

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ing. Pedro Cisterna Osorio.

**EFFECTOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR
SOBRE LA HUMEDAD DE LODOS DE
PLANTAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS
RESIDUALES**

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

CRISTIAN JAVIER ORELLANA SANHUEZA

Concepción, Marzo 2014

NOMENCLATURA

PTAR: Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales.

SV: Sólidos Volátiles

SM: Sólidos Minerales

UBB: Universidad Del Bio Bio

RRSS: Residuos Sólidos

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN.....	5
1.1 Justificación del Tema.....	6
1.2 Descripción del Proyecto.....	7
1.3 Objetivos del Proyecto.....	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
CAPITULO II MARCO TEORICO.....	10
2.1 Calidad de los Lodos de Acuerdo a las Normativas Propuestas.....	10
2.2 Normativa para el Manejo de Residuos Sólidos (RS).....	10
2.2.1 Transporte.....	10
2.3 Factores que Afectan el Secado de Lodos.....	11
2.3.1 Temperatura.....	11
2.3.2 Humedad.....	12
2.3.3 Transferencia por Radiación.....	13
2.3.4 Transferencia por Convección.....	14
2.3.5 Transferencia por Conducción.....	15
CAPITULO III METODOLOGÍA.....	17
3.1 Preparación de experiencia.....	17

3.1.1 Emplazamiento de la investigación.....	17
3.1.2 Recolección y transporte.....	18
3.1.3 Montaje de las pilas.....	18
3.1.4 Características geométricas de las pilas.....	18
3.1.5 Clasificación de las pilas.....	18
3.2 Elementos que ayudan a la transferencia de calor.....	19
3.2.1 Invernadero.....	19
3.2.2 Placas metálicas.....	20
3.3 Descripción de Experiencia.....	21
3.3.1 Medición de parámetros.....	21
3.3.2 Metodología para la medición de las variables.....	21
CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	23
4.1 Introducción.....	23
4.2 Análisis y comparación entre las tres experiencias.....	23
4.2.1 Comparación de las Temperaturas del Ambiente, Invernadero, y Muestras.....	23
4.2.2 Análisis de la Humedad Versus Tiempo y Temperatura.....	26
4.2.3 Evolución de SV en las Pilas.....	29
4.2.4 Evolución de SM en las Pilas.....	31
4.3 Pérdida de volumen y masa de las pilas.....	32
4.3.1 Análisis numérico de la pérdida de volumen y masa de las pilas.....	32

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
5.1 Conclusiones.....	35
5.2 Recomendaciones.....	36
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37
ANEXOS.....	39
ANEXO A. Realización de metodología.....	40
ANEXO B. Métodos utilizados en evaluación de parámetros durante el proceso.....	42
ANEXO C. Datos de las pilas.....	48
ÍNDICE FIGURAS	
Figura 1. Curva de Secado Mostrando los Diferentes Tipos de Humedad del Lodo.....	12
Figura 2. Pila 1, Envuelta por malla opaca.....	18
Figura 3. Pila 2, Inclusion de Placas Metalicas.....	19
Figura 4. Pila 3, Sometida a Radiación Directa.....	19
Figura 5. Invernadero Donde se Encuentran las Pilas.....	19
Figura 6. Construcción Placas Metálicas.....	20
Figura 7. Placas Metálicas en Pila 2.....	20
Figura 8. Comparación de Temperaturas Exteriores y Pila 3.....	24
Figura 9. Comparación de Temperaturas Exteriores y Pila 2.....	24

Figura 10. Comparación de Temperaturas Exteriores y Pila 1.....	25
Figura 11. Comparación de Temperaturas de Pilas.....	26
Figura 12. Comparación de Humedad Versus Tiempo.....	27
Figura 13. Comparación Temperaturas Versus Humedad Pila 3 Versus Tiempo.....	28
Figura 14. Comparación Temperaturas Versus Humedad Pila 2 Versus Tiempo.....	28
Figura 15. Comparación Temperaturas Versus Humedad Pila 1 Versus Tiempo.....	29
Figura 16. Variación de SV en el tiempo de las pilas.....	30
Figura 17. Variación de SM en el tiempo de las pilas.....	31

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medición de Parámetros.....	21
--------------------------------------	----

EFFECTOS DE LA TRANSFERENCIA DE CALOR SOBRE LA HUMEDAD DE LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Autor: Cristian Orellana Sanhueza

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

Correo Electrónico: criorell@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Ing. Pedro Cisterna Osorio.

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

Correo Electrónico: pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN

Las Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR), presentan un problema con el residuo que se obtiene de su proceso. Los lodos (biomasa que decanta luego de pasar por el proceso de biodegradación) poseen un gran porcentaje de humedad, teniendo que pasar por un proceso de deshidratación mecánica, de manera de reducir su contenido. Sin embargo luego de pasar el proceso de deshidratación el porcentaje de humedad que disponen estos lodos es alrededor de un 80% – 85%.

Esta investigación tiene por finalidad comparar los efectos de la transferencia de calor sobre la humedad de lodos de PTAR bajo diferentes condiciones.

Para lograr los objetivos de esta investigación se establecieron tres pilas de lodos, todas dispuestas dentro de un invernadero.

Una de las pilas poseerá la inclusión de unas placas transferidoras de calor, otra de las pilas de lodo estará recubierta por una malla opaca y finalmente la última se expondrá a la radiación solar que atraviesa al invernadero.

Durante la investigación se evaluaron los siguientes parámetros para controlar el buen funcionamiento de la experiencia: temperatura, porcentaje de humedad, porcentaje de sólidos volátiles y minerales.

Palabras claves: Lodos de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales, Secado de lodos, Porcentaje de Humedad.

Número de palabras = 7.823 Palabras texto + 19 Figuras/Tablas*250 = 12.573.-

EFFECTS OF SOLAR RADIATION ON MOISTURE OF SLUDGE FROM SEWAGE TREATMENT PLANTS

Author: Cristian Orellana Sanhueza

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

Email: criorell@alumnos.ubiobio.cl

Teacher Guide: Ing. Pedro Osorio Cisterna.

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

Email: pcisterna@ubiobio.cl

ABSTRACT

The treatment plants (PTAR) treat the contaminated water, have a problem with the residue that remaining. The sludge (residues that decanted after passing through the sedimentation process wastewater) have a large percentage of moisture, having to happen for a process that dehydrates a bit these sludge, in order to reduce the humidity.

However, after spending the dehydration process the percentage of moisture that have these sludge is about 80% - 85%.

This investigation has for purpose compare the effects of the solar radiation on the dampness of PTAR exposed to different conditions of way to minimize the expenses for transported tons.

To achieve the objectives of this investigation there were three piles of sludge exposed manner similar to the real, but that have different conditions when receiving solar radiation.

A pile of sludge will undergo diffuse solar radiation, another pile of sludge will expose direct radiation and finally the last one will be exposed to direct radiation but in addition it will possess elements that help to transfer the heat towards the interior of the pile.

During the investigation the following parameters were evaluated to control the good functioning of the experience: temperature, percentage of dampness, percentage of solid volatile and mineral.

CAPITULO 1

INTRODUCCIÓN.

Debido a que la sociedad cada vez crece de forma más acelerada, esta va necesitando de mayor cantidad de servicios que satisfagan sus necesidades. También la necesidad por urbanizar cada vez más a la población ha requerido de grandes inversiones en cuanto a servicios básicos, como agua potable, electricidad, recolección de basura, servicio de alcantarillado, recolección de residuos sólidos (RRSS).

Las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) se encargan de depuran las aguas servidas de manera de no generar un impacto negativo sobre el medioambiental.

Estas plantas luego de culminado su proceso, obtienen un producto sólido, que es lodo, el cual se obtuvo el en proceso de decantación.

En la actualidad las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) presentan un gran problema a la hora de transportas sus lodos, puesto que estos generan un gran gasto en lo que se refiere a toneladas transportadas, debido al contenido de agua que estas poseen. La reducción de humedad de estos lodos aminora su costo de transporte.

En la presente investigación se estudian tres pilas con la misma composición de lodos, a las cuales se les somete a diferentes condiciones de transferencia de calor, con la finalidad de establecer diferencias que permitan concluir acerca de la influencia del parámetro de humedad y temperatura en los lodos de plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR).

Se incluye además el fundamento teórico de los lodos de plantas de tratamientos de aguas residuales, como la transferencia de calor, la metodología empleada, el análisis de resultados y finalmente las conclusiones y recomendaciones correspondientes.

1.1 Justificación del Tema.

Considerando la problemática a la hora de transportar los lodos, debido a él gran porcentaje de humedad que estos poseen, generan un costo adicional a la hora de transportarlos. Para ello se deben impulsar nuevas tecnologías o alternativas para poder reducir su contenido de humedad.

Se plantea en esta investigación comparar los efectos de la transferencia de calor sobre la humedad de lodos de PTAR dispuestos en diferentes condiciones de manera de minimizar los gastos por toneladas transportadas.

La transferencia de calor es uno de los mecanismos de mayor importancia en la reducción de la humedad, puesto que este factor influirá en cada una de las muestras, ya sea por transferencia de calor por radiación, por conducción por convección o todas actuando de manera conjunta.

1.2 Descripción del Proyecto.

Este trabajo contempla un estudio sobre la incidencia de la transferencia de calor en la reducción de la humedad de lodos de plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) para ello se realiza un seguimiento de los factores más importantes a considerar como lo son: temperatura, el control del contenido de agua en el proceso de secado de los lodos y solidos volátiles y minerales.

Los lodos se dispondrán a tres diferentes condiciones de manera de poder diferenciar cuál de ellos se comportara de mejor manera reduciendo la humedad de estos lodos.

Esta experiencia se realizará en la comuna de Concepción, en las instalaciones de la Universidad del Bío-Bío (UBB), durante la temporada de Otoño-Invierno (mayo-junio) del año 2014, con el propósito de evaluar la influencia de la humedad en los lodos de PTAR.

Se construirá un invernadero de manera de aprovechar el efecto producido por la radiación solar que al atravesar un plástico u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay adentro, estos a su vez, emiten radiación infrarroja, con una longitud de onda mayor que la solar, por lo cual no pueden atravesar el plástico a su regreso quedando atrapados y produciendo el calentamiento dentro de este.

El plástico usado para un invernadero trabaja como medio selectivo de la transmisión para diversas frecuencias espectrales, y su efecto es atrapar energía dentro del invernadero, que calienta el ambiente interior. También sirve para evitar la pérdida de calor por convección

Dentro de este invernadero se dispondrán tres pilas. Una de las pilas de lodo estará recubierta por una malla opaca.

Otra de las pila que estará dentro del invernadero, se le insertaran unas placas metálicas cuya superficie poseerá un vidrio que amplificara la radiación solar transmitida hacia esta superficie cristalina, que a su vez transferirá el calor por conducción hacia el interior de la muestra de lodo, teniendo por finalidad aumentar la temperatura de la pila.

La otra muestra que estará dentro del invernadero se expondrá a la radiación solar que atraviesa al invernadero, sin la inclusión de ningún otro elemento adicional.

Luego de concluida la toma de muestras, se realizara un análisis comparativo de cada una de las variables que fueron objeto de estudio de esta experiencia.

1.3 Objetivos del Proyecto.

1.3.1 Objetivo general

Estudiar el efecto de la transferencia de calor sobre la humedad de lodos de plantas de tratamientos de aguas residuales.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Realizar la construcción de tres pilas de lodos de plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) experimentales, manteniendo condiciones constantes.
2. Realizar un análisis comparativo considerando la configuración de mecanismos transferidores de calor, evaluando las pérdidas de humedad en cada pila.
3. Realizar un análisis comparativo entre la pérdida de humedad de las muestras y la disminución de los Sólidos Volátiles.

CAPITULO II MARCO TEORICO.

2.1 Calidad de los Lodos de Acuerdo a las Normativas Propuestas.

En las plantas de tratamientos de aguas residuales, la biomasa que lleva a cabo la tarea de descontaminar las aguas servidas, se va incrementando continuamente, por lo que es necesario purgar los excedentes de esta. Estos se denominan lodos de depuradora o biosólidos.

La normativa actual (Decreto 4; Reglamento para el manejo de lodos generados en PTAR), exige que estos lodos cumplan con ciertas características de mineralización. Esta consiste en alcanzar una determinada proporción de materia mineral en los lodos a través de la reducción de la materia volátil; además, también exige cumplir con un determinado nivel de humedad de estos, el cual consiste en reducir a un determinado porcentaje la cantidad de agua presente en lodos (Conama, 2009)

Según la norma, se destacan las restricciones para la amplificación benéfica de los lodos al suelo, su disposición y transporte.

El transporte de lodos que cumpla con los criterios para lodos de Clase A o B, 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 tiempo.

2.2 Normativa para el Manejo de Residuos Sólidos (RRSS).

2.2.1 Transporte

En general no existen normativas específicas para el transporte de residuos sólidos, sin perjuicio de lo dispuesto en la resolución del servicio de salud del ambiente de la región metropolitana, la cual establece la obligación de los transportistas de residuos sólidos a completar la parte que les corresponde en el documento de declaración.

Existen las siguientes normas técnicas aplicadas al transporte de residuos sólidos;

Las condiciones de transporte de residuos sólidos están definidas en el D.S N°75/87 del ministerio de transporte y telecomunicaciones, el que establece que eviten el escurrimiento o derrame de los desperdicios transportados. Por otra parte, el ministerio de salud impone la obligación de que el transporte de basuras se haga en vehículos impermeables y cerrados.

Finalmente, el Artículo 81 del código Sanitario dispone que los vehículos y sistemas de transporte de materiales que, a juicio del servicio nacional de salud, puedan significar un peligro o molestia a la población y los de transporte de basuras y desperdicios de cualquier naturaleza, deberán reunir los requisitos que señale dicho servicio, el que además ejercerá vigilancia sanitaria sobre ellos.

2.3 Factores que Afectan el Secado de Lodos.

Los factores que influyen en la actividad de secado y consecuentemente en el proceso de pérdida de humedad de los lodos, es la temperatura (presente tanto en el interior del lodo, como la que interactúa en su exterior), la humedad presente en el lodo, la transferencia de calor que actúe sobre la muestra (ya sea por radiación, por convección o por conducción)

2.3.1 Temperatura.

La temperatura de funcionamiento de un secadero debería ser en teoría, relativamente baja en la primera etapa de secado (evaporación del fango en la superficie del fango) y elevada en la segunda etapa (evaporación del agua en el interior del capilar). Esta combinación es imposible en la mayoría de los sistemas de secado.

En esta experiencia, el sistema de secado dependerá única y exclusivamente de la radiación solar, ya que no habrá un sistema de secado automático no se podrá regular la temperatura con la que interactuaran las muestras. Debido a esto se intentara amplificar en todo momento la temperatura, de modo de que las pilas puedan trabajar con una temperatura interior no menor a 10°C.

2.3.2 Humedad.

Se ha indicado anteriormente que la concentración en materia seca de un lodo, que llamamos deshidratado, suele estar en el entorno del 20 % o 15%, es decir que el mayor constituyente de este lodo es el agua, siendo esto así, esta agua influye en gran medida en la energía necesaria para el secado o deshidratación del lodo y es por esto importante conocer las diversas formas en las que se encuentra esta agua. Este elevado grado de humedad de un lodo se divide en dos clases o categorías: humedad libre y humedad ligada. La humedad libre no está asociada con los sólidos que forman los lodos y se elimina fácilmente. La humedad ligada es clasificada por Tsang y Vesilind en tres tipos: intersticial, superficial y químicamente ligada. La proporción entre la humedad libre y humedad ligada es de suma importancia en la deshidratación de un lodo.

Coackley y Allos estudiaron mediante curvas termogravimétricas, las características de secado de algunos lodos, (en estas curvas se representa la pérdida de peso de agua a temperatura constante). Las curvas muestran que la pérdida de agua durante el secado térmico sigue tres etapas: Una primera etapa en la que la velocidad de secado o pérdida de agua es constante y dos etapas siguientes en las que las velocidades de secado o evaporación disminuyen de forma diferente.

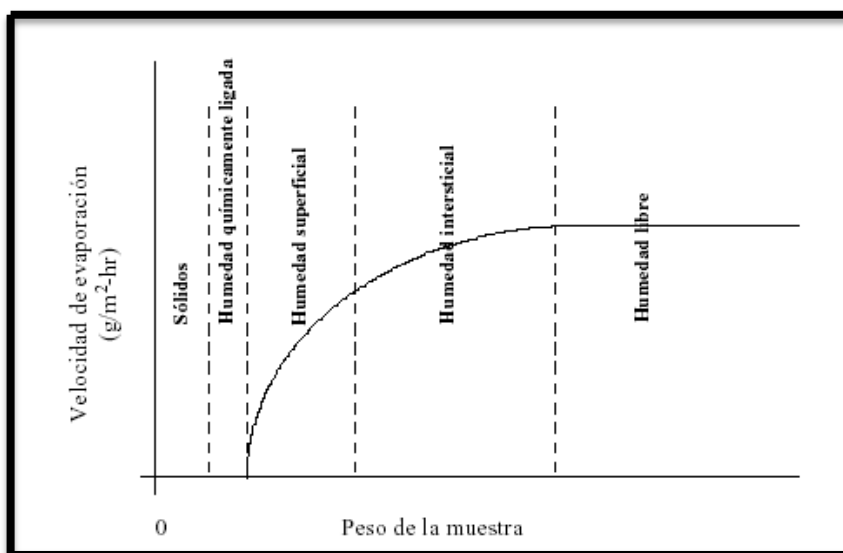


Figura 1. Curva de Secado Mostrando los Diferentes Tipos de Humedad del Lodo.

La humedad libre, constituye la mayor parte del lodo y puede considerarse que termodinámicamente se comporta como agua pura (en la curva anterior sería la eliminada en el periodo de velocidad constante).

La humedad ligada, representa una pequeña proporción del agua total del lodo, no obstante su masa es mayor que la parte sólida del lodo, no se comporta como agua pura. De sus variantes puede señalarse que: La humedad intersticial es la que se elimina en el primer periodo de disminución de velocidad de secado y el agua está ligada a la estructura del flóculo por tensión superficial, pasando a humedad libre si el flóculo se destruye, esta humedad se elimina por presión. La humedad superficial es la eliminada en el segundo periodo de disminución de velocidad, el agua está ligada a la superficie de las partículas por adsorción y puede ser eliminada por deshidratación mecánica. A diferencia de la humedad intersticial, en la cual el agua se puede mover y eliminar al desaparecer el confinamiento físico que la atrapa, en el caso de la humedad superficial el agua no puede moverse tan fácilmente ya que está adherida a la superficie de la partícula sólida. La humedad químicamente ligada está fijada a los sólidos por uniones químicas, siendo necesaria una fuerte energía para su separación, generalmente térmica o mediante procesos de acondicionamiento (R.S. Ramalho 2008).

2.3.3 Transferencia por Radiación.

La radiación térmica o radiación calorífica es la emitida por un cuerpo debido a su temperatura. Todos los cuerpos emiten radiación electromagnética, siendo su intensidad dependiente de la temperatura y de la longitud de onda considerada. En lo que respecta a la transferencia de calor la radiación relevante es la comprendida en el rango de longitudes de onda de $0,1\mu\text{m}$ a $100\mu\text{m}$, abarcando por tanto parte de la región ultravioleta, la visible y la infrarroja del espectro electromagnético.

La materia en un estado condensado (sólido o líquido) emite un espectro de radiación continuo. La frecuencia de onda emitida por radiación térmica es una densidad de probabilidad que depende solo de la temperatura.

A temperatura ambiente, vemos los cuerpos por la luz que reflejan, dado que por sí mismos no emiten luz. Si no se hace incidir luz sobre ellos, si no se los ilumina, no podemos verlos.

A temperaturas más altas, vemos los cuerpos debido a la luz que emiten, pues en este caso son luminosos por sí mismos. Así, es posible determinar la temperatura de un cuerpo de acuerdo a su color, pues un cuerpo que es capaz de emitir luz se encuentra a altas temperaturas.

La radiación solar que incide sobre el invernadero, penetra el plástico del cual está cubierto este, incidiendo sobre las muestras y sobre las placas, además producto de que su frecuencia de onda cambia al revotar de vuelta, parte de la radiación queda atrapada dentro del invernadero (Cengel, Yunus. A Transferencia de Calor).

$$Rn = I(1 - \alpha) + Rd - \epsilon\sigma T^4$$

Rn: Radiación neta (W/m²)

I: Radiación solar en la superficie (W/m²)

α : Albedo para radiación de onda corta

Rd: Radiación de onda larga descendente de la atmósfera

σ : Constante de Stefan- Boltzmann (5,67x10⁻⁸ W/(m²xK⁴))

ϵ : Emisividad de la superficie (proporción de la radiación real a la de cuerpo negro)
(adimensional)

2.3.4 Transferencia por Convección.

La convección se caracteriza porque se produce por medio de un fluido (líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas. La convección se produce únicamente por medio de materiales fluidos. Lo que se llama convección en sí, es el transporte de calor por medio del movimiento del fluido. En esta experiencia se implementó la idea de un invernadero, que impide que cierta parte de la radiación solar que penetra el invernadero salga, y de esta forma se pierda calor por convección.

La transferencia de calor implica el transporte de calor en un volumen y la mezcla de elementos macroscópicos de porciones calientes y frías de un gas o un líquido.

En la transferencia de calor libre o natural un fluido es más caliente o más frío y en contacto con una superficie sólida, causa una circulación debido a las diferencias de densidades que resultan del gradiente de temperaturas en el fluido, cuyo ejemplo se da en las placas metálicas implementadas, que aparte de absorber la radiación directa que incide sobre ella, también absorbe el calor que circula dentro del invernadero (Cengel, Yunus. A Transferencia de Calor).

La transferencia de calor por convección se expresa con la Ley del Enfriamiento de Newton:

$$\frac{dQ}{dt} = h * A_s(T_s - T_{inf})$$

Donde:

h: Es el coeficiente de convección.

A_s: Es el área del cuerpo en contacto con el Fluido.

T_s: Es la temperatura en la superficie del cuerpo.

T_{inf}: Es la temperatura del fluido lejos del cuerpo.

2.3.5 Transferencia por Conducción.

La conducción de calor o transmisión de calor por conducción es un proceso de transmisión de calor basado en el contacto directo entre los cuerpos, sin intercambio de materia, por el que el calor fluye desde un cuerpo a mayor temperatura a otro a menor temperatura que está en contacto con el primero. La propiedad física de los materiales que determina su capacidad para conducir el calor es la conductividad térmica. La propiedad inversa de la conductividad térmica es la resistividad térmica, que es la capacidad de los materiales para oponerse al paso del calor. Para esta experiencia se utilizarán placas de aluminio cuya conductividad térmica, es la mayor de los materiales exequibles y posibles de conseguir.

La transmisión de calor por conducción, entre dos cuerpos o entre diferentes partes de un cuerpo, es el intercambio de energía interna, que es una combinación de la energía cinética y energía potencial de sus partículas microscópicas: moléculas, átomos y electrones. La conductividad térmica de la materia depende de su estructura microscópica: en un fluido se debe principalmente a colisiones aleatorias de las moléculas; en un sólido depende del intercambio de electrones libres (principalmente en metales) o de los modos de vibración de sus partículas microscópicas (dominante en los materiales no metálicos) (Cengel, Yunus. A Transferencia de Calor).

Para el caso simplificado de flujo de calor estacionario en una sola dirección, el calor transmitido es proporcional al área perpendicular al flujo de calor, a la conductividad del material y a la diferencia de temperatura, y es inversamente proporcional al espesor:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{kA}{x} (T1 - T2)$$

Donde:

$\frac{\Delta Q}{\Delta t}$	Es el calor transmitido por unidad de tiempo.
K	Es la conductividad térmica.
A	Es el área de la superficie de contacto.
$T1 - T2$	Es la diferencia de temperatura entre el foco caliente y el frío.
X	Es el espesor del material.

CAPITULO III METODOLOGÍA.

Para llevar a cabo este estudio se construyeron tres pilas de lodos de PTAR dispuestos a tres diferentes condiciones de manera de poder diferenciar cuál se comporta de mejor manera en lo que se refiere a reducción de humedad.

Los lodos de PTAR utilizados para la confección de las pilas fueron proporcionados por ESSBIO, desde la planta de tratamiento de HUALQUI.

3.1 Preparación de experiencia.

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

3.1.1 Emplazamiento de la investigación.

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

Previo a la construcción de las pilas, se realizó una nivelación del terreno, manualmente con pala mecánica facilitada por el Laboratorio de ingeniería civil de la Universidad.

Para poder tener mejores condiciones de trabajo, se dispusieron los lodos sobre una tarima cubierta con polietileno para evitar que las muestras sufrieran alguna alteración en la humedad, que no estuviese considerada dentro de la experiencia.

Además, se fabricó un invernadero de manera de aprovechar el efecto producido por la radiación solar que al atravesar un plástico u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay dentro, estos a su vez, emiten radiación infrarroja, con una longitud de onda mayor que la solar, por lo cual no pueden atravesar el plástico a su regreso quedando atrapados.

3.1.2 Recolección y transporte.

El traslado de los lodos se realizó en contenedores de basura sellados para evitar algún accidente en el camino y dispuestos en la misma universidad por una camioneta particular.

3.1.3 Montaje de las pilas.

Las pilas se dispusieron sobre pallets de madera o tarima como base, además poseen un peso conocido e igual para las tres.

3.1.4 Características geométricas de las pilas.

Las dimensiones de las pilas influyen principalmente en que las muestras sean representativas, tratando de asimilar lo más posible la realidad.

Las 3 pilas de lodos fueron elaboradas con las mismas dimensiones; es decir, con igualdad de largo, ancho y alto. Al momento de armarlas, se tomó la precaución de dejar el espacio necesario, para poder realizar las labores pertinentes durante la investigación y controlar de una mejor forma las variables del proceso.

3.1.5 Clasificación de las pilas.

La pila 1 es aquella que está envuelta por una malla opaca, de manera que la radiación solar penetra con menos fuerza sobre esta.



Figura 2. Pila 1, envuelta por malla opaca.

La pila 2, es aquella que posee la implementación de placas metálicas, que absorben el calor emitido por radiación y lo transfieren hacia el interior del lodo por conducción.



Figura 3. Pila 2, Inclusión Placas Metálicas.

La pila 3, es aquella que está sometida a la radiación solar que penetra al invernadero.



Figura 4. Pila 3, Sometida a Radiación Directa.

3.2 Elementos que ayudan a la transferencia de calor

3.2.1 Invernadero

Se implementó la idea de que las pilas quedaran dentro de un invernadero, principalmente por dos razones, una de ellas fue, para evitar que las pilas estuvieran expuestas a humedades y lluvias que no estuvieran contempladas dentro del estudio.



Figura 5. Invernadero Donde se Encuentran las Pilas.

Otra de las razones fue para aprovechar el efecto producido por la radiación solar que al atravesar un plástico u otro material traslúcido, calienta los objetos que hay dentro.

El plástico usado para un invernadero trabaja como medio selectivo de transmisión para diversas frecuencias espectrales, y su efecto es atrapar energía dentro de sí, calentando el ambiente interior. También sirve para evitar la pérdida de calor por convección.

3.2.2 Placas metálicas.

Se propuso la idea de implementar unas placas metálicas de manera de transferir el calor que se absorbe por radiación, y traspasarlo hacia el interior de las pilas por conducción.

Se eligió como material de conducción, el aluminio, básicamente por su coeficiente de conductividad térmica, (Aluminio 209,31 [W/(m•K)] [Watts / (metro × kelvin)]) que es superior a otros materiales factibles para construir estas placas (Acero 47 – 58; Bronce 116-186; Latón 81 – 116; Zinc 106-140; Oro 308,21; Plata 406,1-418,71)

La superficie de estas placas posee un vidrio, de manera de provocar un efecto lupa, el cual amplifica la radiación de tipo infrarrojo que al pasar por el vidrio incrementa su fuerza.

Estas placas absorben el calor que se transmite por radiación solar, luego el vidrio amplifica esta radiación, para que finalmente las placas transmitan el calor por conducción hacia el interior de la pila.



Figura 6. Construcción Placas Metálicas.



Figura 7. Placas Metálicas en Pila 2.

3.3 Descripción de Experiencia.

El procedimiento operacional efectuado para las pilas difirió una de otra, debido a que cada una usara una técnica diferente de secado de lodos como se mencionó en la Descripción del proyecto.

3.3.1 Medición de parámetros.

La frecuencia de medición de los parámetros evaluados y de ejecución de los procedimientos operacionales a lo largo de la investigación se detalla en la tabla 1.

Tabla 2. Medición de Parámetros.

Parámetro	Medición
Humedad	Tres veces por semana
Solidos volátiles y minerales	Cada 5 días
Temperatura	Tres veces por semana

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Metodología para la medición de las variables.

a) Medición de Temperatura.

La temperatura se midió en cada pila por separado, además se midió en el interior del invernadero y también fuera de este.

b) Medición de la humedad.

La humedad de cada pila se midió tres veces por semana. Se procedió a secar una muestra de aproximadamente 2 gramos en un horno por 24 horas, la cual se obtuvo por cuarteo.

c) Clasificación de los días.

Debido a que no se hizo factible gestionar un sensor que midiera la radiación solar, los días se clasificaran de la siguiente forma: lluvioso, nublado/lluvioso, nublado/soleado, soleado. De manera de tener un estimado de cómo afecta a la humedad, la cantidad de radiación

solar que el invernadero y las pilas reciban, y comprobar que tan significativo puede llegar a ser esta, en lo que se refiere a la pérdida de humedad.

CAPITULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Introducción.

En este capítulo se analizan y discuten los resultados obtenidos sobre las pilas luego de dos meses de duración de la experiencia.

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

La temperatura ambiental que se gráfica, servirá como parámetro de comparación, puesto que esta no actúa directamente sobre ninguna de las pilas, de modo que no afectara a los resultados, pero si dará una idea, de la influencia que los mecanismos transferidores de calor tienen sobre la temperatura.

4.2 Análisis comparativo entre las tres experiencias.

En los siguientes puntos se comparan las principales variables medidas en las tres pilas, de manera de visualizar el efecto de variación de humedad que se experimentó.

4.2.1 Comparación de las Temperaturas, Ambiente, Invernadero, y Muestras.

Como se aprecia en el grafico la temperatura dentro del invernadero casi siempre fue la mayor, y a su vez la temperatura dentro de la pila 3 fue superior a la ambiental la mayor parte del tiempo.

La inclusión del invernadero elevó la temperatura, con la que interactuaron las pilas, debido a que parte de la radiación solar quedo atrapada dentro.

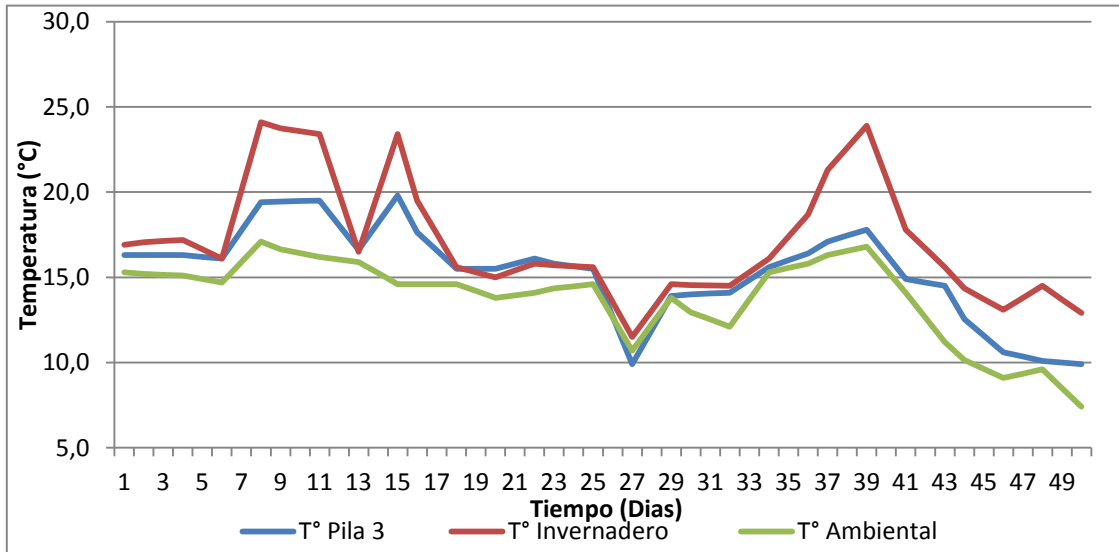


Figura 8. Comparación de Temperaturas, Pila 3.

Se observa que cuando mayores son las temperaturas dentro del invernadero, mayores son las temperaturas dentro de la pila, notando que la temperatura ambiental se mantiene relativamente pareja durante la mayor parte del tiempo que se evaluó, presentando las menores oscilaciones.

Se observa que casi en ningún momento la temperatura de la pila 3 es inferior a la temperatura del ambiente, esto es gracias al invernadero quien es el encargado de amplificar temperatura en el interior de sí mismo.

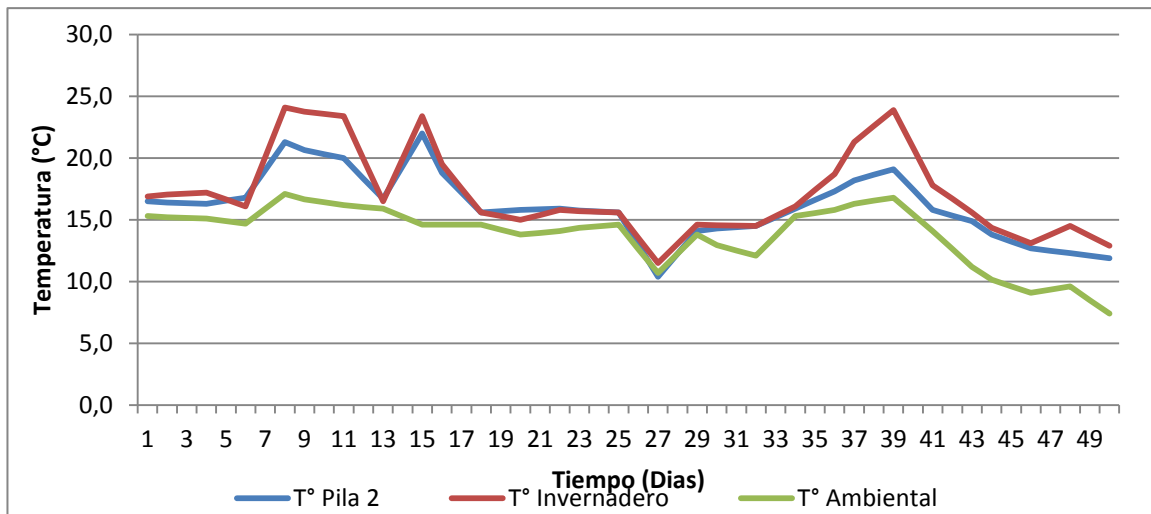


Figura 9. Comparación de Temperaturas, Pila 2.

Se observa que en ningún momento la temperatura de la pila 2 es inferior a la temperatura ambiental, esto se debe a dos factores, uno es producto del invernadero y otro es producto de la implementación de las placas metálicas que por conducción la transmitieron el calor hacia el interior del lodo.

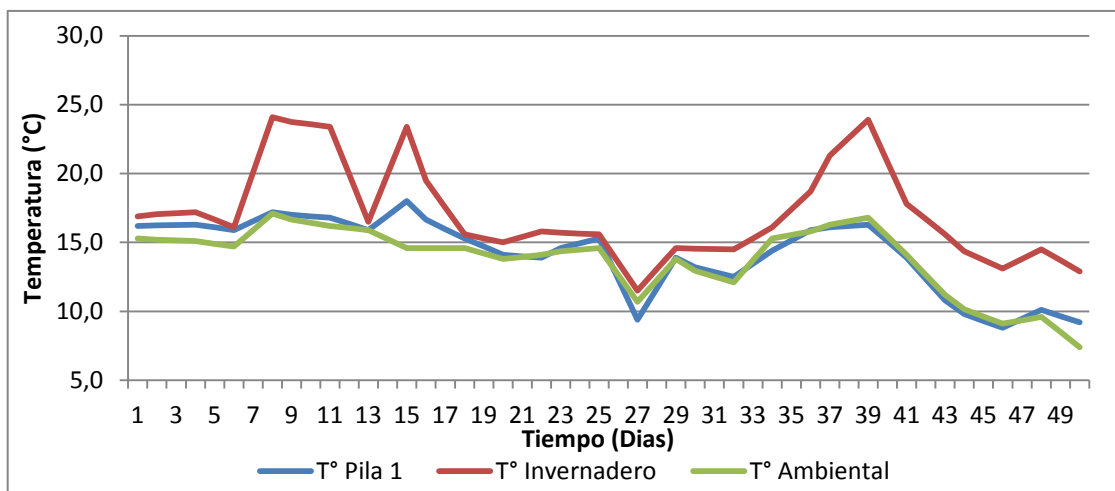


Figura 10. Comparación de Temperaturas, Pila 1.

Se observa que la temperatura de la pila 1 permanece pareja la mayor parte del tiempo, y resulta muy parecida a la temperatura ambiental, lo que se debe a la aislación que esta presenta, y a que la radiación incide con mucha menos fuerza sobre la pila. Pero a pesar de que la radiación incide con menos fuerza sobre la pila 1, se aprecia que casi siempre esta es mayor que la ambiental, por lo que se establece una pequeña influencia de los mecanismos transferidores de calor sobre esta pila.

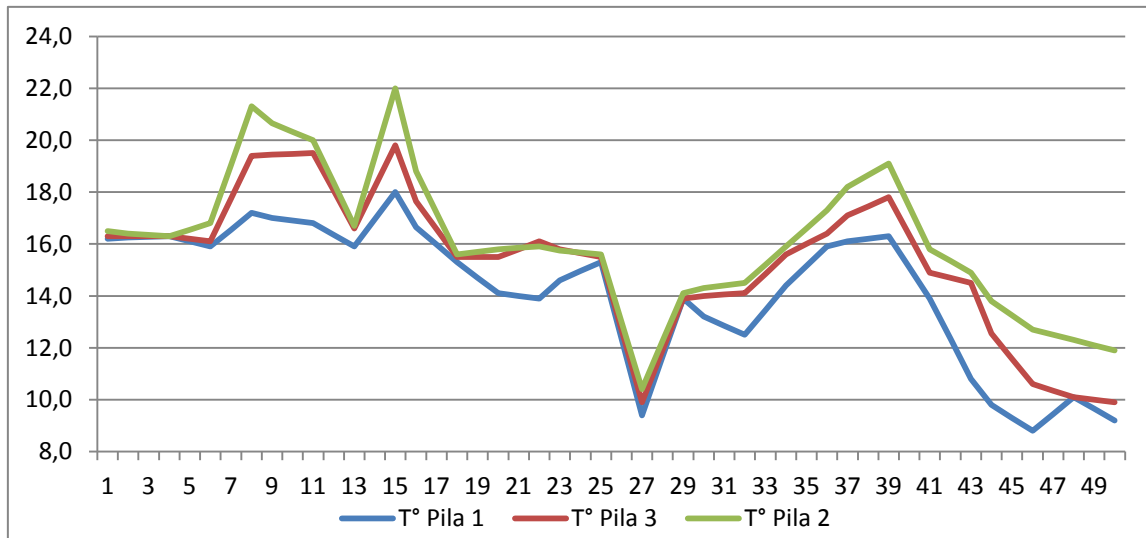


Figura 11. Comparación de Temperatura de las Pilas.

La pila 2 es la que casi siempre presenta las temperaturas más elevadas, y se observa que en los peak es donde más diferencia le saca a la pila 3.

Resultado que en días nublados/soleados o soleados fue donde hubo una mayor diferencia entre la pila 2 y las otras, ya que la radiación solar que insidía sobre estas era mayor. Pero cuando los días eran lluviosos o nublados/lluviosos la temperatura dentro de las pilas se volvía más similar.

4.2.2 Análisis de la Humedad Versus Tiempo y Temperatura.

Como se mencionó anteriormente la humedad de un lodo se divide en dos clases o categorías, que son la humedad libre y humedad ligada. También que la humedad libre constituye la mayor parte del lodo y puede considerarse que termodinámicamente se comporta como agua pura, eliminándose más fácilmente y que la humedad ligada necesita de más energía para su eliminación.

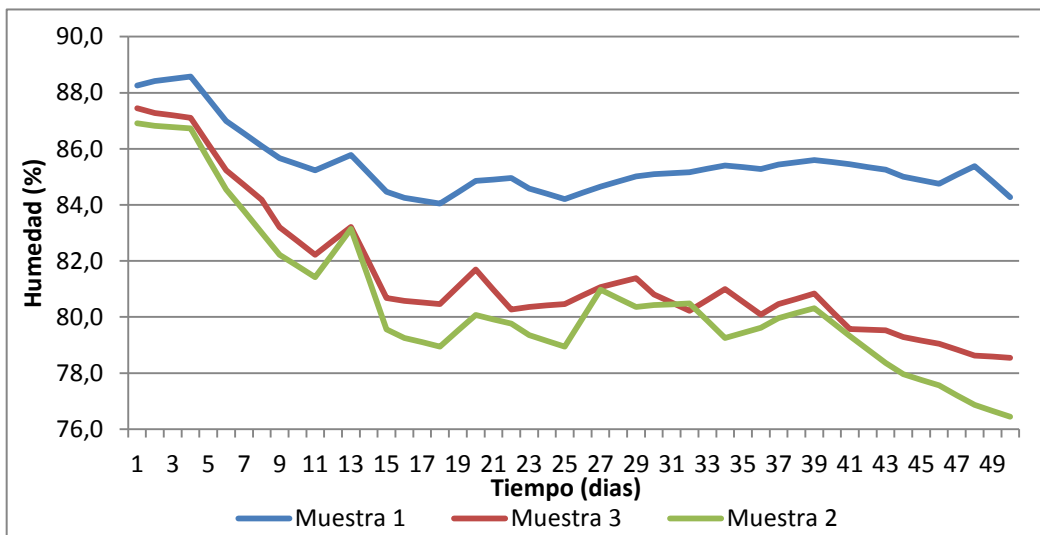


Figura 12. Comparación de Humedad Versus Tiempo.

Como se aprecia en el gráfico, existe un primer periodo donde la eliminación de humedad del lodo es relativamente constante para todas las pilas y va decreciendo de forma lineal prácticamente, luego a medida que avanza en el tiempo esta se torna más pareja y ya no existen grandes reducciones, hasta un punto donde se van diferenciando mucho una de otra.

Se observa que la pila 1 es la que pierde menos humedad durante todo el periodo que se evaluó, debiéndose a las condiciones a las que fue expuesta.

La pila 2, quien era la que poseía la inclusión del sistema de placas metálicas, es la que mejor respuesta presenta en lo que se refiere a reducción de humedad. Se aprecia que en los peak que justo coincidía con días soleados (Días cuya radiación solar es más intensa), es donde se aprecian mayores diferencias.

Si se compara la pila 2 con la pila 3, se nota que existen diferencias de hasta un 3% menos de humedad y a diferencia de la pila 1 estas dos siguen reduciendo su humedad, a pesar que el proceso se vuelve más lento y no tan vertical como en un comienzo.

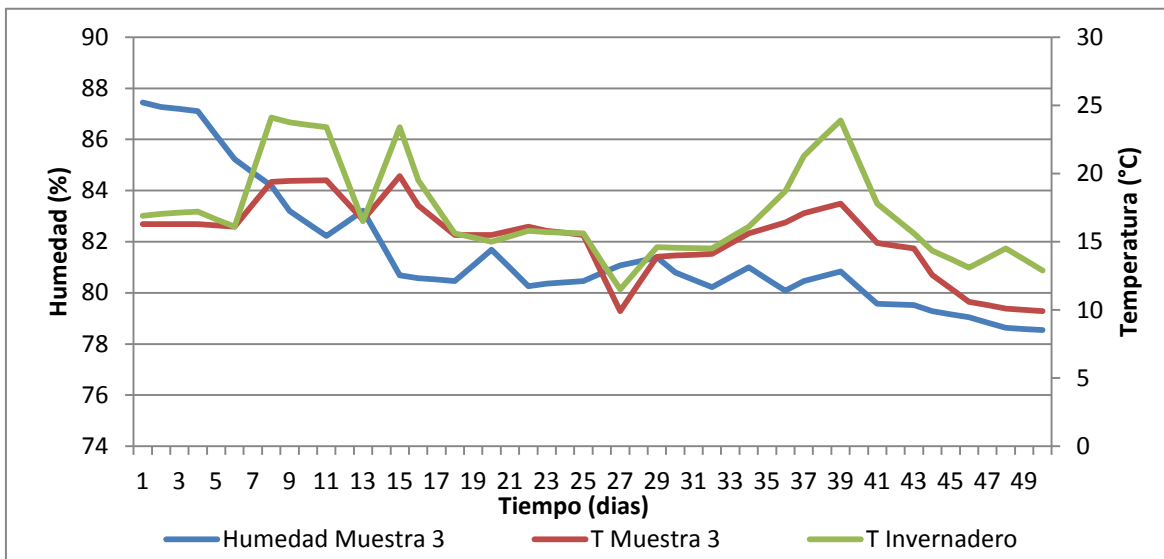


Figura 13. Comparación Temperaturas Versus Humedad Pila 3 Versus Tiempo.

El grafico plantea que la temperatura de la pila, influye en la perdida de humedad del lodo, mostrando que en casi todos los peak de temperatura se generan los mayores declives de humedad.

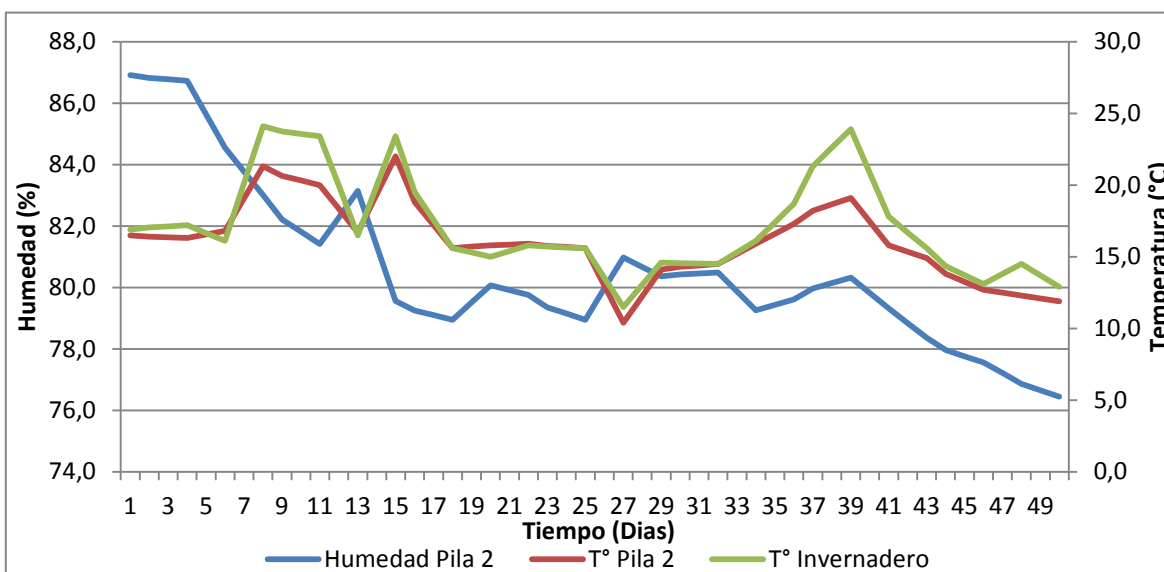


Figura 14. Comparación Temperaturas Versus Humedad Pila 2 Versus Tiempo.

Este grafico muestra que la temperatura influye en la perdida de humedad de forma más clara, puesto que los peak de temperatura son mayores y a su vez también lo son los declives de humedad.

Se aprecia que las mayores pérdidas de humedad, justo coinciden con días soleados (Días cuya radiación solar es más intensa), debido a la inclusión de las placas que atrapan mayor cantidad de radiación solar para transmitirlo hacia el interior del lodo.

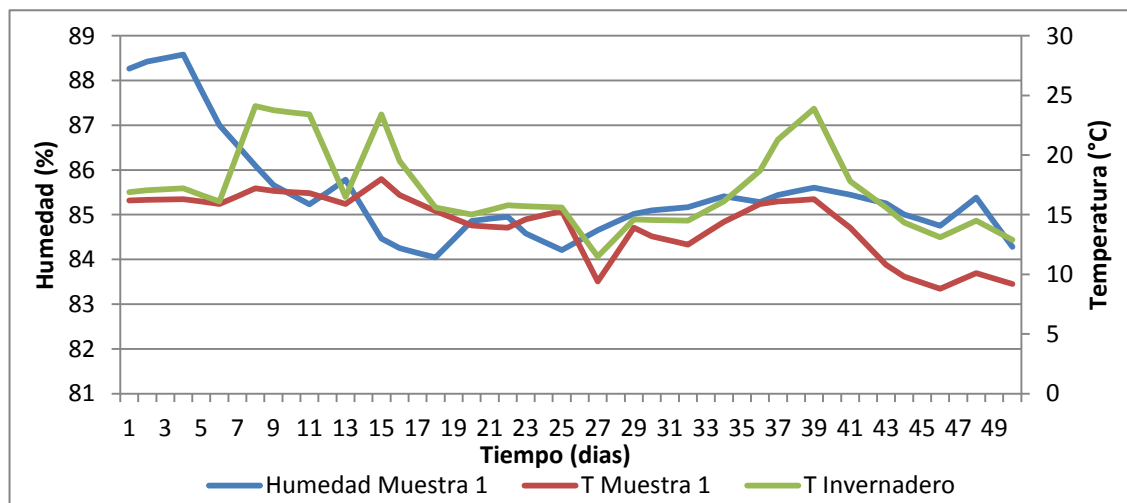


Figura 15. Comparación Temperaturas Versus Humedad Pila 1 Versus Tiempo.

En la pila 1, la oscilación de la gráfica de humedad se vuelve mucho más confusa al compararla con la temperatura, debido a que los mecanismos de calor no generan mayor influencia sobre esta pila.

4.2.3 Evolución de SV en las Pilas

Cuando en las pilas se analizan los SV se observa que estos siguen una tendencia decreciente a lo largo del proceso (el porcentaje de SV disminuye a medida que aumentan los días). Esta tendencia es más lineal y notoria en un comienzo de la experiencia y se vuelve más pareja a medida que se avanza en el tiempo. Inicialmente se registra un 80% (en promedio de las 3 pilas) de materia orgánica llegando al final del proceso de biodegradación con un valor de 60%.

A mediado de la experiencia se observa que la reducción en el porcentaje de SV posee una tendencia lineal cada vez más evidente y ya no existen grandes reducciones en lo que se refiere a materia orgánica.

Si se evalúa cada pila por separado se aprecia que la pila 2, fue la que presento una mayor reducción en su materia orgánica y la pila 1 y 3 la redujeron en menor cantidad. Se puede

concluir que la humedad presente en cada pila influye directamente en la biodegradación de su materia orgánica ya que los microorganismos encargados de la biodegradación requieren de oxígeno para su metabolismo, además de nutrientes disponibles en la pila.

Inicialmente la pila 2 presentaba un porcentaje de SV de un 78,57% y al culminar la experiencia poseía un 62,26%, obteniendo una reducción de un 16,3%, que en comparación a la pila 1 y pila 3 fueron de un 16,1% y 15,03 respectivamente.

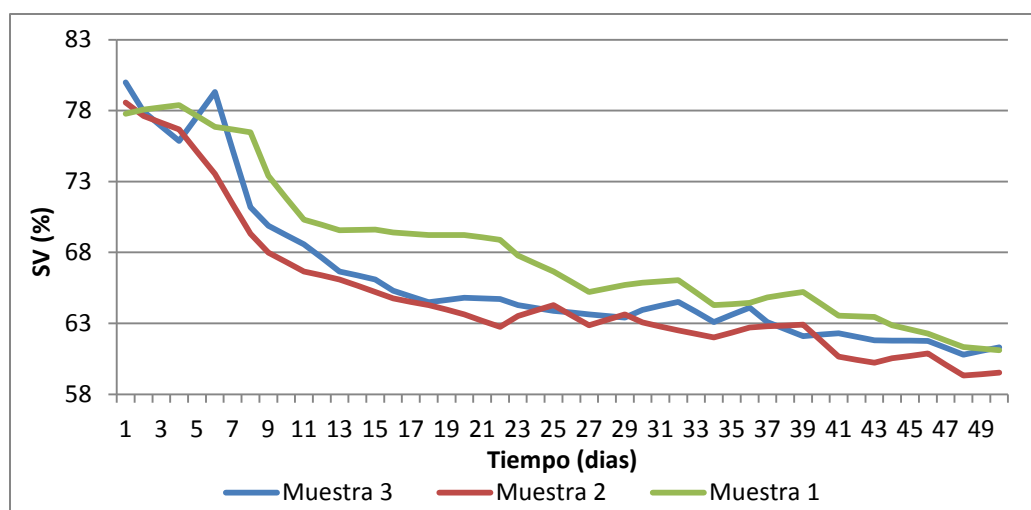


Figura 16. Variación de SV en el tiempo de las pilas.

4.2.4 Evolución de SM en las Pilas.

En la pila 2, al inicio del proceso de biodegradación de los residuos, el porcentaje de contenido mineral presente es de un 21,43%. En cambio, a raíz de la reducción de la materia orgánica, al finalizar la investigación el porcentaje de material mineral es de 37,74%. Para las pilas 1 y 3, al inicio del proceso los SM son de un 20% y 22,22% respectivamente, mientras que al finalizar la investigación este valor aumenta a un 36,11% y a 37,25%.

Al comparar las curvas de evolución de SM en la figura 18, se observa un aumento de la materia mineral a medida que transcurre el proceso de biodegradación. Sin embargo, este aumento, resulta mayor en la pila que poseía un porcentaje de humedad menor (pila 2), debido a que en esta también hubo una mayor reducción de SV.

Este fenómeno tal como se mencionó anteriormente se debe al porcentaje de humedad presente, lo que ocasionó que su velocidad de biodegradación fuese más lenta o más rápida para un mismo periodo de tiempo.

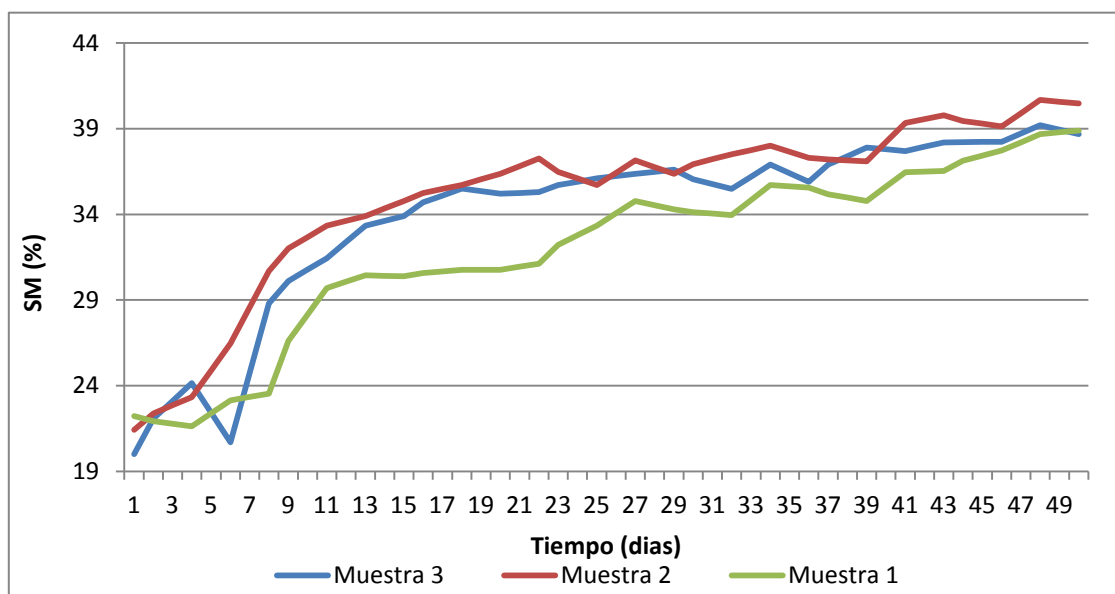


Figura 17. Variación de SM en el tiempo de las pilas.

4.3 Pérdida de volumen y masa de las pilas.

Debido a la pérdida de humedad que sufrieron las pilas durante el proceso de secado, se observó que durante el transcurso de esta, hubo una pérdida considerable en lo que se refería a su volumen.

4.3.1 Análisis numérico de la pérdida de volumen y masa de las pilas.

a) Pila numero 1

Volumen inicial = $1[m] \cdot 0,8[m] \cdot 0,2[m] \rightarrow$ Volumen Inicial = $0,16 [m^3]$

Masa inicial = $176 [kg]$

Densidad = $1,1 [Ton/m^3]$

Humedad inicial para cada muestra = $87 [\%]$ Material Seco = $13 [\%]$

Masa inicial = $176 [kg] \rightarrow$ Humedad = $153,12 [kg]$ Material seco = $22,88 [kg]$

Humedad final de la pila 1 = $84,2 [\%]$ Material Seco = $15,8 [\%]$

	%	Masa pila
Humedad	84,2	x
Material Seco	15,8	22,88

Humedad final = $121,93 [kg]$ Material seco = $22,88 [kg]$

Masa final pila 1 = $144, 81 [kg]$

Volumen final de la pila 1 = $0,131 [m^3]$

Nueva dimensión aproximada de la pila 1 = $0,98[m] \cdot 0,78[m] \cdot 0,17[m]$

b) Pila numero 2

Volumen inicial = $1[m] \cdot 0,8[m] \cdot 0,2[m] \rightarrow$ Volumen Inicial = $0,16 [m^3]$

Masa inicial = $176 [kg]$

Densidad = $1,1 [Ton/m^3]$

Humedad inicial para cada muestra = $87 [%]$ Material Seco = $13 [%]$

Masa inicial = $176 [kg] \rightarrow$ Humedad = $153,12 [kg]$ Material seco = $22,88 [kg]$

Humedad final de la pila 2 = $76,44 [%]$ Material Seco = $23,56 [%]$

	%	Masa pila
Humedad	76,44	x
Material Seco	23,56	22,88

Humedad final = $74,23 [kg]$ Material seco = $22,88 [kg]$

Masa final pila 2 = $97,11 [kg]$

Volumen final de la pila 2 = $0,088 [m^3]$

Nueva dimensión aproximada de la pila 2 = $0,93[m] \cdot 0,73[m] \cdot 0,13[m]$

c) Pila numero 3

Volumen inicial = $1[m] \cdot 0,8[m] \cdot 0,2[m] \rightarrow$ Volumen Inicial = $0,16 [m^3]$

Masa inicial = $176 [kg]$

Densidad = $1,1 [Ton/m^3]$

Humedad inicial para cada muestra = $87 [%]$ Material Seco = $13 [%]$

Masa inicial = $176 [kg] \rightarrow$ Humedad = $153,12 [kg]$ Material seco = $22,88 [kg]$

Humedad final de la pila 3 = $78,54 [%]$ Material Seco = $21,46 [%]$

	%	Masa pila
Humedad	78,54	x
Material Seco	21,46	22,88

Humedad final = $83,73 [kg]$ Material seco = $22,88 [kg]$

Masa final pila 1 = $106,61 [kg]$

Volumen final de la pila 1 = $0,097 [m^3]$

Nueva dimensión aproximada de la pila 1 = $0,94[m] \cdot 0,74[m] \cdot 0,14[m]$

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

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

5.1 Conclusiones.

La pila que poseía la inclusión de las placas metálicas fue la que obtuvo las mayores reducciones de humedad (la pila 2) con un 76,44[%], seguida por la pila 3 con un 78,54[%] y finalmente la pila 1 con un 84,28[%].

La reducción de sólidos volátiles fue mayor en la pila que poseía el menor porcentaje de humedad, iniciando con un 78,6 [%] y finalizando con un 59,4 [%], obteniendo una reducción de sólidos volátiles de 19,1 [%].

Se concluyó que los mecanismos transferidores de calor, son relevantes tanto para las pilas 3 y 2 disminuyendo su humedad en un 10% promedio, y que en la pila 1 este mecanismo no es tan influyente.

5.2 Recomendaciones.

La inclusión del invernadero fue de mucha ayuda para amplificar la temperatura dentro de sí mismo, pero a su vez al no poseer un ducto de ventilación que desechara el agua que se iba hacia el techo producto de la pérdida de humedad de las pilas, no se observaron mejores resultados, ya que con el viento o con cualquier golpe que sufría el invernadero, ese vapor de agua precipitaba en forma de gota sobre las pilas, volviendo a aumentar su porcentaje de humedad.

Se recomienda utilizar sensores de tiempo real, para medir humedades y temperaturas dentro de las pilas, de manera de ver como varían los resultados obtenidos con la nueva instrumentación y los que se exponen en esta memoria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

1. Tchobanoglous, George (1996). Ingeniería sanitaria; redes de alcantarillado y bombeo de aguas residuales.
2. Hernández Muños, Aurelio (2004). Manual de saneamiento uralita; Sistema de calidad en saneamiento de aguas.
3. Cisterna, P. (2008). “Gestión de Residuos Sólidos”. Apunte de clase.
4. CONAMA. CHILE. 2000. Política nacional sobre gestión integral de los residuos sólidos.
5. Reglamento para el traslado de lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de AguasResiduales.http://www.sag.cl/sites/default/files/DS_42009_Reglamento_lodos_provenientes_de_PTAS.pdf
6. Unda Opazo. (1998). Francisco.”Ingeniería Sanitaria Aplicada a Saneamiento y Salud Pública”, Editorial Limusa.
7. Wáter Treatment Solutions - <http://www.lenntech.es/tratamiento-lodos-secado.htm>
8. Tchobanoglous, George (1996). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización.
9. Ehlers, Víctor M (1966). Saneamiento urbano y rural.
10. Ronzano, Eduardo (2002). Tratamiento biológico de las aguas residuales.
11. Cengel, Yunus A (2011). Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones.

12. Ronzano, Eduardo (2002). Tratamiento biológico de las aguas residuales.
13. Tchobanoglous, George (2003). Wastewater engineering; treatment and reuse.
14. Congreso Chileno de ingeniería sanitaria y ambiental (1985). 6° Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
15. Aqualogy Sistemas de transferencia de calor S.A
http://www.secadolodos.com/73029_es/informaci%25c3%25B3n-sobre-el-secado-de-fangos/

ANEXOS

ANEXO A. Realización de metodología.

Figura A1. Construcción de invernadero, a base de madera y polietileno de baja densidad de 2 milímetros de espesor.



Figura A2. Recolección y transporte de los residuos.



Figura A3. Caracterización de las muestras.

Muestra 1



Muestra 2



Muestra 3



Figura A4. Dimensiones de pilas con cobertura.

DIMENSIONES			
Pila	Largo[m]	Ancho[m]	Alto[m]
1	1,00	0,8	0,2
2	1,00	0,8	0,2
3	1,00	0,8	0,2

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

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

B.1 Temperatura.

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

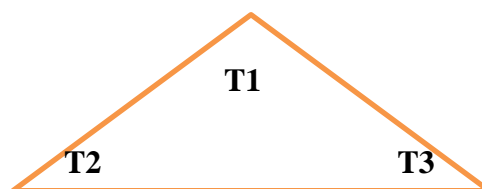


Figura B.1.1. Puntos donde se midió la temperatura interna de las pilas.

En donde se tiene que:

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

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



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

B.2 Humedad.

Para determinar la humedad de la mezcla en el proceso de secado de lodos, se emplea un procedimiento basado en la evaporación del agua contenida en la muestra tomada en terreno, sometiéndola a una temperatura de 70°C durante una cierta cantidad de tiempo. La diferencia porcentual entre el peso de la muestra húmeda y el peso de la muestra seca entrega el porcentaje de humedad de la mezcla.

a) Equipos de medición.

Los equipos necesarios para medir esta variable son:

- 1) Horno de secado con circulación de aire y temperatura regulable capaz de mantenerse en $70^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ como se observa en la figura B.2.1.1 y B.2.1.2
- 2) Balanza, como se observa en la figura B.2.2.
- 3) Herramientas y accesorios: pailas, crisol, pinzas, guantes y espátula, como se observa en la figura B.2.3.



Figura B.2.1.1 Uso de Horno de secado.



Figura B.2.1.2 Uso de Horno de secado.



Figura B.2.2. Uso de Balanza.



Figura B.2.2. Uso Recipientes.

b) Procedimiento de medición.

El procedimiento llevado a cabo es el siguiente:

- 1) Se extrajo una muestra de 2 (g) aproximadamente de cada una de las pilas.
- 2) Colocar la muestra húmeda en un recipiente limpio, seco y previamente pesado, para proceder a pesar la muestra húmeda más el recipiente.
- 3) Colocar el recipiente con dicha muestra en el horno de secado a 70°C durante 24 horas aproximadamente.
- 4) Pesarse el recipiente con la muestra seca.
- 5) Calcular la sequedad y humedad de la muestra.

Para obtener el porcentaje de sequedad y de humedad de la muestra se utilizan las ecuaciones 1 respectivamente.

$$\frac{(Mt - Mr) - (Ms - Mr)}{(Mt - Mr)} * 100 = \% H$$

En donde se tiene:

- 1) Mt: Masa Total del Material
- 2) Mr: Masa Recipiente
- 3) Ms: Masa del Material Seco
- 4) % H: Porcentaje de Humedad de la Muestra

B.4 Determinación de SV y SM.

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

a) Equipos de medición.

Los equipos e instrumentos utilizados para su medición son:

Crisoles de porcelana.

Quemador - mufla de gas a una temperatura de 550°C, ver figuras B.4.

Pinzas.

Balanza de precisión.



Figura B.4.1 Quemador – mufla



Figura B.4.2 proceso de Quemado

b) Procedimiento de medición.

El procedimiento realizado es el siguiente:

- 1) Se mide en la balanza la masa del recipiente con la muestra seca registrando su valor.
- 2) Se coloca el crisol con la muestra seca en el quemador-mufla a una temperatura de 550°C durante un tiempo determinado.
- 3) Se extrae la muestra ya calcinada y se mide la masa del recipiente con la muestra calcinada.

Para obtener el porcentaje de SV y SM se aplica la ecuación 2 respectivamente.

$$\frac{(Mt - Mr) - (Mc - Mr)}{(Mt - Mr)} * 100 = \% SV$$

En donde se tiene que:

Mt: Masa del Recipiente más la Masa de la Muestra Seca.

Mc: Maca Recipiente más la Masa de la Ceniza.

Mr: Masa del Recipiente.

$$\% SM = (100 - SV)$$

ANEXO C. Datos de las pilas.

Tabla C1. Registro de Datos de Humedad para la Muestra 1.

DIAS	PESO INICIAL (grs)	PESO SECO (grs)	HUMEDAD (%)	PESO RESIPIENTE (grs)	
MIERCOLES 7			87		
VIERNES 9	20,38	18,50	88,26	18,25	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 12	23,40	21,15	88,58	20,86	SOLEADO
MIERCOLES 14	20,37	18,43	87,00	18,14	LLUVIOSO
VIERNES 16	20,12	18,51	86,10	18,25	SOLEADO
LUNES 19	22,40	20,38	85,23	20,03	SOLEADO
MIERCOLES 21	20,36	18,55	85,78	18,25	LUVIOSO
VIERNES 23	21,23	19,49	84,47	19,17	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 26	22,23	20,65	84,04	20,35	NUBLADO
MIERCOLES 28	22,87	20,46	84,86	20,03	LLUVIOSO
VIERNES 30	23,12	21,20	84,96	20,86	NUBLADO
LUNES 2	22,63	20,71	84,21	20,35	NUBLADO
MIERCOLES 4	20,29	18,47	84,65	18,14	LLUVIOSO
VIERNES 6	22,82	20,72	85,02	20,35	LLUVIOSO
LUNES 9	20,34	18,56	85,17	18,25	NUBLADO
MIERCOLES 11	20,47	18,48	85,41	18,14	LLUVIOSO
VIERNES 13	20,87	18,61	85,28	18,22	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 16	20,79	18,59	85,60	18,22	SOLEADO
MIERCOLES 18	20,38	18,56	85,45	18,25	SOLEADO
VIERNES 20	22,52	20,67	85,25	20,35	SOLEADO
LUNES 23	20,37	18,48	84,75	18,14	SOLEADO
MIERCOLES 25	20,82	18,60	85,38	18,22	SOLEADO
VIERNES 27	21,46	19,53	84,28	19,17	SOLEADO

Tabla C2. Registro de Datos de Humedad para la Muestra 2.

DIAS	PESO INICIAL (grs)	PESO SECO (grs)	%HUMEDAD	PESO RESIPIENTE (grs)	
MIERCOLES 7			87		
VIERNES 9	22,49	20,63	86,92	20,35	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 12	22,29	20,33	86,73	20,03	SOLEADO
MIERCOLES 14	21,37	19,51	84,55	19,17	LLUVIOSO
VIERNES 16	21,76	19,61	83,01	19,17	SOLEADO
LUNES 19	20,51	18,67	81,42	18,25	SOLEADO
MIERCOLES 21	21,81	18,90	83,14	18,31	LUVIOSO
VIERNES 23	23,11	21,32	79,56	20,86	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 26	22,19	21,14	78,95	20,86	NUBLADO
MIERCOLES 28	23,11	20,90	80,07	20,35	LLUVIOSO
VIERNES 30	21,69	19,68	79,76	19,17	NUBLADO
LUNES 2	22,19	21,14	78,95	20,86	NUBLADO
MIERCOLES 4	21,01	19,52	80,98	19,17	LLUVIOSO
VIERNES 6	20,55	18,75	80,36	18,31	LLUVIOSO
LUNES 9	22,91	21,26	80,49	20,86	NUBLADO
MIERCOLES 11	22,76	20,85	79,25	20,35	LLUVIOSO
VIERNES 13	23,13	20,67	79,61	20,04	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 16	23,18	20,65	79,37	20,03	SOLEADO
MIERCOLES 18	22,12	19,78	79,32	19,17	SOLEADO
VIERNES 20	22,93	21,30	78,37	20,85	SOLEADO
LUNES 23	22,91	21,32	77,56	20,86	SOLEADO
MIERCOLES 25	20,69	18,73	76,86	18,14	SOLEADO
VIERNES 27	22,29	20,57	76,44	20,04	SOLEADO

Tabla C3. Registro de Datos de Humedad para la Muestra 3.

DIAS	PESO INICIAL (grs)	PESO SECO (grs)	%HUMEDAD	PESO RESIPIENTE (grs)	
MIERCOLES 7			87		
VIERNES 9	23,01	21,13	87,44	20,86	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 12	22,04	19,54	87,11	19,17	SOLEADO
MIERCOLES 14	22,41	20,39	85,23	20,04	LLUVIOSO
VIERNES 16	23,01	21,20	84,19	20,86	SOLEADO
LUNES 19	20,11	18,63	82,22	18,31	SOLEADO
MIERCOLES 21	21,91	19,63	83,21	19,17	LUUVIOSO
VIERNES 23	20,78	18,65	80,68	18,14	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 26	22,19	20,46	80,47	20,04	NUBLADO
MIERCOLES 28	22,17	20,43	81,69	20,04	LLUVIOSO
VIERNES 30	22,63	20,80	80,26	20,35	NUBLADO
LUNES 2	22,19	20,46	80,47	20,04	NUBLADO
MIERCOLES 4	23,28	21,31	81,07	20,85	LLUVIOSO
VIERNES 6	20,13	18,60	81,38	18,25	LLUVIOSO
LUNES 9	22,71	20,56	80,22	20,03	NUBLADO
MIERCOLES 11	21,38	19,59	81,00	19,17	LLUVIOSO
VIERNES 13	21,43	19,62	80,09	19,17	NUBLADO/ SOLEADO
LUNES 16	26,48	24,54	80,83	24,08	SOLEADO
MIERCOLES 18	22,38	20,51	79,57	20,03	SOLEADO
VIERNES 20	19,58	18,57	79,53	18,31	SOLEADO
LUNES 23	23,07	20,92	79,04	20,35	SOLEADO
MIERCOLES 25	21,65	19,70	78,63	19,17	SOLEADO
VIERNES 27	23,19	21,36	78,54	20,86	SOLEADO

Tabla C4. Registro de Datos de Temperaturas de las Muestras.

	T° Muestra 3 (°C)	T° Muestra 2 (°C)	T° Muestra 1 (°C)	T° Invernadero (°C)	T° Ambiente (°C)
NUBLADO/ SOLEADO	16,3	16,5	16,2	16,9	15,3
SOLEADO	16,3	16,3	16,3	17,2	15,1
LLUVIOSO	16,1	16,8	15,9	16,1	14,7
SOLEADO	19,4	21,3	17,2	24,1	17,1
SOLEADO	19,5	20	16,8	23,4	16,2
LUVIOSO	16,6	16,7	15,9	16,5	15,9
NUBLADO/ SOLEADO	19,8	21	18	23,4	14,6
NUBLADO	15,5	15,6	15,3	15,6	14,6
LLUVIOSO	15,5	15,8	14,1	15	13,8
NUBLADO	16,1	15,9	13,9	15,8	14,1
NUBLADO	15,5	15,6	15,3	15,6	14,6
LLUVIOSO	9,9	10,4	9,4	11,5	10,7
LLUVIOSO	13,9	14,1	13,9	14,6	13,8
NUBLADO	14,1	14,5	12,5	14,5	12,1
LLUVIOSO	15,6	15,9	14,4	16,1	15,3
NUBLADO/ SOLEADO	16,4	17,3	15,9	18,7	16,4
SOLEADO	17,8	18,5	16,3	23,9	19,2
SOLEADO	14,9	15,8	13,9	17,8	14,1
SOLEADO	14,5	14,9	10,8	15,6	11,2
SOLEADO	10,6	12,7	8,8	13,1	9,1
SOLEADO	10,1	12,3	10,1	14,5	9,6
SOLEADO	9,9	11,9	9,2	12,9	7,4

Tabla C5. Registro de Datos Reducción de Materia Orgánica de la Muestra 1.

		MUESTRA 1		
PESO RECIPIENTE	PESO MUESTRA(s+r)	PESO CENISA	SV	SM
56,94	57,19	56,99	80,00	20,00
58,01	58,30	58,08	75,86	24,14
57,86	58,15	57,93	75,86	24,14
58,01	58,27	58,08	73,08	26,92
56,94	57,29	57,05	68,57	31,43
57,86	58,16	57,96	67,67	32,33
56,94	57,26	57,05	65,62	34,38
56,94	57,24	57,05	64,67	35,33
57,86	58,29	58,01	64,88	35,12
58,01	58,35	58,13	64,71	35,29
56,94	57,30	57,07	63,89	36,11
58,01	58,34	58,13	63,64	36,36
58,01	58,38	58,14	64,86	35,14
57,86	58,17	57,97	64,52	35,48
56,94	57,28	57,07	63,24	36,76
57,86	58,25	58,01	62,82	37,18
57,86	58,23	58,00	62,16	37,84
57,86	58,17	57,98	62,26	37,74
56,94	57,26	57,06	61,88	38,12
58,01	58,35	58,14	61,76	38,24
58,01	58,39	58,16	60,79	39,21
56,94	57,30	57,08	60,28	39,72

Tabla C6. Registro de Datos Reducción de Materia Orgánica de la Muestra 2.

		MUESTRA 2		
PESO RECIPIENTE	PESO MUESTRA(s+r)	PESO CENISA	SV	SM
58,01	58,29	58,07	78,57	21,43
56,94	57,24	57,01	76,67	23,33
56,94	57,28	57,03	73,53	26,47
56,94	57,38	57,08	69,32	30,68
58,01	58,43	58,15	66,67	33,33
58,01	58,60	58,21	66,10	33,90
57,86	58,32	58,02	65,22	34,78
57,86	58,14	57,96	64,29	35,71
56,94	57,49	57,14	63,64	36,36
56,94	57,45	57,13	62,75	37,25
58,01	58,29	58,11	64,29	35,71
57,86	58,21	57,99	62,86	37,14
56,94	57,38	57,10	63,64	36,36
56,94	57,34	57,09	62,50	37,50
58,01	58,51	58,20	62,00	38,00
56,94	57,57	57,18	62,70	37,30
58,01	58,63	58,24	62,90	37,10
58,01	58,62	58,25	60,66	39,34
58,01	58,46	58,19	60,22	39,78
56,94	57,40	57,12	60,87	39,13
57,86	58,45	58,10	59,32	40,68
58,01	58,54	58,23	58,49	41,51

Tabla C7. Registro de Datos Reducción de Materia Orgánica de la Muestra 3.

		MUESTRA 3		
PESO RECIPIENTE	PESO MUESTRA(s+r)	PESO CENISA	SV	SM
57,86	58,13	57,92	77,78	22,22
57,86	58,23	57,94	78,38	21,62
58,01	58,36	58,09	76,86	23,14
57,86	58,20	57,94	76,47	23,53
57,86	58,18	57,96	70,31	29,69
56,94	57,40	57,08	69,57	30,43
58,01	58,52	58,17	69,61	30,39
58,01	58,43	58,14	69,05	30,95
58,01	58,40	58,13	69,23	30,77
57,86	58,31	58,00	68,89	31,11
57,86	58,28	58,00	66,67	33,33
56,94	57,40	57,10	65,22	34,78
57,86	58,21	57,98	65,71	34,29
58,01	58,54	58,19	66,04	33,96
57,86	58,28	58,01	64,29	35,71
58,01	58,46	58,17	64,44	35,56
56,94	57,40	57,10	65,22	34,78
56,94	57,42	57,12	63,54	36,46
57,86	58,12	57,96	63,46	36,54
57,86	58,43	58,08	62,28	37,72
56,94	57,47	57,15	61,32	38,68
57,86	58,37	58,06	61,18	38,82