sistemas que se ofrecen en el comercio su utilización es sumamente sencilla, no emite olores y el proceso no suele tardar más que un par de horas.

Oportunidades

- La utilización de estos sistemas de saneamiento, son las que tienen el mejor recibimiento por parte de los usuarios, ya que no deben manipular las heces ellos mismos y no genera un rechazo social o cultural.
- El proceso de incineración no se genera únicamente para sanear heces, ya que lo tenemos presente en muchos equipos para procesos que se realizan a diario, por ejemplo, un horno de comida. Se puede analizar la posibilidad de modificar alguno de estos equipos, para lograr reducir los altos gastos que significa la adquisición de un sistema de incineración de heces.

Debilidades

- La principal debilidad que tiene este sistema es el alto precio que tienen las unidades comerciales de incineración.
- No es únicamente el alto precio de inversión que se debe realizar con uno de estos lo que hace poco factible su implementación, ~~r uno de estos,~~ si no, que, además, requieren de una fuente de energía, comúnmente ~~energía~~ eléctrica, que elevan aún más los costos de su operación.
- A diferencia de los otros dos sistemas, el producto final tiene poco valor nutritivo para ser utilizado como fertilizante.

Amenazas:

- La posibilidad de que ocurra un accidente con la utilización de estos sistemas, debido a las altas temperaturas que alcanza, es mucho mayor que en cualquiera de los otros dos.
- Al ser un sistema tecnológicamente complejo, existe la necesidad de realizar mantenimiento cada cierto periodo, y además la posibilidad de que un mal uso genere un desperfecto.

6.3.2.3. Deshidratación y almacenamiento

Fortalezas

- La utilización de energía solar por parte de estos equipos, permite que se puedan adaptar a un lugar donde no tengan disponible energía eléctrica o abastecimiento de gas.
- La mezcla de heces secas y material secante, al ser rica en nitrógeno y otros nutrientes, pueden ser utilizadas como fertilizantes.
- Bajo costo operativo

Oportunidades

- La deshidratación es un método que principalmente se utiliza para el secado de frutas, por ende, existe una gran cantidad de modelos con distintos precios. La adquisición de uno de estos y realizarle pequeñas modificaciones, pueden ahorrar el largo y tedioso proceso de diseño y cálculos para diseñar uno.

Debilidades

- Únicamente durante el día y en aquellos que esta soleado, se encuentra disponible la energía solar. Por lo mismo, es un proceso que se puede realizar únicamente entre los meses de noviembre y marzo. Esto hace que el proceso sea intermitente y no haya seguridad al momento de hacer una calendarización del proceso.
- La posibilidad que sobrevivan elementos patógenos al compostaje es de cuidado. A pesar de que la presencia de huevos de Ascaris Lumbricoide depende de si el emisor de las heces está infectado, el único método de contagio es ingiriéndolas. Es importante cuidar y seguir las medidas de precaución al momento de manipular los residuos para evitar el contagio.

Amenazas

- Debido que, durante los meses de invierno, en la mayoría de los lugares en Chile, no existe la radiación solar adecuada para realizar el proceso de secado, se debe

recurrir al almacenamiento. Esta opción puede generar rechazo por parte del usuario, ya que un mal almacenamiento puede generar olor, y atraer animales.

7. Capítulo 5: Diseño y propuesta

La propuesta que se entrega a continuación es producto del análisis que se hizo al diseño del prototipo y se basa en de las cuatro fases del diseño, a saber; perfil, conceptual, básico y detalle. Para realizarlo se postula en mayo del 2018 a fondos concursables PIEA de la Universidad Técnica Federico Santa María y son adjudicados en agosto de 2018, la fase de construcción empezó en septiembre del 2018.

7.1. Perfil (Problema)

El problema ya fue identificado anteriormente en el capítulo 2, principalmente se resume en la acumulación de heces y el riesgo higiénico que esto conlleva. La acumulación de heces es un problema que solucionar cuando se opta por la utilización de baños secos. Lo ideal es contar con un sistema para tratar las heces de forma inmediata de tratamiento inmediato y evitar la acumulación innecesaria, ya que puede convertirse en un foco de insalubridad problema aún mayor por el que la población resulte infectada y/o contagiada con un virus o enfermedad proveniente de las heces.

Ya se sabe que para lograr un saneamiento correcto existen ciertas condiciones que se deben cumplir, y que fueron expuestas en la problemática (Capitulo 2). Estas son; mantener la temperatura a 65°C por al menos una hora y, además, se aconseja seguir los lineamientos y directrices para el uso seguro de excretas en la agricultura, emitidas por la OMS. De esta forma los riesgos de contraer algún tipo de enfermedad son casi nulos.

Actualmente, el sistema de tratamiento que existe es el almacenamiento de las heces en un barril de plástico de alrededor de 200 Lt, el cual una vez repleto de heces y material secante, es dejado en la intemperie en un lugar donde reciba la mayor cantidad de horas de luz durante el día. Sin embargo, este método, no es del todo eficiente, ya que el barril en las horas de noche o días de lluvia que es donde la humedad ambiental alcanza su nivel máximo, humedece a su vez el contenido del barril, es decir, parte de la humedad que pierde durante el día debido al calor y la radiación, la absorbe nuevamente debido a la humedad ambiental. Esto genera que el proceso sea lento y poco eficiente.

Otro problema que presenta el método que se utiliza actualmente, es que debido a su forma cilíndrica y a que el calor secante proviene del ambiente, la mezcla no se deshidrata de manera uniforme, por lo que tiende a acumular la humedad restante en el centro.

Ilustración 28 Tambor de almacenaje ocupado actuantemiente en BIS.

7.2. Conceptual

La solución que presenta este trabajo es realizar un saneamiento de las heces mediante el proceso de compostaje, este es un proceso cíclico que ocurre en la naturaleza debido a la descomposición de la materia orgánica, producto de la acción metabólica de distintos protozoos, bacterias, hongos y otros microorganismos. Esta, es la etapa final/inicial del ciclo de los nutrientes y es el encargado de reintegrarlos a la tierra y dejarlos disponible para que algún otro organismo vivo, por lo general plantas o algas, puedan utilizarlos.

Tal y como se expuso en el capítulo 3, el compostaje tiene la característica de ser un proceso que ocurre en distintas fases. La fase termofílica, es aquella en la cual las temperaturas aumentan y pueden llegar hasta 70°C o más en algunos casos, lo que supera la necesaria para lograr un saneamiento correcto de heces. Además, debido a la actividad micro y macro orgánica que está presente en todas las fases (latencia, mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración), los agentes patógenos, virus y otros pierden terreno para su subsistencia.

La utilización del compostaje no se enfoca en dar una solución a un problema único, si no que se mira el contexto operacional de forma holística. Generalmente en los lugares donde se utilizan baños secos, la falta de conexión a un alcantarillado no es el único problema que existe, en algunos casos, este viene acompañado de la falta de un sistema de

recolección de basura. Por ende, una acumulación excesiva de esta trae consigo mayores problemas aun, como la aparición de roedores y nuevamente de elementos infecciosos para la población.

De todas formas, aunque exista un sistema de recolección de basura apropiado, el compostaje cumple con un rol importantísimo; el acercamiento de la población al reciclaje. Como fue expuesto anteriormente en el capítulo 2 más del 50% de la basura de los hogares en Chile es materia orgánica, la cual es la que tiene mayor facilidad para ser reciclada y evitar que tenga como destino final un vertedero. Si extrapolamos esta proporción, los terrenos utilizados para el acopio de basura, tendrían el doble de vida útil.

Finalmente, se presenta el compostaje como una solución viable en casi cualquier lugar y cualquier época del año. Su capacidad de funcionar en cualquier zona donde las temperaturas no sean menores a 0°c constantemente da al compostaje la cualidad ~~al compostaje~~ de ser utilizable a lo largo de todo Chile. Además, su bajo costo de inversión y de operación hace que esta solución sea aplicable en lugares donde los recursos son escasos.

7.3. Básico

La primera etapa para diseñar el proceso de compostaje es la selección de la técnica a utilizar. Tal como se mencionó en el capítulo 3, existen dos; con sistema abierto y con sistema cerrado. Debido a las características, beneficios y el desafío que intenta solucionar este trabajo, se opta por un sistema cerrado.

Como se explicó anteriormente, este trabajo busca solucionar tres necesidades, la primera y más importante es lograr un saneamiento correcto de las heces producidas en los baños secos, la segunda es reducir la cantidad de basura producida en los hogares, y por último introducir a la población acerca de la costumbre de reciclar. Para lograr un sistema que permita solucionar estas necesidades, es importante, en primera instancia enlistar las cualidades que debe tener. Se enumeran a continuación, las cuales se subdividen en cualidades más específicas:

1) Cumplir con los 4 pilares del compostaje.
    a) Debe tener el porcentaje de humedad dentro del rango óptimo.
    b) Tener la relación Carbono/Nitrógeno requerida.
    c) Contar con canales de ventilación que permitan la aireación.
2) Ser seguro para los usuarios.
    a) Contar con una zona especialmente dedicada al compostaje.
    b) Cumplir normas de seguridad sanitaria.
    c) Estar fuera del alcance de los niños.

3) Evitar animales y vectores.
   a) Tener un sistema que impida a los animales estar en contacto con el compost.
   b) Evitar la generación de olores que atraiga animales.
   c) Generar un ambiente que impida la proliferación de mosquitos e insectos contagiosos.
4) Facilidad para su operación.
   a) Los usuarios deben estar capacitados para su utilización.
   b) La materia orgánica debe ser fácil de manipular.
   c) Al final del proceso facilitar la manera de retirar el compost maduro.

La característica número uno tiene relación con un buen manejo del compostaje, por lo que se puede trabajar en conjunto con la característica de subindice 4.a). Es importante que los usuarios que manejen el compostaje estén bien informados y tengan las capacidades y entrenamiento necesarios para hacerlo de forma correcta. La utilización de manuales, instructivos e incluso capacitaciones se analizará para capacitar y entrenar de la mejor manera al usuario.

Los cuatro pilares que se señalaron en el capítulo 3 son; la proporción de carbono/nitrógeno que debe variar entre 25 y 35, la humedad que debe ser superior a un 60%, el oxígeno y la temperatura que si se realizan bien los 3 pilares anteriores~~,~~ que deberá alcanzar valores superiores a 50-55°[C] a condición de un buen desarrollo de los tres pilares previos.

La segunda característica, tiene relación con disminuir las posibilidades de contagios de infecciones o de accidentes que puedan ocurrir. Esto se logra de la misma manera que el punto 1), capacitando a los usuarios para que eviten un mal uso y pongan en peligro su salud. Además, para evitar que los niños estén en contacto con el compost se puede utilizar una maya o algún similar que impida el paso.

La tercera se enfoca en evitar que animales busquen comida en la pila de compost y destruyan el prototipo o esparzan infecciones ellos mismos. Además, si el compostaje se realiza de buena forma no emitirá olores que atraigan animales y vectores.

La última característica es una de las más importantes, ya que el éxito del proceso depende de la capacitación y entrenamiento que tengan los usuarios. Se debe tener en consideración el perfil del usuario al que va dirigido, procurando que sea capaz de ~~recibir~~ aplicar la información entregada de manera correcta.

7.4. Detalle

Los cálculos de las dimensiones de una compostera son bastantes simples, basta con tener los datos de la densidad promedio del compost y la cantidad de material orgánico que se produce y que será destinado a compostar.

En el capítulo 2 se menciona que una persona elimina alrededor de 0,12 y 0,4 [kg] de heces diarias (tabla 4). Considerando una familia de 4 personas, 2 adultos y 2 niños, en donde se estimará un valor de 0,12 [kg] y 0,4 [kg] de excretas para niños y adultos respectivamente.

De la misma forma, se presenta en el capítulo 2 (problemática) la cantidad de basura que genera una persona es entre 0,8-1,5 [kg] y de esto cerca del 50% corresponde a residuos orgánicos.

A continuación, se presenta una tabla con la carga de basura total que produce una familia de 4 personas. Se supondrá que cada persona genera 1 [kg] de basura diaria.

Tabla 23 Calculo de cantidad de heces y basura orgánica producida.

	1 Dia	1 Semana	1 Mes	6 Meses	1 Año
	Carga de heces [kg]				
Niños	0,12	0,84	3,6	21,6	43,8
Adultos	0,4	2,8	12	72	146
Total Familia	0,52	3,64	15,6	93,6	189,8
	Carga de residuos orgánicos [kg]				
1 Persona	0,59	4,13	17,7	106,2	215,35
Total Familia	2,36	16,52	70,8	424,8	873,4
	Material Secante [kg]				
Material Secante	0,1	0,7	3,0	18	36
	Carga Total [kg]				
Total	2,98	20,86	89,4	536,4	1099,2

En el manual del compostaje (Román, Martinez, & Pantoja, 2013), se utiliza una densidad de compostaje de 400 [kg/m3]. Se supondrá que esta densidad del material ya compactado es un valor aproximado al real. Además, se espera diseñar un prototipo que sea capaz de tratar al menos el material generado en 5 meses por una familia.

$$400\ [\frac{kg}{m^3}] = \frac{447\ [kg]}{Volumen}$$

$$Volumen = 1{,}1175\ [m^3]$$

Esto quiere decir que, para compostar el material orgánico de 5 meses, se necesitan al menos 1,12 $[m^3]$ de volumen. Se intenta trabajar con la proporción aurea[5] para que estéticamente la compostera luzca mejor. De esta forma se usarán los siguientes valores; altura: 0,95 [m], largo: 1,4 [m], ancho: 0,86 [m]. Calculando el volumen se obtiene el valor de 1,14 $[m^3]$.

Para evitar el ingreso de visitas indeseadas, tales como ratones, perros, gatos u otros animales se colocará una malla hexagonal alrededor de toda la estructura.

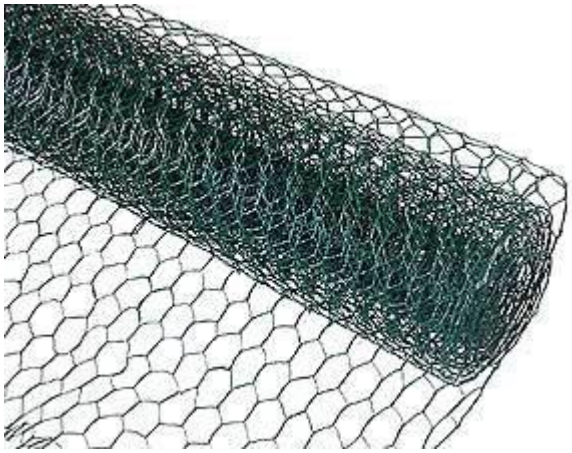


Ilustración 29 Malla hexagonal utilizada en la construcción.

Se utiliza madera de pino cepillada para la construcción de la estructura, ya que este es un material barato, fácil de encontrar y fácil de trabajar. Para facilitar su utilización se le agrega una compuerta superior y frontal, para agregar material y retirar el compostaje respectivamente. Sera construido en módulos ensamblables para facilitar su transporte. En anexos (V) se adjunta el diseño de los módulos y del ensamblaje final creados en el programa Inventor.

En el diseño se considera la necesidad de oxígeno, por lo que no se cubre completamente de madera y se agregan topes en la zona inferior para facilitar el ingreso de aire por todas sus caras.

Para facilitar la utilización de este dispositivo, se opta por la utilización de dos opciones, la primera es agregar una pancarta informativa en la parte superior del prototipo y la segunda es la confección de un manual para su utilización. Ambos se adjuntan en anexos (VI y VII)

Para lograr un compostaje correcto y/o poder corregir fallas o falta de algún elemento es necesario tener un monitoreo de estos. Para tener un registro los factores

[5] Numero utilizado para dar más armonía a las proporciones en rectángulos, se representa con la letra griega Phi=1,618034

importantes como temperatura y humedad se utilizarán Ibuttons[6] y se programarán para tomar datos cada 1 hora.

Ilustración 30 Ibuttons.

Un aspecto importante, tal y como se menciona en el capítulo 2, es la seguridad del usuario al manipular las heces, por lo que se utilizaran elementos de protección como mascarillas y guantes. Además, para que el usuario no tenga contacto directo con la pila de compostaje, se utilizara una horqueta para que pueda manipularla.

[6] Datalogger o registrador de temperatura y humedad, el cual almacena el resultado de las mediciones en su memoria interna. El almacenamiento es realizado en un intervalo de tiempo programable y definido por el usuario.

7.5. Costos de construcción

A continuación, se presenta la tabla de gastos en materiales y otros. Las herramientas utilizadas en la construcción no se incluyen en la tabla, estas fueron facilitadas por la Universidad Técnica Federico Santa María.

Tabla 24 Costos de construcción

Materiales	Precio Unitario	Unidades	Precio Total
Tornillos YSC CRS 8x3 250u	$ 9.990,00	1	$ 9.990,00
Pack Bisagra 3x3 3u	$ 1.690,00	2	$ 3.380,00
Cerrojo Portacandado	$ 1.990,00	1	$ 1.990,00
Grapas Galvanizadas 3/4 1/2[kg]	$ 1.790,00	1	$ 1.790,00
Portacandado 45/915	$ 1.820,00	1	$ 1.820,00
Pack escuadra silla ZN3 12u	$ 3.128,00	1	$ 3.128,00
Malla Hexagonal 1x10	$ 25.990,00	1	$ 25.990,00
Pino verde dimensionado 3x3	$ 2.790,00	5	$ 13.950,00
Pino cepillado seco 1x5	$ 2.290,00	9	$ 20.610,00
Mascarilla	$ 1.990,00	1	$ 1.990,00
Guante Cabritilla	$ 3.390,00	1	$ 3.390,00
Horqueta	$ 22.990,00	1	$ 22.990,00
Impresión Pancarta	$ 20.000,00	1	$ 20.000,00
Total			$ 131.018,00

La suma de los gastos en materiales es aproximadamente $111.000 y la impresión en material PVC de 90x62 [cm] es de $20.000. Lo que da un total aproximado de $131.000.

8. Capítulo 6: Desafíos a futuro

Este trabajo abarca investigación, propuesta y construcción, sin embargo, existen bastantes desafíos a futuro, unos dependen del resultado obtenido en el compostaje y otros son elementos que se recomiendan ser analizados sin condiciones.

En este resultado existen varios resultados posibles, se enlistan a continuación:

1. El compostaje resulta un éxito y se cumplen los parámetros de saneamiento presentados en la tabla 2 (capitulo 2).
2. El compostaje resulta un éxito, pero no se cumplen los parámetros de saneamiento presentados en la tabla 2 (capitulo 2)
3. La descomposición no ocurrió en todo el material compostado.
4. Ocurrió una descomposición anaeróbica debido a distintos motivos:
    a. Exceso de humedad.
    b. La pila se compacto demasiado.
5. El compostaje no resulto debido a distintos motivos:
    a. Falta de humedad.
    b. Los materiales agregados no se mezclaron de forma correcta.

Según el resultado obtenido se aconseja llevar acabo las siguiente ideas para lograr un sistema de compostaje optimo.

8.1. Mejorar la interfaz para el usuario

Uno de los mayores desafíos que existe en la utilización de un sistema de saneamiento mediante el compostaje es la aceptación por parte del usuario. La relevancia de este punto es tal, que si no se logra completamente una aceptación del usuario el compostaje no tendrá futuro. No basta únicamente con que el usuario esté dispuesto a tener una unidad a su disposición a la cual agregue heces o material orgánicos cada vez que estos se acumulen, sino, que debe ser parte del proceso ya que será responsable de varias tareas que se deben realizar para obtener un compostaje exitoso.

Dentro de las mejoras que se pueden realizar para mejorar la interacción del usuario con el compostaje, están:

1. Capacitación al usuario al momento de entregarle una unidad para compostaje
2. Mejora de los sistemas propuestos (pancarta informativa y manual)
3. Diseñar un método en el cual el compostaje no esté a simple vista.
4. Agregar elementos de automatización del proceso, el volteo mecánico y/o ventilación forzada son

Los problemas 4 y 5 mencionados anteriormente, son ocasionados por un mal manejo del compostaje. Es en a estos problemas a los cuales se debe poner especial atención al momento de mejorar la interfaz con el usuario.

8.2. Hacer un análisis de los datos obtenidos en el monitoreo

Del monitoreo realizado se obtendrán mediciones de humedad y temperatura en distintos puntos de la composta. Estos datos serán registrados por un ibutton cada 1 hora durante el tiempo que lleve realizar el proceso completo de compostaje, lo que puede llevar entre 10 a 15 meses. Sería deseable que en un futuro el oxígeno también sea monitoreado.

Si el compostaje fue realizado con éxito, durante la fase termofílica la temperatura debería alcanzar pick's de 60°-70° [C] cada vez que la composta es volteada, luego de esto empezara a descender hasta entrar en la segunda fase mesófila.

Hay un estudio que se realizó con fines de mejorar la tecnología de compostaje para lograr una mezcla que tenga una mejora capacidad de retención de nutrientes en compostas basadas en heces (Hepperly & Ziegler Ulsh, 2007). En este se analizaron 3 tipos de composta que constaban de distintos materiales.

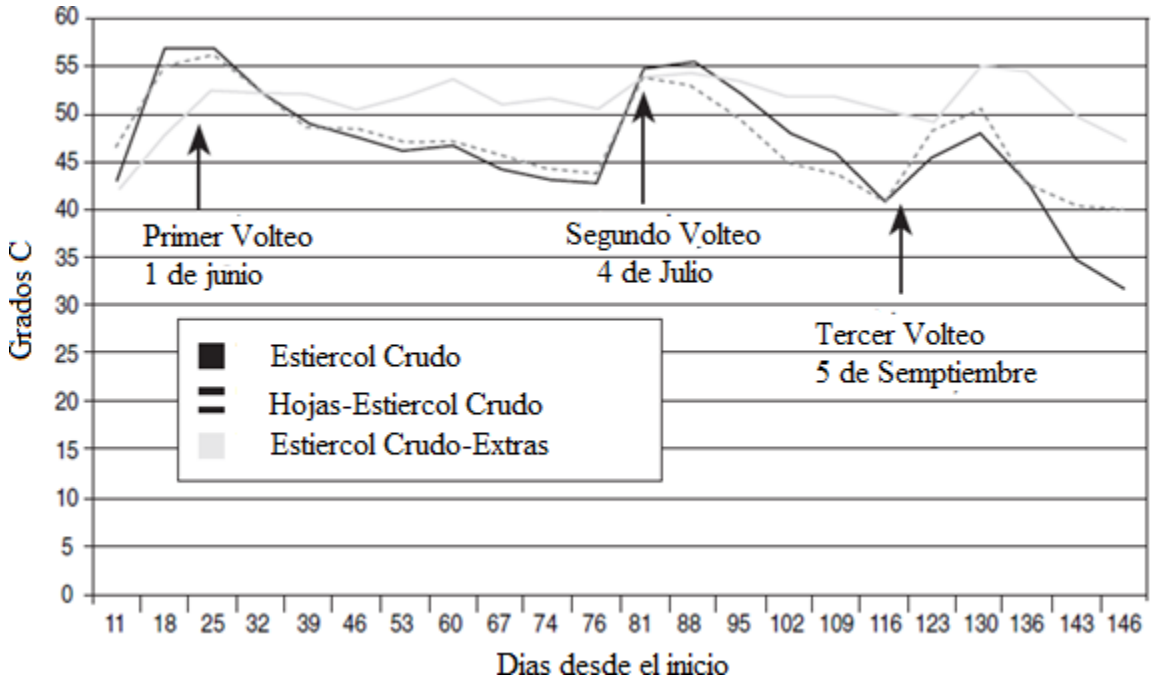


Ilustración 31 Seguimiento de la temperatura en 3 tipos de compostaje.

Se entrega este ejemplo para tener una nocion del tipo de grafico que se debería lograr si el proceso es llevado a cabo correctamente. Ademas, es interesante tener en cuenta la diferencia que genera realizar el compostaje con distintas mezclas, a pesar que el resultado

del compostaje sea el n°1 o n°2 mencionados con anterioridad. El analizis a compostajes realizados con distintas mezclas también es una idea interesante para desarrollar. El resultado obtenido según las distintas composiciones puede variar aun mas que las presentadas en la ilustración 31.

8.3. Análisis de la composición del compost.

Una vez realizado el proceso de compostaje es importante llevar a cabo un análisis de los parámetros fisioquimicos y microbiológicos de muestras que se podrán obtener al final de este proceso.

Un punto clave para verificar si realmente el sistema de saneamiento cumple con la funcion principal de eliminar a los agentes patógenos, es realizar un analizis microbiologico de los componentes de la pila de composta. Esta es, sin lugar a duda, el método que entrega mayor seguridad para verificar que el compostaje es capaz de eliminar dichos patógenos (Apendice 4.1). En la tabla 2 (Apendice 4.1) se mencionan parámetros utilizables para afirmar que una muestra esta libre de patógenos:

- Huevos de helmitos (numero de huevos por gramo): <1/g por cantidad de solidos
- E.Coli (numero por cada 100 ml):<1000/g por cantidad de solidos.

Los parámetros fisioquimicos de mayor interés son el pH, la conductividad, humedad, solidos volátiles, relación C/N, DQO, nutrientes, amonio, nitrato y metales pesados. A continuación se presentan los rangos de algunos valores que se debiecen obtener para concluir que fue un compostaje exitoso:

- pH:7-8,5
- Conductividad: <3500 [µS/cm]
- Humedad: 54±15%
- Relacion C/N: 10-15

9. Conclusiones

En la actualidad Chile abastece de servicios de alcantarillado y tratamiento de aguas servidas a la mayoría de la población, alcanzando un 96,87% de cobertura, sin embargo, aunque un 3,17% de falta de cobertura parezca una cifra baja, hay que tener en cuenta que esto significa que siguen siendo alrededor de 550.000 personas aproximadamente las que carecen de estos beneficios. Por este motivo, es que resulta imperante explorar en las distintas alternativas disponibles para el tratamiento de aguas servidas y ser utilizadas en lugares sin conexión al alcantarillado.

La utilización de baños secos se presenta como una buena alternativa para ser utilizada en estos casos, a diferencia de las fosas sépticas, las cuales deben ser vaciadas por camiones aljibes una vez que alcanzan su capacidad máxima de tratamiento, pueden ser un agente contaminante potencial si es que son instaladas cerca de napas subterráneas y tienen un costo de instalación y mantención mayor que el de un baño seco, tecnologia que se presenta como una solución sustentable ambientalmente.

Al momento de diseñar un baño seco es importante tener en cuenta el sistema de saneamiento que se debe aplicar a las heces que se acumulan con su uso. Existen distintas opciones y cada una de estas tienen ventajas y desventajas. Para elegir el sistema a utilizar es necesario conocer el contexto operacional en el cual se aplicará. Los factores técnicos más importantes para tener en cuenta según la tecnología que se utilizara son:

- Compostaje: las variaciones de temperatura, húmedad y precipitaciones durante el año.
- Deshidratacion: la humedad, temperatura y la cantidad de días soleados en el año.
- Incineración: fuentes de energia disponible.

En el caso de la deshidratación solar, es de suma importancia conocer la cantidad de días soleados que hay durante el año, ya que puede funcionar únicamente cuando el sol no se encuentra cubierto por las nubes. En lugares del norte de Chile como Antofagasta, Copiapó, Arica, etc. en donde los días de sol superan los 300 al año, esta opción toma ventaja por sobre las otras. Por lo contrario, en lugares donde los días soleados no superan los 100 al año no se aconseja la utilización de esta tecnología.

La incineración por su parte es la mejor opción vista desde la perspectiva de la efectividad, sin embargo, el alto costo de los sistemas que existen en el mercado sumado a su alto costo operativo hace inviable su utilización en la mayoría de los lugares debido a la escasez de recursos. Para que la incineración sea un sistema viable es necesario diseñarlo de manera que se reduzcan los gastos de inversión y fundamentalmente los operacionales. En caso de lograrlo la incineración es la mejor alternativa para el saneamiento de las heces.

El compostaje es una opción que tiene una buena adaptabilidad frente a distintos climas, la única excepción en donde no puede ser utilizado es en lugares donde las temperaturas acostumbren a ser menores a 0° [C] ya que la pila de compost se puede congelar. Si es realizado de manera correcta, se consigue la eliminación de todos los agentes patógenos que pueden estar presentes en las heces. Sin embargo, la gran desventaja de este sistema es el largo periodo que requiere.

La región de Valparaíso es un lugar con buenas características para implementar un sistema de compostaje, con temperaturas que normalmente no superan los 25° [C], rara vez menores a 5° [C] y una temporada de lluvia de 5,3 meses hacen de esta región una buena candidata para utilizar este tipo de tecnología.

Elegir el compostaje para utilizar como proceso en un sistema de saneamiento de heces, es un camino que tiene distintas complicaciones. El proceso necesita un delicado equilibrio de los factores vistos en capítulos anteriores; relación de carbono/nitrógeno, humedad, oxigenación y temperatura. Esto ya que se debe tener en cuenta que el proceso de compostaje es realizado por microorganismos los cuales necesitan ciertas condiciones para poder subsistir. Es tarea del usuario procurar que estas estos factores estén cercanos a su punto óptimo para que el compostaje sea un éxito.

Si se desea utilizar el compostaje como sistema de saneamiento, debe existir la preocupación de capacitar de buena manera al usuario. Este es el principal responsable de que el compostaje funcione, sin importar la tecnología que se implemente en el sistema, seguirá siendo el usuario el factor más importante.

Para hacer un sistema de compostaje casero no es necesario tecnología avanzada, basta con tener el conocimiento de cómo se realiza el proceso y un lugar en donde poder llevarlo a cabo. En el caso que se desee implementar el compostaje de una manera más industrializada, la utilización de más tecnología será necesaria proporcionalmente a la cantidad de residuos que deseen ser tratados. Se destaca la utilización del volteo mecánico y/o aireación forzada.

Se presenta como una buena oportunidad para incentivar el reciclaje en lugares donde el exceso de basura es un problema. Además, su utilización en lugares dedicados a la agricultura, beneficiaria drásticamente la fertilidad de los suelos. En caso de ser utilizada con fines agrícolas, se recomienda tener las siguientes precauciones; dejar madurar el compost por lo menos 1 año luego de terminado el proceso y utilizar este tipo de compost únicamente en árboles o plantas que no sean tubérculos o crezcan a ras de suelo.

10. Referencias

AlianzaporelAgua. (s.f.). *Alianza por el agua*. Obtenido de http://alianzaporelagua.org/Compendio/tecnologias/d/d3.html

Augusto, F. (2016). *Sistema de saneamiento seco con separacion de orina.* Buenos aires, Argentina: INTI, Instituto Nacional de Tecnologia Industrial.

Bonzi, M., Dagerskog, L., Kassa, K., Meinzinger, F., Zewdie, W., Winkler, M., . . . Bonzi, M. (2010). *Sustainable Sanitation Practice (SSP).* Austria.

Brock, T. (1986). *Thermophiles - General, molecular and Applied Biology.* John Wiley And Sons, Inc.

Cabrera, H., & Porter, R. (1958). *Survival Time and Critical Temperatures of Various Strains of Entamoeba histolytica.* Michigan.

Calva, E. (s.f.). *Biblioweb*. Obtenido de Biblioweb: http://www.biblioweb.tic.unam.mx/libros/microbios/Cap4/

Carpentier, J. (2014). *Tratamiento de aguas residuales con lodos activados.* Buenos Aires.

Christian Rieck, D. E. (2011). *Technology Review of urine diversion dehydration tiolets (UDDTs).* Eschborn: Deutsche Gesellschaft für.

Cofre, J. (2001). *Enfermedades transmisibles; recomendaciones para el manejo de los contactos epidemologicos.* Santiago.

CONAMA. (2005). *Politica de Gestion Integral de Residuos Solidos.* Santiago.

Desatascos Cuatro. (23 de Septiembre de 2015). *Desatascos Cuatro*. Obtenido de http://desatascos4.com/fosa-septica-que-es-y-para-que-sirve/

Emol. (17 de Mayo de 2017). Infografía: Cuánta basura producen los chilenos y cuáles son sus hábitos de reciclaje. Emol.

Enviroment, B. C. (2018). Obtenido de http://www.barnstablecountyhealth.org/resources/publications/compendium-of-information-on-alternative-onsite-septic-system-technology/incinerating-toilets

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. (2003). *On-Farm Composting Methods.* Rome.

Giraldo Sepulveda, E. J. (2014). *Control de temperatura y humedad relativa para un deshidratador solar de frutas.* Pereira.

Gotaas, H. B. (1956). Composting- Sanitary Disposal and Reclamation of Organic Wastes. *World Healt Organization*, 20.

Hepperly, P., & Ziegler Ulsh, C. (2007). *Studies & Advances in Composting Technology.* Agres.

Hillel I, S., Charles G, G., & DeAnne S, J. (1981). *Appropiate Technology for Water Supply and Sanitation Night-soil Composting.* Washington D.C.

Howard, S. (1943). An agricultural Testament.

INE. (2016). *Informe Anual Medio Ambiente.*

INE. (2017). *Informe Anual del Medio Ambiente.*

Ingham, E. (Junio de 1998). Anaerobic Bacteria and compost. Boca Raton, Florida, USA: The JG press, Inc.

Jenkins, J. C. (1999). *Humanure Handbook a guie to composting human manure.* Grove City, Pensilvania.

Jönsson, H., Richert Stintzing, A., Vinneras, B., & Salomon, E. (2004). *Guidelines on the use of Urine And Faeces in Crop Production.* Stockholm.

Kane, B., & Mullins, J. (1974). Thermophilic Fungi in a Municipal Waste Compost System. *Mycologia 65*, 1087-1100.

Marta Alfaro V, F. S. (s.f.). *Tratamientos para reducir la carga de patogenos en purines, Capitulo 3.*

Maydisa Materiales y Diseños S.A. (s.f.). *Maydisa Web Site.* Obtenido de Maydisa Web Site: http://www.maydisa.com/es/producto/fosa-septica

McGarry, M. (1976). *The Taboo Resource: The Use of Human Excreta In Chinese Agriculture.* The Ecologist 6.

McKinney, R. (1962). *Microbiology for Sanitary Engineers.* New York: Mcgraw-Hill Book Co.

Meteored. (s.f.). *Meteored*. Obtenido de https://www.meteored.cl

MINSAL. (2000). *Normas Tecnicas de Vigilancia de Enfermedades Transmisibles.*

Ocon Garcia, J., & Tojo Barreiro, G. (1980). En *Problema de Ingeniería Quimica, Tomo II* (págs. 240-323). Madrid.

OMS. (2014). Reinventar el inodoro para atender necesidades de 2500 millones de personas. *Boletin OMS*, 470-471.

Osorio Reyes, R. L. (2014). *Analisis normativo y técnico de los baños secos en chile: Memoria de tratamiento de fecas en un UDDT.* Valparaiso.

Palmisano, A. C., & Barlaz, M. A. (1996). Microbiology of solid Waste. *CRC Press Inc*, 169.

Palmisano, A., & Barlaz, M. (1996). *Microbiology of solid waste*. Boca Raton, Florida: CRC Press.

Pizarro Sánchez, D. N. (2012). *Baños Ecologicos BIS Saneamiento Sostenible Tecnilogicamente Apropiado.* Valparaiso.

Porras Hidalgo, S. A. (2011). *Produccion de compost a partir de residuos solidos de una planta de celulosa.* Santiago, Chile.

Rodale, J. I. (1960). *The complete book of Composting.* Emmaus PA.

Román, P., Martinez, M., & Pantoja, A. (2013). *Manual de compostaje del agricultor.* Santiago, Chile: Organización de las naciones unidas para la alimentacion y la Agricultura.

Romero Gonzalez, J., & López Casado, M. (s.f.). *Parasitosis intestinales.* Granada.

Rynk, R. (1992). *On-Farming Composting Handbook.*

Schönning, C., & Stenström, T. (2004). *Guidelines for safe use of urine and faeces in ecological sanitation systems.*

Scott, J. (1952). *Health and agriculture in China. A fundamental approach to some problems of world hunger.* Londres.

Sepulveda Quiroz, V. (2011). *Impacto en las Practicas de Manejo de los Residuos Solidos Domiciliarios del Programa "Compostaje Domiciliario de Huertos Familiares", Comuna de Til-Til, Region Metropolitana.* Santiago.

Shuval, H. I. (1981). *Appropriate Technology for Water Supply and Sanitation - Night Soil Composting.* Washington DC: International Bank for Reconstruction and Development (World Bank).

SISS. (2016). *Informe de coberturas sanitarias.* Santiago.

SISS. (2018). *Superintendencia de servicios sanitarios*. Obtenido de http://www.siss.gob.cl/577/w3-article-4373.html

SUBDERE. (2017). *Estudio de soluciones sanitarias para el sector rural.* Santiago .

Subsecretaria de desarrollo Regional y Administrativo. (2018). *Estudio de Soluciones Sanitarias para el Sector Rural.* Santiago.

T. Haug, R. (1993). *The Practical Handbook of Compost Engineering.* Florida: CRC press LLC.

Waksman, S. (1952). *Soil Microbiology.* New York: John Wiley and Sons Inc.

11. Anexos

I. NORMA DECRETO SUPREMO SEGPRES N°90/2000

Manual para la coordinación con organismos con competencia ambiental

Manual de Procedimiento para la fiscalización de descargas residuales (MAPRO) Se pone en conocimiento de Servicios de Salud Regionales, SAG, Municipalidades, DIRECTEMAR, DGA, CONAMA, etc., este Manual, que propone la coordinación de la SISS con otros Servicios con competencia ambiental para la fiscalización de la norma de Emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales DS/SEGPRES Nº90/2000. **(ORD. Nº 1036 de 09.04.2002)**

Instruye requerimiento de PE por SAAM a PTAS

En relación al Programa de Autocontrol de sistemas convencionales, instruido mediante oficio Ord. SISS N°1282/06 esta Superintendencia corrige el requerimiento del parámetro SAAM, en cuyo reemplazo corresponderá ser analizado el Poder Espumógeno (PE) para las plantas en comento. **ORD. Nº1347 de 11.07.06**

Procedimiento para cumplimiento DS N°90

El 3 de septiembre de 2006 se hace plenamente exigible el D. S. MINSEGPRES 90/00, norma de emisión que regula las descargas de residuos líquidos a cuerpos o masas de aguas superficiales y marinas para todas las fuentes existentes al momento de entrada en vigencia de este cuerpo normativo, esto es, septiembre de 2001. En consideración a las facultades fiscalizadoras de esta Superintendencia, respecto a la calidad del servicio de tratamiento de aguas servidas domésticas y las obligaciones ambientales emanadas del cuerpo normativo en comento, se instruyen los requisitos que deben cumplir las concesionarias de servicio público para cumplir con las normas de emisión.

Es así que todas las descargas de aguas servidas domésticas de las concesionarias de servicio sanitario público que se disponen en cursos superficiales y aguas marinas deben dar pleno cumplimiento al D. S. 90/00 MINSEGPRES a partir del 3 de septiembre de 2006, con excepción de aquellas cuyo plan de inversiones vigente a septiembre de 2001, en que se establece un año posterior al 2006 para cumplir con las obras asociadas de este Plan.**ORD. Nº 1282 de 23.06.06**

Informa evaluación de cumplimiento D.S. 90/00 y D.S. N°46/02

Estos Cuerpos normativos son plenamente exigibles desde el 3 de septiembre y desde el 17 de febrero de 2006 respectivamente.

Con arreglo a lo señalado, esta Superintendencia emitió para cada empresa considerada como fuente emisora una resolución que aprueba el Programa de Monitoreo de sus efluentes con los parámetros a autocontrolar, limites de descarga y frecuencia de monitoreo correspondientes a las características del residuo liquido generado por cada empresa y la norma de emisión que debe cumplir; en este último aspecto la evaluación del cumplimiento de las normas debe ser mensual, por tanto, los autocontroles deben rendirse con ésa

frecuencia a este organismo.
De esta forma, el próximo informe de Autocontrol de cada empresa deberá remitirse antes del 20 de octubre de 2006 con los análisis efectuados en septiembre de 2006 y así sucesivamente con la periodicidad mensual ya requerida. **ORD. Nº1853 de 13/10/06**

Descarga de Residuos Líquidos en el sector minero

El D.S. 90/00, plenamente exigible desde 03.09.06, regula la descarga de contaminantes a aguas marinas y continentales superficiales. Dado que corresponde a esta Superintendencia velar por el cumplimiento y control de la norma en comento, deben hacerse algunas precisiones con respecto al sector minero:

1.- Esta industria genera residuos industriales durante el proceso productivo y sus actividades anexas. Dichos residuos, se recirculan a los procesos utilizando en algunos casos obras de apoyo para el almacenaje y conducción, o bien, se disponen en riego de caminos.

2.- Es así que las descargas deben cumplir con las normas de emisión que correspondan en cada caso, es decir: a) D. S. 90/00 cuando los riles provenientes de faenas mineras son evacuados a cursos o cuerpos de aguas superficiales; b) D. S. 46/02 en caso de que se infiltren a las napas subterráneas; c) y D. S. 609/98 en caso de que se descarguen al alcantarillado público.

3.- En virtud de lo anterior, cada empresa deberá enviar la información que dé cuenta del cumplimiento de la norma respectiva, o si fuera el caso, hacer expresa declaración de que no está obligada a su cumplimiento, sea por no descargar riles, o bien, por no tener la categoría de fuente emisora. La información acerca del cumplimiento de la norma deberá enviarse dentro de 15 días corridos del mes siguiente al evaluado utilizando para ello los procedimientos de medición y control contemplados en la norma de emisión aplicable. En consecuencia, el primer informe de autocontrol deberá remitirse a esta Superintendencia el 15 de octubre próximo.

4.- Conforme al artículo 19 bis de la Ley N°18.902, las acciones o declaraciones tendientes a desviar o eludir la fiscalización que debe ejercer este organismo son susceptibles de sanciones pecuniarias. **ORD. Nº1697 de 15.09.06**

Descarga de emisarios submarinos

La Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales D.S MINSEGPRES N°90 , entró en vigencia el 3 de septiembre del año 2001, y en su Tabla N°5 sobre *"Límites máximos de concentración para descargas de residuos líquidos a cuerpos de agua marina fuera de la zona de protección litoral"*, establece que a partir del décimo año de vigencia de dicha norma se deberá dar cumplimiento a nuevos límites para los parámetros Aceite y Grasas, Sólidos Sedimentares y Sólidos Suspendidos Totales. Considerando lo expuesto, el décimo año indicado en la normativa se cumplió el 3 de septiembre del año 2011, por lo tanto, las descargas desde los sistemas de tratamiento en base a emisarios submarinos, que se realicen fuera de la zona de protección litoral, deberán dar cumplimiento estricto a lo

establecido en la norma de emisión. Para ello, a partir del mes de septiembre de 2011, esta entidad considerará en su evaluación el nuevo escenario, aplicándose a los sistemas ya mencionados las nuevas concentraciones, siendo estas: 150 mg/l para Aceites y Grasas, 20ml/l/h para Sólidos Sedimentables y 300mg/l para los Sólidos Suspendidos Totales. (**ORD. Nº2999/11).**

II. DECRETO N°4, TITULO III 28.10.09

DEL MANEJO SANITARIO DE LODOS

Artículo 9º.- Toda planta de tratamiento de aguas servidas deberá contar con un proyecto de ingeniería, que deberá ser aprobado por la Autoridad Sanitaria, que deberá dar cuenta del almacenamiento, tratamiento, transporte, disposición final y de los aspectos sanitarios de la aplicación de los lodos al suelo. Dicho proyecto deberá ser elaborado por un profesional idóneo del área correspondiente.
Sin perjuicio de que se contemple la eliminación de los lodos a través de terceros, el generador será responsable por la eliminación adecuada de estos residuos, debiendo garantizar su eliminación en el caso de que dichos terceros se vean impedidos de eliminarlos adecuadamente.
Previo a su entrada en operación, las instalaciones diseñadas para el manejo de lodos comprendidas en el proyecto de ingeniería deberán contar con Autorización Sanitaria de funcionamiento.

Artículo 10º.- Dicho proyecto, que contemplará el manejo de los lodos que se generan en las distintas unidades que conforman la planta de tratamiento de aguas servidas, deberá garantizar que no existirán riesgos para la salud de la población y para el medio ambiente, e incluirá al menos los siguientes aspectos:

a.- Descripción de los procesos en los que se generan lodos, cuantificación y caracterización de los lodos generados y clasificación sanitaria de los lodos tratados.

b.- Diseño de todas las unidades y equipamiento necesario para conducir, tratar y/o dar disposición final a los lodos generados durante toda la vida útil prevista de la planta de tratamiento. Los períodos de permanencia que se consideran en el diseño de toda unidad, equipo y tratamiento de los lodos deberán ser los mínimos necesarios para su correcta operación y para evitar que se generen problemas de olores.

c.- Identificación y definición de un Programa de Control de Parámetros Críticos de la Operación del Sistema de Manejo de Lodos, que deberá prevenir la emanación de malos olores y en general la ocurrencia de eventos que pongan en riesgo la salud de las personas o al medio ambiente. Este programa incluirá el control de la eliminación de los lodos, incluso en los casos en que esta etapa sea ejecutada a través de terceros.

d.- Plan de Contingencia que deberá considerar todas las medidas necesarias para dar cuenta del resultado del Programa de Control de Parámetros Críticos de la Operación del Sistema de Manejo de Lodos y de cualquier falla o desperfecto de las unidades, equipos o componentes de dicho Sistema que pueda tener como resultado riesgos para la salud, el medio ambiente o el bienestar de la población.

Cualquier modificación de proyecto requiere de la aprobación de la Autoridad Sanitaria.

Artículo 11º.- El almacenamiento de lodos crudos en una planta de tratamiento de aguas servidas por períodos superiores a los necesarios para la alimentación del proceso de estabilización, de acuerdo a lo definido en el proyecto, sólo se podrá realizar en casos de problemas operativos en el tratamiento de lodos. El proyecto deberá contemplar para este tipo de emergencias las medidas necesarias para que el almacenamiento se realice en condiciones que garanticen un adecuado control de la emanación de gases y olores, la

infiltración de líquidos y la proliferación de vectores. En el caso de ocurrir una de estas emergencias, el operador deberá dar aviso a la Autoridad Sanitaria competente en un plazo no superior a 24 horas, la que conforme a sus facultades establecerá el plazo en que este almacenamiento excepcional podrá ser llevado a cabo.

Artículo 12º.- Sólo se permitirá el almacenamiento en la planta de tratamiento de aguas servidas de lodos estabilizados en cantidades inferiores a 40 toneladas y por un plazo máximo de siete días. Los lodos deberán ser eliminados de acuerdo a lo aprobado por la Autoridad Sanitaria en el proyecto.
El diseño y operación del sitio de almacenamiento de lodos estabilizados deberá garantizar que no existirán riesgos para la salud, el bienestar de la población y el medio ambiente, debiendo considerar un sistema de impermeabilización y de control de gases y olores.

El sistema de impermeabilización a que se hace referencia en el párrafo precedente debe impedir el escape o migración de líquidos, lateral y de fondo, y deberá consistir en una lamina sintética de polietileno de baja densidad de al menos 0,76 mm de espesor instalada sobre una capa de arcilla de espesor no inferior a 30 cm y una conductividad hidráulica no superior a 10-7 cm/s u otro sistema aprobado por la Autoridad Sanitaria que asegure igual o superior impermeabilidad.

Artículo 13º.- Los lodos clase B podrán ser almacenados en cantidades hasta 35 toneladas y por un plazo máximo de 7 días sin restricciones adicionales.

El almacenamiento de lodos clase B en cantidades y plazos superiores a los señalados en el párrafo anterior se debe realizar cumpliendo las exigencias para un mono-relleno, señaladas en el artículo 17, o a través de un sistema de confinamiento que asegura que se controlan la generación de olores, la atracción de vectores y la migración de líquidos al suelo.

El plazo máximo de permanencia de lodos clase B en el predio previo a su incorporación al suelo es de 15 días.

Artículo 14º.- Las unidades de almacenamiento, tratamiento y disposición final de lodos deberán diseñarse de manera que controlen la infiltración de líquidos hacia aguas subterráneas y su escurrimiento hacia cursos o masas de aguas superficiales. Así mismo, dichas unidades deberán ser diseñadas de forma tal que se controle el ingreso de escorrentías superficiales a dichas unidades.

Artículo 15º.- El transporte de lodos deberá realizarse en vehículos completamente estancos y cerrados que impidan escurrimientos, derrames y la emanación de olores durante su traslado.

El transporte de lodos que cumplan con los requisitos para lodos clase A o B, de acuerdo a lo señalado en los artículos 7 y 8 del presente Reglamento, y que presenten una humedad igual o inferior a 85%, podrá realizarse en recipientes cubiertos en condiciones que impidan el escurrimiento, el derrame o la emisión del material particulado durante el mismo.

Artículo 16º.- En rellenos sanitarios sólo se podrá disponer lodos de las clases A y B, para lo cual se requerirá de una autorización sanitaria que permita disponer dichos lodos

conjuntamente con los residuos domiciliarios.

La aprobación del respectivo proyecto estará sujeta a que el diseño y la operación del relleno sanitario garanticen que la disposición de lodos no afectará su estabilidad, todo ello sin perjuicio del cumplimiento de la reglamentación sanitaria vigente sobre rellenos sanitarios.

La cantidad de lodos a disponer diariamente en un relleno sanitario no deberá ser superior a un 6% del total de los residuos dispuestos diariamente, pudiendo autorizarse, en condiciones técnicas justificadas, hasta un 8%.

La humedad media diaria del lodo a disponer no deberá superar el 70%, con un máximo de 75% por muestra. En caso de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas con una capacidad de hasta 30.000 habitantes, la humedad media diaria del lodo no debe superar el 75%, con un máximo de 80% por muestra.

Artículo 17º.- En mono-rellenos para lodos sólo se podrán disponer lodos que cumplan con los criterios de estabilización señalados en el artículo 6 del presente Reglamento.

Los mono-rellenos para lodos podrán ser proyectados como instalaciones anexas a las plantas de tratamiento de aguas servidas o rellenos sanitarios, o independientes de éstos.

Sin perjuicio de la reglamentación sanitaria vigente aplicable a la disposición final de residuos sólidos, los proyectos de mono-rellenos para lodos deberán considerar un sistema de impermeabilización y de control de gases y olores.

Durante la operación del mono-relleno se requerirá del recubrimiento diario de los lodos, pudiendo la Autoridad Sanitaria exigir una mayor frecuencia si se generan problemas de olores durante la operación del sitio.

Asimismo, en aquellos mono-rellenos que se encuentren en operación según lo prescrito en el párrafo precedente, la Autoridad Sanitaria podrá autorizar una frecuencia menor de recubrimiento de los lodos. Para estos efectos, el titular del mono-relleno deberá presentar una solicitud a dicha Autoridad en la que se adjunte una justificación técnica que se base, entre otros, en antecedentes operacionales de la instalación. En todo caso, la Autoridad Sanitaria, en la respectiva autorización, deberá establecer los requerimientos que deberá cumplir el mono-relleno, incluida la disponibilidad de material de cobertura y de maquinaria, para asegurar el recubrimiento inmediato de los lodos en caso de detectarse problemas de emanación de olores molestos, de proliferación de vectores o ante condiciones climáticas o ambientales no consideradas en los antecedentes de la solicitud presentada a la Autoridad Sanitaria.

Artículo 18º.- La Autoridad Sanitaria podrá liberar de las obligaciones señaladas en este título a los operadores de plantas de tratamiento de aguas servidas con una capacidad inferior a 2.500 habitantes equivalente o que generen hasta 100 kg. de lodos base materia seca al día.

III. NCH 409/1 Of.2005

Oficialización de nueva norma NCH409/1

- Esta nueva norma anula y reemplaza a la norma NCH 409/1 de 1984, que fuese declarada oficial por decreto MINSAL Nº 11 del 16 de enero de 1984 publicado en diario oficial el 03 de marzo de 1984.
- La nueva norma ha sido aprobada por el consejo de INN en sesión del 26 de julio de 2005.
- La nueva norma ha sido declarada oficial de la República de Chile por decreto exento Nº 446 del Ministerio de salud, de fecha 16 de junio de 2006. El decreto de oficialización de la nueva norma fue publicado en el diario oficial el día 27 de junio de 2006

Alcance y campo de aplicación

- Esta norma establece los requisitos de calidad que debe cumplir el agua potable en todo el territorio nacional.
- Esta norma se aplica al agua potable proveniente de cualquier servicio de abastecimiento.
- Servicio de agua potable: Aquel conformado por una red de distribución de agua potable independiente, operando en condiciones normales, constituido por una o más fuentes, sus obras de conducción, tratamiento, regulación y distribución.
- Esta norma se aplica para el agua potable en el sistema de distribución y muestreada como se establece en NCH 409/2.

PRINCIPALES CAMBIOS EN NCH 409/1

Agrupación de parámetros por tipo:

- Tipo I: Microbiológicos y Turbiedad.
- Tipo II: Sustancias Químicas de importancia para la salud: Estas se subdividen en: - Elementos esenciales - Elementos no esenciales - Sustancias orgánicas - Plaguicidas - Productos secundarios de desinfección.
- Tipo III: Elementos Radiactivos.
- Tipo IV: Parámetros Organolépticos.
- Tipo V: Parámetros de Desinfección.

Incorporación concepto de Parámetros Críticos: Parámetros característicos de las fuentes de abastecimiento o del servicio, de tipo tóxicos u organolépticos (Tipo II o Tipo IV), que en ausencia o falla del tratamiento, superan el límite máximo especificado por la norma.

Tolerancia para Parámetros Críticos

- Sólo para elementos esenciales, no esenciales y organolépticos

- 10 %, cuando se analicen 10 o más muestras mensuales.
- 1 muestra, cuando se analicen menos de 10 muestras mensuales.
- El promedio aritmético de todas las muestras no debe exceder el límite máximo correspondiente.
- Para el caso de cobre, fluoruro, nitrato y nitrito, ninguna muestra puntual podrá exceder el doble del límite máximo establecido en la norma.

PRINCIPALES PARÁMETROS MODIFICADOS EN NUEVA NCH 409/1

Tipo I (Turbiedad, cumplimiento simultáneo)

- Turbiedad Media Mensual:
  - ≤ 2 UNT (promedio aritmético)
- Tolerancia muestras con turbiedad > 4 UNT:
  - 5 %, cuando se analicen 20 o más muestras mensuales.
  - 1 muestra, cuando se analicen menos de 20 muestras mensuales.
- Muestras con turbiedad entre 10 y 20 UNT:
  - No pueden presentarse en un mismo periodo de 24 hrs., (días consecutivos).
- Muestras con turbiedad > 20 UNT:
  - No puede presentarse ninguna en el mes.

PARÁMEROS MICROBIOLÓGICOS

- La contaminación microbiológica de las aguas se establece mediante la cuantificación de los denominados: “indicadores de contaminación”.
- Corresponden a grupos de microorganismos que permiten clasificar el agua desde un punto de vista sanitario para sus diferentes usos.
- En el agua potable, el indicador de contaminación utilizado es un grupo de bacterias llamado: “Coliformes totales” y complementariamente E. coli.
- El grupo coliformes está compuesto por diversas bacterias, entre las que se mencionan: Enterobacter, Klebsiella, Escherichia Coli y Citrobacter

Tipo I (Microbiológico, cumplimiento simultáneo)

- El agua potable debe estar exenta de “Escherichia coli”

1) Para el agua distribuida por redes se acepta presencia de bacterias coliformes totales solo en:

1 muestra, si se analizan menos de 10 mensuales

Hasta el 10 %, si se analizan 10 o más mensuales

2) Se acepta presencia de 5 o más bacterias coliformes totales en:

1 muestra, si se analizan menos de 20 mensuales

Hasta el 5%, si se analizan 20 o más mensuales

3) En cada sector del servicio se acepta presencia de coliformes totales en:

1 muestra, si se analizan menos de 4 en el mes

Hasta el 25 %, si se analizan más de 4 en el mes, en dicho sector

PARÁMETROS QUÍMICOS

Tipo II Tabla 1 (Elementos esenciales) Cu, Cr, F, Fe, Mn, Mg,Se,Zn.

- **Se cambian:**

Cobre ≤ 2.0 mg/l

Zinc ≤ 3.0 mg/l

Cromo total ≤ 0.0 5 mg/l en vez de Cromo VI

- **Se mantienen:**

Fluoruro: ≤ 1.5 mg/l

Hierro: ≤ 0.3 mg/l

Manganeso: ≤ 0.1 mg/l

Magnesio: ≤ 125 mg/l

Selenio: ≤ 0.01 mg/l

Tipo II Tabla 2 (Elementos no esenciales) As, Cd, CN, Hg, NO3,NO2, Pb

- **Se cambian:**

Arsénico ≤ 0.01 mg/l

Cianuro ≤ 0.05 mg/l

NO3 ≤ 50 mg/l

NO2 ≤ 3 mg/l

[NO3] + (NO2) ≤ 1 50 3

- **Se mantienen:**

Cadmio: ≤ 0.01 mg/l

Mercurio: ≤ 0.001 mg/l

Plomo: ≤ 0.05 mg/l

Tipo II Tabla 3 (Sustancias Orgánicas)

- **Se incorporan:**

Tetracloroeteno ≤ 40 ug/l

Benceno ≤ 10 ug/l

Tolueno ≤ 700 ug/l

Xilenos ≤ 500 ug/l

Tipo II Tabla 4 (Plaguicidas)

- **Se eliminan:**

Heptaclor - H.epóxido, Clordano, Hexaclorobenceno, Aldrin-Dieldrin, Endrin, Fenoprop, Toxafeno.

- **Se cambian:**

DDT + DDD + DDE : ≤ 2 ug/l

2,4 D : ≤ 30 ug/l

Lindano : ≤ 2 ug/l

Metoxicloro : ≤ 20 ug/l

- **Se incorpora:**

Pentaclorofenol : ≤ 9 ug/l

Tipo II Tabla 5 (Productos Secundarios de Desinfección)

- **Se incorporan:**

Monocloramina ≤ 3 mg/l

Dibromoclorometano ≤ 0,1 mg/l

Bromodiclorometano ≤ 0,06 mg/l

Tribromometano ≤ 0,1 mg/l

Trihalometanos ≤ 1 (*)

(*) Suma de las razones entre la concentración medida de cada uno y su respectivo límite máximo Se cambia: Triclorometano ≤ 0.2 mg/l

Tipo IV (Organolépticos)

Color verdadero, Olor, Sabor, Amoníaco, Cloruro, Sulfato, pH, Sólidos disueltos totales, Compuestos fenólicos.

- **Se cambian:**

Amoniaco (NH_3) ≤ 1.5 mg/l

Cloruros ≤ 400 mg/l

Sulfatos ≤ 500 mg/l pH entre 6.5 y 8.5 unidades

Sólidos disueltos ≤ 1500 mg/l

- **Se mantienen:**

Color verdadero: ≤ 20 unidades Pt-Co

Olor: Inodora

Sabor: Insípida

Compuestos fenólicos: ≤ 0.002 mg/l

PARÁMETROS DE DESINFECCIÓN

Tipo V (de desinfección)

- Se establece máximo de cloro libre residual:
  - ≤ 2 mg/l
- Se cambia tolerancia para mínimo de 0.2 mg/l:
  - Solo hasta el 10 % de las muestras analizadas en el mes
- Se cambia tolerancia para ausencia de desinfectante residual (0.0 mg/l):
  - 3 muestras, cuando se analicen 100 o más muestras mensuales.
  - Solo 1 muestra, cuando se analicen menos de 100 muestras mensuales.
- Todo desinfectante distinto de cloro debe ser autorizado por MINSAL.

IV. COSTOS DE INVERSION Y MANTENIMIENTO DE UNA FOSA SEPTICA.

Dotación		150	l /hab/d
	Coeficiente de Recuperación	0,8	

	Condiciones de terreno		normal sin napa freatica
	Indice de absorción	80	l/m²/d

Mantención			
	Duración	2	años
	Actividad		Extracción Lodos cada seis meses

Nº habitantes	5		10		16		20		30	
Capacidad Util Fosa Horizontal , l	1.000		2.000		3.500		4.000		6.000	
Fosa horizontal , Nº	1	$ 128.000	1	$ 289.000	1	$ 410.000	1	$ 590.000	1	$ 756.000
Camara Desgrasadora 170 l , Nº	1	$ 39.980	2	$ 79.960	3	$ 119.940	4	$ 159.920	6	$ 239.880
Camara de inspeccion , Nº	1	$ 34.980	2	$ 69.960	3	$ 104.940	4	$ 139.920	6	$ 209.880
Camara de reparticion de drenes , Nº	1	$ 29.980	1	$ 29.980	1	$ 29.980	1	$ 29.980	1	$ 29.980
Drenes diametro 110mm, m	15	$ 33.750	25	$ 56.250	35	$ 78.750	50	$ 112.500	75	$ 168.750
Geotextil anti-contaminante , m	15	$ 17.250	25	$ 28.750	35	$ 40.250	50	$ 57.500	75	$ 86.250

Costo Inversión, $									
Sin IVA	$ 283.940		$ 553.900		$ 783.860		$ 1.089.820		$ 1.490.740
Con IVA	$ 337.889		$ 659.141		$ 932.793		$ 1.296.886		$ 1.773.981

Costo Mantención, $/año	$ 50.000		$ 50.000		$ 50.000		$ 50.000		$ 100.000

Fuente : INFRAPLAST

Caudal, l/s	0,007		0,014		0,022		0,028		0,042	
, m3/d	0,60		1,20		1,92		2,40		3,60	
Período Retención, d	1,67		1,67		1,82		1,67		1,67	

Costo Inversión, $/hab				$ 67.578		$ 55.390		$ 48.991		$ 54.491		$ 49.691
N.º habitantes	40		50		100		150		200		250	
Capacidad Útil Fosa Horizontal, l	8.000		10.000		20.000		30.000		40.000		50.000	
Fosa horizontal, N.º	1	$ 1.176.000	1	$ 1.525.000	1	$ 3.100.000	1	$ 4.600.000	1	$ 5.990.000	1	$ 7.425.000
Cámara Desgrasadora 170 l , Nº	8	$ 279.840	10	$ 349.800	20	$ 699.600	30	$ 1.049.400	40	$ 1.399.200	50	$ 1.749.000
Camara de inspeccion , Nº	8	$ 319.840	10	$ 399.800	20	$ 799.600	30	$ 1.199.400	40	$ 1.599.200	50	$ 1.999.000
Camara de reparticion de drenes, Nº	1	$ 29.980	1	$ 29.980	3	$ 89.940	6	$ 179.880	9	$ 269.820	12	$ 359.760
Drenes diametro 110mm, m	120	$ 270.000	150	$ 337.500	300	$ 675.000	450	$ 1.012.500	600	$ 1.350.000	750	$ 1.687.500
Geotextil anti-contaminante, m	120	$ 138.000	150	$ 172.500	300	$ 345.000	450	$ 517.500	600	$ 690.000	750	$ 862.500

Costo Inversión, $												
	Sin IVA	$ 2.213.660		$ 2.814.580		$ 5.709.140		$ 8.558.680		$ 11.298.220		$ 14.082.760
	Con IVA	$ 2.634.255		$ 3.349.350		$ 6.793.877		$ 10.184.829		$ 13.444.882		$ 16.758.484

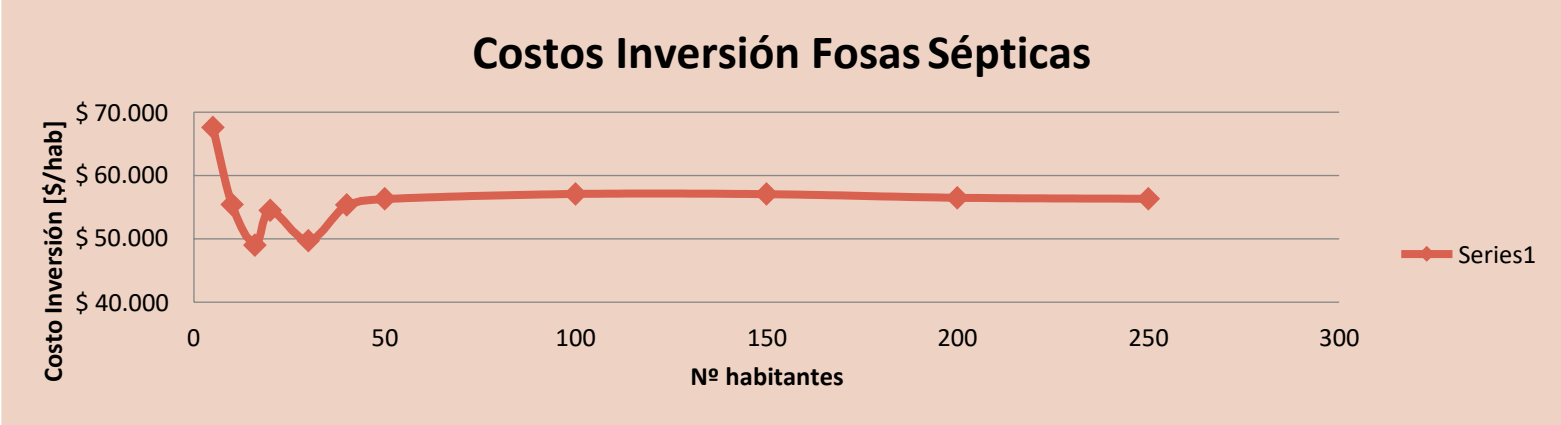
Costo Mantención, $/año		$ 150.000		$ 150.000		$ 250.000		$ 500.000		$ 500.000		$ 500.000

Fuente: INFRAPLAST

Caudal , l/s	0,056		0,069		0,139		0,208		0,278		0,347	
, m3/d	4,80		6,00		12,00		18,00		24,00		30,00	
Período Retención, d	1,67		1,67		1,67		1,67		1,67		1,67	

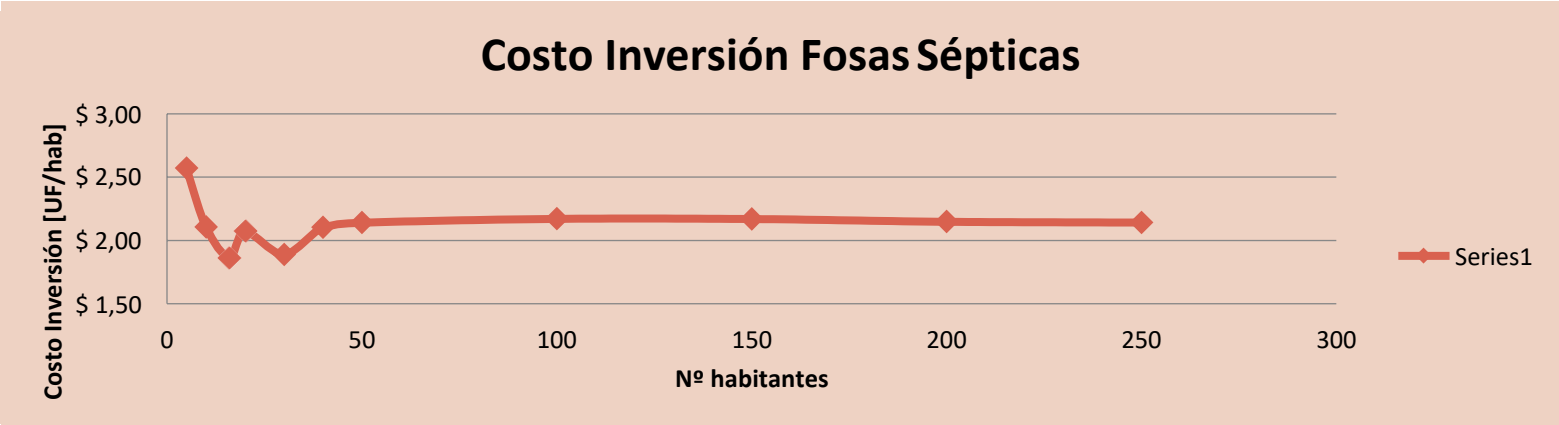
Costo Inversión , $/hab		$ 55.342		$ 56.292		$ 57.091		$ 57.058		$ 56.491		$ 56.331

Hab	$/hab
5	$ 67.578
10	$ 55.390
16	$ 48.991
20	$ 54.491
30	$ 49.691
40	$ 55.342
50	$ 56.292
100	$ 57.091
150	$ 57.058
200	$ 56.491
250	$ 56.331



UF 26292,51 $ (18-11-2016)

Hab	UF/hab
5	$ 2,57
10	$ 2,11
16	$ 1,86
20	$ 2,07
30	$ 1,89
40	$ 2,10
50	$ 2,14
100	$ 2,17
150	$ 2,17
200	$ 2,15
250	$ 2,14



V. Diseño en Autodesk Inventor

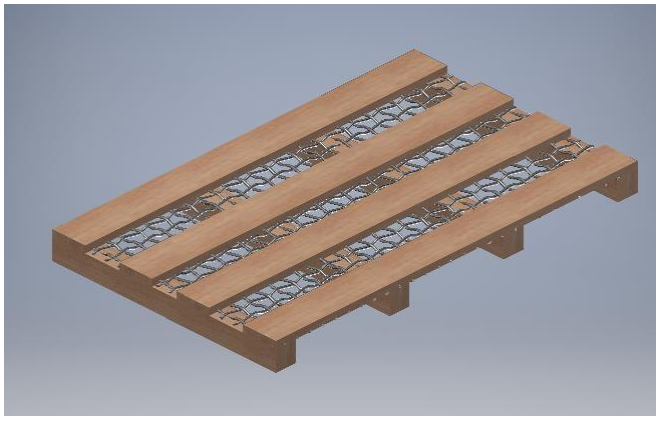


Ilustración 32 Modulo inferior.

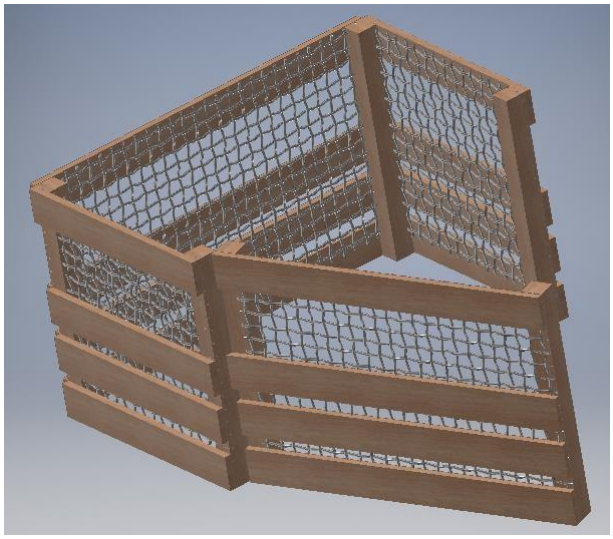


Ilustración 33 Módulos laterales y puerta.

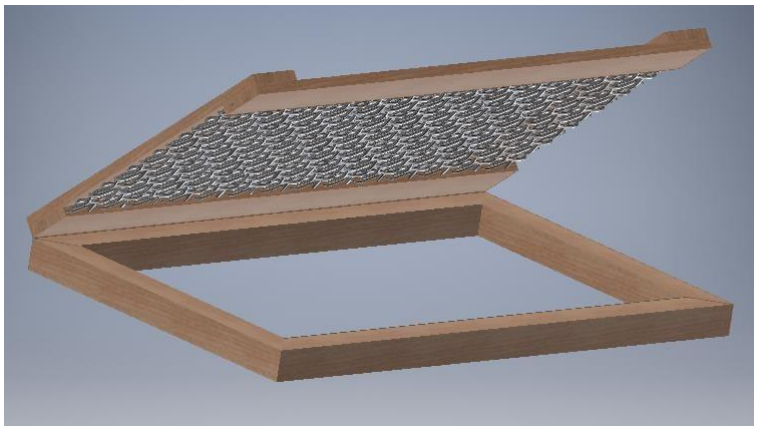


Ilustración 34 Modulo superior.

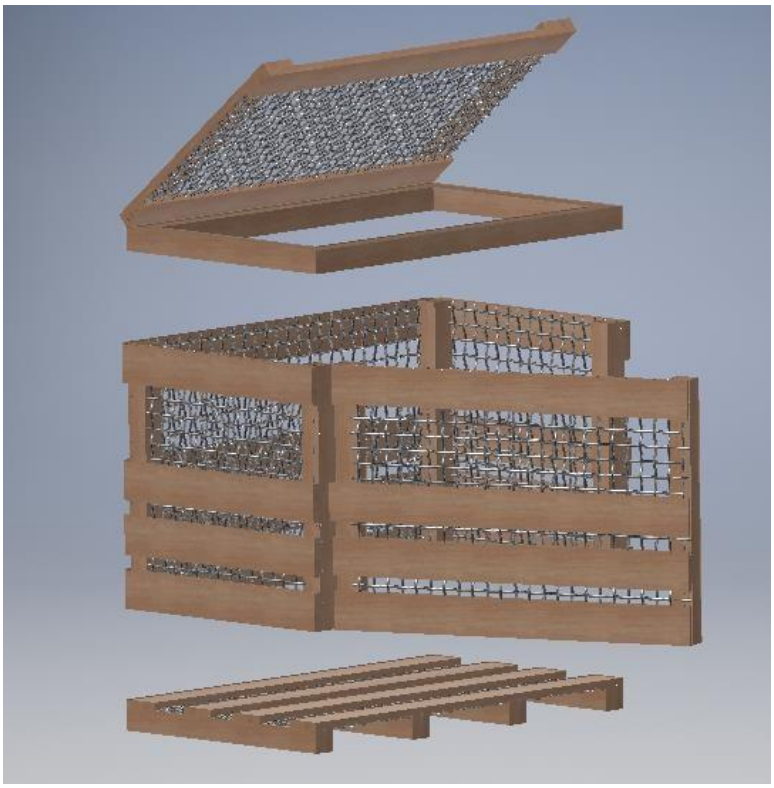


Ilustración 35 Ensamblaje final.

VI. Pancarta de Información

Figure 1 Pancarta de informacion 90x62 [CM]

VII. Manual del compostaje

Manual del compostaje

El compostaje es un proceso de degradación natural, en el cual se completa el ciclo natural de nutrientes presentes en alimentos y compuestos orgánicos. Existen pequeños organismos, entre ellos bacterias, protozoos y hongos que son los encargados de realizar este proceso, estos microorganismos tienen la característica de liberar energía al realizar su proceso metabólico, esta energía se transforma en calor y es el calor lo que ayuda a eliminar los virus y patógenos que pueden existir en nuestra pila de compost. ¡Una pila de compost puede alcanzar hasta 70° [C] en su interior!

Nosotros somos los encargados de generar un ambiente adecuado para que estos microrganismos y para poder lograr esto tenemos que tener en cuenta los 4 pilares fundamentales de una pila de compost, el balance carbono/nitrógeno, el oxígeno, la humedad y la temperatura.

Carbono/nitrógeno

A continuación, te mostramos las proporciones que contienen los residuos orgánicos más comunes:

Material	Proporción C/N
Pulpa de manzana	13
Café molido	20
Estiércol de vaca	19
Mazorcas de maíz	60-73
Helechos	43
Restos de pescado	3.6
Fruta	40
Pasto Cortado	12-19
Corteza de madera	223
Estiércol de gallina	6-15
Estiércol de caballo	25-30
Heces Humanas	5-10
Hojas	54
Periódico	398-852
Cebollas	15
Papel	100-800
Estiércol de cerdo	14
Orillas de papa	25
Algas de mar	19
Estiércol de ovino	16
Paja (avena)	60
Paja (trigo)	80-127
Tomate	12
Desechos de pavo	16
Orina	0.8
Orillas de nabos (rabanitos, betarragas, etc…)	19

Serrín Crudo	511

Si bien nunca lograras una combinación de C/N nitrógeno perfecta, es importante que tengas una noción de lo que estas agregando a tu pila de compost y que recuerdes que la proporción ideal debe variar entre 25-35. Es por esto, que al agregar un material rico en nitrógeno como estiércol humano (proporción 5-10), debes incorporar además un material rico en carbono como las mazorcas de maíz en la misma cantidad, lo que dará como resultado una mezcla con una proporción entre 25-35.

Una manera más simple de hacerlo es agregar a la mezcla que se generó (heces y material secante) en el contenedor de 15 lts de tu baño seco y agregar 2 puñados de hojas secas, paja u otro material rico en carbono.

Oxigeno

El proceso de compostaje puede ocurrir de 2 formas, anaeróbicamente (sin presencia de oxigeno) o de manera aeróbica (con presencia de oxigeno). Sin embargo, el compost anaeróbico tiende a producir malos olores, es por esto, que es importante mantener nuestra pila de compost trabajando de manera aeróbica. Generar canales para que ingrese aire a nuestra pila de compost y de voltear la pila cada 5-6 semanas son algunas de las mejores maneras de mantener la pila de compost con la cantidad adecuada de oxígeno. También es importante evitar la compactación de los residuos ya que esto impedirá un flujo libre de aire.

Humedad

Como todo ser vivo, los microorganismos necesitan agua para poder subsistir, mantener la pila húmeda es una tarea importante. Si no existe la humedad suficiente, la actividad microbiana no sucederá, y la pila de compost quedará ahí. Contrariamente si hay un exceso de agua, se formaran aglomeración en el compost, lo que impedirá un libre flujo de oxígeno y saldrán malos olores. La humedad ideal para una pila de compost es entre un 60% hasta un 90% máximo.

Visualmente la pila de compost se debe ver húmeda pero no debe escurrir agua por los costados o por debajo, esto indica un exceso de agua.

En caso de que exista un exceso de agua, se recomienda agregar material secante, como serrín o paja, intentando mantener la proporción C/N. Por el contrario, si una pila de compost está seca, ¡simplemente riégala!

Temperatura

La temperatura es el elemento principal para lograr un saneamiento correcto de nuestra pila de compostaje, ya que es la temperatura la responsable de eliminar agentes patógenos, virus u otros dañinos que estén presentes en la pila.

Si bien la temperatura adecuada se logra con una buena combinación de los otros 3 pilares del compostaje. Es importante mantener el calor dentro de la pila de composta y evitar que este se escape, esto se logra cubriendo la pila de compost con material secante como paja u hojas secas para se genere una capa aislante. Además, no se recomienda voltear la pila de compost en tiempos menores a 5-6 semanas ya que esto disipa el calor y no lograra alcanzar la temperatura adecuada.

¿Qué le puedo agregar a mi compost?

-Restos de cosecha, plantas del huerto o jardín. Ramas trituradas o troceadas procedentes de podas, hojas de árboles y arbustos. Heno y hierba sesgada. Césped o pasto (preferiblemente en capas finas)

-Estiércol de porcino, vacuno, caprino, gallina y ovino.

-Restos orgánicos de la cocina en general (frutas y hortalizas). Alimentos estropeados o caducados. Cascaras de huevo (Preferible trituradas). Restos de café. Restos de té e infusiones. Cascaras de frutos secos, de naranja y cítricos. En general todo material vegetal que se deseche de la cocina.

-Aceites y grasas comestibles (no abusar)

-Virutas de serrín (en capas finas)

-Heces humanas y el papel higiénico utilizada en la defecación.

-Cortes de pelo (no teñido), residuos de esquilado de animales.

-Servilletas, pañuelos de papel, papel y cartón (siempre y cuando no estén impresos ni coloreados, a veces la tinta trae productos químicos que dañan nuestra pila de compost. Además, es importante no abusar de esto, ya que son materiales excesivamente ricos en carbono)

¿Qué no agregar a mi compost?

-Residuos químicos-sintéticos, pegamentos, solventes, gasolina, petróleo, aceite de vehículo, pinturas.

-Materiales no degradables (vidrios, metales, plásticos)

-Aglomerados o contrachapados de madera (ni sus virutas o serrín)

-Tabaco, debido a su contenido de nicotina que es toxica para nuestra pila de compost.

-Detergentes, productos clorados, antibióticos, residuos de medicamentos o agua que contenga alguno de los productos mencionados, por ejemplo, el agua de la lavadora.

-Animales grandes muertos

¿…… y la carne que sobra de la cocina? Si bien no es recomendable agregarla a nuestra pila de compostaje, lo podemos hacer, pero intentando que sean pedazos pequeños para favorecer el proceso de descomposición, ¡no abusar!

Problemas que pueden surgir

-Mi compost está generando malos olores ☹: Lo más probable es que tu pila de compost tenga un exceso de nitrógeno, agrega más material rico en carbono como las hojas de árboles o heno.

Revisa también que no tenga un exceso de agua, lo que a su vez impedirá el paso del aire, recuerda que una pila de compost no debe gotear ni filtrar agua por su base, en este caso revuelve y agrega materiales secos.

-Mi pila de compost está seca, simplemente riégala!

Instrucciones:

1) Una vez tengas tu compostera en las manos, busca un lugar adecuado en donde te acomode y no moleste realizar tu compost. Recuerda que una vez empieces el proceso será muy difícil cambiar de lugar. Si vives en un lugar donde hay muchas precipitaciones, es recomendable que elijas un lugar cubierto de la lluvia.
2) Agrega ramas y material secante como hojas secas o paja al fondo de la compostera, procurando que queden espacios entre ellos, creando así un colchón que permitirá el paso del aire.
3) Recolecta el material orgánico que le vas a agregar a tu pila, procura que no haya partículas con más de 10 [cm] de diámetro.
4) Agrega el material orgánico en conjunto con las heces de tu baño seco, procurando mantener una proporción C/N adecuada.
5) Riega la pila de compost.
6) Tapa completamente con material seco. ¡Es importante cubrir bien para evitar malos olores!
7) Cuando vuelvas a agregar material orgánico, remueve el material seco con el cual habías tapado el compost anteriormente, realiza un agujero en el material que ya estaba en proceso de compostaje (alrededor de 15-20 cm) y agrega los nuevos residuos.
8) Vuelve a tapar la pila de compost con material secante

Además:

*Es bueno que cada 5-6 semanas aproximadamente revuelvas y mezcles la pila completa para evitar la aglomeración y ayudar a la circulación del aire.

*Si ves tu pila de composta demasiado seca, no dudes en regarla. Para que ocurra el proceso biológico de descomposición, es necesario que la pila de composta este húmeda.

*Es muy importante que cada vez que agregues material secante o revuelvas, cubras completamente y con material secante abundante la pila de compost. Así evitaras la presencia de moscas.