



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y ESCALAMIENTO DE UN SISTEMA DE
RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CALÓRICA EN EL PROCESO DE
COMPOSTAJE**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA/O QUÍMICA/O

AUTORES:

SAMANTHA BELEN MENA MALDONADO

JORGE ANDRÉS ROMÁN HIDALGO

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO Y ESCALAMIENTO DE UN SISTEMA DE
RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CALÓRICA EN EL PROCESO DE
COMPOSTAJE**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA/O QUÍMICA/O

AUTORES: SAMANTHA BELEN MENA MALDONADO

JORGE ANDRÉS ROMÁN HIDALGO

DIRECTOR: Ing. LUIS SANTIAGO CARRERA ALMENDÁRIZ

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Samantha Belen Mena Maldonado & Jorge Andrés Román Hidalgo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Nosotros, Samantha Belen Mena Maldonado y Jorge Andrés Román Hidalgo, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 10 de mayo 2023




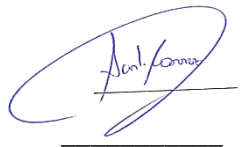
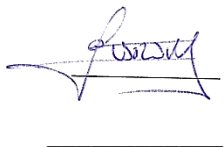
Samantha Belen Mena Maldonado
C.I. 060580232-1



Jorge Andrés Román Hidalgo
C.I. 180401638-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA INGENIERÍA QUÍMICA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **DISEÑO Y ESCALAMIENTO DE UN SISTEMA DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA CALÓRICA EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE**, realizado por los estudiantes: **SAMANTHA BELEN MENA MALDONADO & JORGE ANDRÉS ROMÁN HIDALGO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Camilo Pavel Haro Barroso, Mgs. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 _____	2023-05-10
Ing. Luis Santiago Carrera Almendáriz, Msc DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-05-10
Dr. Julio Cesar Idrovo Novillo, PhD. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 _____	2023-05-10

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado de todo corazón a mi familia, en especial a mi madre Carmen quien ha sido mi apoyo incondicional en mi vida. A mis tíos Julio y Mario, que han sido un apoyo moral y económico para que concluya con mi carrera. A mi hermano Enrique, que ha sido mi guía como hermano mayor. A mis amigos Samy, Evelyn, Dennis, David y Meybol que siempre han estado presentes en mi carrera universitaria y apoyándome en momentos difíciles y a todas las demás personas que me han brindado su ayuda de una u otra forma en mi vida.

Andrés

Dedico este trabajo principalmente a Dios por darme la fuerza y la perseverancia necesaria para culminar con esta etapa, a mis padres que con todo su amor y paciencia supieron llevarme de la mano por el camino correcto del éxito. A mis hermanos que con sus consejos y palabras correctas no dejaron que me desanime ni desvié la mirada de mi objetivo. A mi abuelita Maruchi por darme sus bendiciones desde el cielo y cuidar mi progreso. A Kevin, Israel y Andrés porque siempre han estado brindándome su mano en cada momento importante de este proyecto. Y a todas las personas y amigos que han colaborado conmigo con palabras y acciones siempre que los he necesitado.

Samy

AGRADECIMIENTO

Agradecemos profundamente por su tiempo y asesoría al Ing. Adrián Rodríguez e Ing. Víctor Hugo Valverde quienes nos guiaron durante todo este recorrido con sus palabras y correcciones para llegar a culminar este proyecto, también al Ing. Christian Chuquín por ser un pilar fundamental en el desarrollo experimental de este trabajo. Al Dr. Julio Idrovo Novillo e Ing. Santiago Carrera quienes nos brindaron muchos de sus conocimientos con consejos y observaciones útiles para nuestra futura vida profesional.

De igual forma, agradecemos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por los conocimientos que hemos recibido desde nuestros inicios hasta el final de nuestro recorrido estudiantil a través de profesores, técnicos docentes y compañeros que conforman esta prestigiosa institución.

Un especial y sincero agradecimiento al Grupo Asociado de Investigación en Biotecnología, Ambiente y Química GAIBAQ por permitirnos ser parte de tan reconocido grupo de investigación y ayudarnos de todas las formas posibles para poder desarrollar este trabajo de manera eficaz y eficiente.

Finalmente, agradecemos a las personas que han hecho esto posible, familiares, amigos, compañeros y docentes por ayudarnos y guiarnos durante toda nuestra etapa universitaria y quienes fueron parte de este proyecto. Gracias.

Samy & Andrés.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación del proyecto	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 <i>Objetivo general</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos</i>	4

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1. Antecedentes de investigación	5
2.2. Referencias teóricas	6
2.2.1. <i>Concepto de residuos</i>	7
2.2.1.1. <i>Residuos solidos</i>	7
2.2.1.2. <i>Flores</i>	7
2.2.1.3. <i>Aserrín</i>	7
2.2.1.4. <i>Estiércol de codorniz</i>	9
2.2.2. Compostaje	9
2.2.3. Tipos de compostaje	10
2.2.3.1. <i>Sistemas abiertos</i>	10
2.2.3.2. <i>Sistemas cerrados</i>	11
2.2.4. Proceso de compostaje	12
2.2.5. Compost	12

2.2.6. Fases en el proceso de compostaje	12
2.2.6.1. Fase mesófila	12
2.2.6.2. Fase termófila	13
2.2.6.3. Fase de enfriamiento	13
2.2.6.4. Fase de Maduración	13
2.2.7. Factores que intervienen en el proceso de compostaje	13
2.2.7.1. Aireación	13
2.2.7.2. Humedad	14
2.2.7.3. pH	14
2.2.7.4. Temperatura	15
2.2.7.5. Relación C/N	15
2.2.7.6. Tamaño de partículas	15
2.2.7.7. Trituración	16
2.2.7.8. Molienda	16
2.2.7.9. Volteo de la pila de compostaje	16
2.2.8. Microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje	16
2.2.8.1. Bacterias	17
2.2.8.2. Hongos	17
2.2.8.3. Actinomicetos	17
2.2.8.4. Protozoos	18
2.2.9. Ventajas del uso del compost	18
2.2.9.1. Ventajas ambientales	18
2.2.9.2. Ventajas en los suelos	18
2.2.9.3. Ventajas sociales	18
2.2.10. Normativa ecuatoriana	19
2.2.10.1. Normativa general para promover y regular la producción orgánica ecológica	19
2.2.11. Normativa europea para el proceso de compostaje	20
2.2.12. Normas y especificaciones técnicas mediante la normativa europea	20
2.2.12.1. Evaluación legal	20
2.2.12.2. Requerimiento	21
2.2.13. Límites establecidos por la Unión Europea	21
2.2.13.1. Límites para impurezas macroscópicas en compost maduro	21
2.2.13.2. Límites para metales pesados en compost maduro según la norma europea	22
2.2.13.3. Valores límites de calidad del producto según la norma europea	22
2.2.13.4. Límites para metales pesados en compost maduro	22
2.2.14. Parámetros para evaluar la calidad del compost	23
2.2.14.1. Macronutrientes y micronutrientes	23

2.2.14.2. Índice de germinación	23
2.2.15. Aprovechamiento de calor en el proceso de compostaje	23
2.2.15.1. Capacidad calórica	23
2.2.15.2. Transferencia de calor.....	24
2.2.15.3. Ecuación de Bernoulli	24
2.2.15.4. Conducción.....	24
2.2.15.5. Convección	25
2.2.15.6. Conductividad térmica	25
2.2.15.7. Aprovechamiento de calor.....	25
2.2.15.8. Aislantes Térmicos.....	26
2.2.15.9. Tanque de almacenamiento de agua de polietileno.....	27

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO	28
3.1. Ingeniería del proyecto.....	28
3.2. Tipo de proyecto	28
3.2.1. Estudio experimental	28
3.3. Técnicas de análisis.....	28
3.3.1. Técnicas para la caracterización de las muestras	29
3.4. Elaboración de la pila de compostaje.....	35
3.4.1. Cantidad de materia orgánica en la pila de compostaje.....	35
3.4.2. Recolección de materia orgánica	36
3.4.2.1. Recolección de Residuo de flores	36
3.4.2.2. Adquisición de aserrín.....	37
3.4.2.3. Adquisición de estiércol de codorniz.....	37
3.4.3. Pila de compostaje	38
3.4.4. Materiales y equipos utilizados en la elaboración de la pila de compostaje.....	38
3.4.4.1. Trituradora industrial.....	38
3.4.4.2. Termocuplas	39
3.5. Proceso de compostaje.....	39
3.5.1. Toma de muestras	39
3.5.2. Medición de temperatura.....	39
3.6. Diseño.....	39
3.7. Balances de energía y masa.....	40
3.7.1. Balance de Materia Orgánica	40
3.7.2. Balance de energía en el tubo de cobre	40

3.8.	Accesorios	41
3.8.1.	Tubería de cobre	41
3.8.2.	Bomba centrífuga	42
3.8.3.	Tanque aislado	42
3.8.4.	Cisterna	42
3.9.	Análisis de los costos y los beneficios del proyecto	42
3.9.1.	Inversión fija	42
3.9.2.	Costos variables a analizar	44
3.9.2.1.	Determinación de egresos	44
3.9.3.	Costos totales de inversión fija y egresos	46
3.9.3.1.	Determinación de ingresos anuales	46
3.9.3.2.	Ecuación de costo de producción por unidad en dólares	46
3.9.3.3.	Ecuación de precio de venta unitario al público	47
3.9.3.4.	Ingresos anuales	47
3.9.4.	Cálculo del valor actual neto, tasa de retorno interno y periodo de recuperación ... 47	
3.9.4.1.	Valor Actual Neto (VAN)	47
3.9.4.2.	Tasa de Retorno Interno (TIR)	48
3.9.4.3.	Periodo de recuperación	49
3.10.	Ecuaciones de diseño	50
3.10.1.	Cálculo del calor transferido	50
3.10.2.	Cálculo de la longitud equivalente en accesorios	50
3.10.3.	Calculo para el factor de fricción	50
3.10.4.	Cálculo del número de Reynolds	51
3.10.5.	Cálculo del área de la tubería	51
3.10.6.	Cálculo de la rugosidad relativa	51
3.10.7.	Cálculo de la pérdida de carga por tramos	52
3.10.8.	Cálculo de la altura dinámica HB	52
3.10.9.	Cálculo de la potencia de la bomba	52
3.10.9.1.	Cálculo de la potencia de la bomba al 85%	53
3.10.10.	Cálculo de NPSH	53
3.10.11.	Cálculo para el aislamiento del tanque de almacenamiento	53
3.10.11.1.	Cálculo del radio crítico	53
3.10.11.2.	Cálculo de la pérdida de calor sin aislante	54
3.10.11.3.	Cálculo de la pérdida de calor con aislante	54
3.10.11.4.	Cálculo para el espesor del aislante	54
3.10.11.5.	Cálculo del número de Nusselt	55
3.10.11.6.	Número de Prandtl	55

3.10.12.	<i>Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en los tubos.....</i>	56
3.10.13.	<i>Ecuación para calcular las cargas caloríficas</i>	56
3.10.14.	<i>Ecuación para el cálculo de diámetro interior de las tuberías pérdidas de carga</i>	56
3.10.15.	<i>Ecuación para calcular la pérdida de cargas de las tuberías</i>	57
3.10.16.	<i>Ecuación para determinar caídas de presión de tuberías</i>	57
3.10.17.	<i>Ecuación para determinar la velocidad de un fluido en base al caudal y el área....</i>	57
3.11.	Escalamiento industrial	57
3.11.1.	<i>Diseño a escala industrial.....</i>	58

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	59
4.1.	Análisis, interpretación y discusión de resultados	59
4.1.1.	<i>Cantidad de materia para la elaboración de la pila de compostaje</i>	59
4.1.2.	<i>Resultados de la caracterización de las muestras del compostaje.....</i>	60
4.1.3.	<i>Perdida de materia orgánica</i>	62
4.1.4.	<i>Calidad de compost</i>	63
4.1.4.1.	<i>Aniones</i>	63
4.1.4.2.	<i>Normativa</i>	64
4.1.5.	<i>Evolución de la temperatura en la pila de compostaje</i>	64
4.1.6.	<i>Evolución de la temperatura de la salida de agua en la tubería de cobre</i>	65
4.1.7.	<i>Evolución de la energía calórica en la pila de compostaje</i>	66
4.1.8.	<i>Resultados de temperaturas y calor en la pila de compostaje</i>	67
4.1.9.	<i>Resultado de la temperatura total recuperada</i>	68
4.2.	Escalamiento industrial.....	69
4.2.1.	<i>Diagrama técnico del escalamiento industrial.....</i>	70
4.2.2.	<i>Resultados de los cálculos del escalamiento</i>	72
4.2.3.	<i>Resultado de la altura dinámica.....</i>	73
4.2.4.	<i>Resultado de la potencia de la bomba</i>	73
4.2.5.	<i>Resultados de los aislantes para los tanques de almacenamiento</i>	74
4.2.6.	<i>Resultados del aislante para la tubería de cobre</i>	75
	CONCLUSIONES.....	76
	RECOMENDACIONES.....	78
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Características de residuos de madera corriente.....	8
Tabla 2-2: Propiedades del aserrín.....	8
Tabla 3-2: Características del estiércol de codorniz	9
Tabla 4-2: Límites para impurezas macroscópicas en compost maduro.....	21
Tabla 5-2: Límites para metales pesados en compost maduro.....	22
Tabla 6-2: Límites de calidad del producto.....	22
Tabla 7-2: Límites para metales pesados en compost maduro.....	22
Tabla 1-3: Preparación de Muestras.....	29
Tabla 2-3: Determinación de pH.....	30
Tabla 3-3: Determinación de Conductividad Eléctrica	30
Tabla 4-3: Determinación de Humedad	31
Tabla 5-3: Determinación de Materia Orgánica.....	32
Tabla 6-3: Determinación de Carbono Orgánico Oxidable Walkley & Black.....	33
Tabla 7-3: Determinación del Índice de Germinación	34
Tabla 8-3: Costos de materiales y equipos.....	43
Tabla 9-3: Costos de equipos de monitoreo.....	43
Tabla 10-3: Costos de transporte.	43
Tabla 11-3: Costos de maquinaria.	44
Tabla 12-3: Costos de materia prima.	44
Tabla 13-3: Subtotal de Costos Fijos	44
Tabla 14-3: Determinación de egresos.....	45
Tabla 15-3: Costos de Servicios Básicos	45
Tabla 16-3: Costos de mano de obra.....	45
Tabla 17-3: Egresos anuales de producción.....	46
Tabla 18-3: Costo de la inversión fija y egresos	46
Tabla 19-3: Costo del compost	47
Tabla 20-3: Valor Actual Neto.....	48
Tabla 21-3: Periodo de recuperación de la inversión.....	49
Tabla 22-3: Resultado de PVP	49
Tabla 1-4: Cantidad de materia para la elaboración de pila de compostaje	59
Tabla 2-4: Resultados de caracterización de muestras.....	60
Tabla 3-4: Resultados de Aniones	63
Tabla 4-4: Metales Pesados	64
Tabla 5-4: Resultados de promedios de temperaturas y calor de la pila de compostaje	67

Tabla 6-4: Resultado de temperatura promedio en el proceso de compostaje	68
Tabla 7-4: Cálculos de pérdida de presión en el escalamiento industrial	72
Tabla 8-4: Resultado de la altura dinámica.....	73
Tabla 9-4: Potencia de la bomba.....	73
Tabla 10-4: Resultados de aislantes para los tanques de almacenamiento de agua	74
Tabla 11-4: Resultados de aislantes para la tubería de cobre.....	75

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2: Flores	7
Ilustración 2-2: Propiedades del aserrín	9
Ilustración 3-2: Pila de Compostaje	10
Ilustración 4-2: Proceso de Compostaje	12
Ilustración 5-2: Tanque de almacenamiento de agua de polietileno	27
Ilustración 1-3: Elaboración de pila de compostaje	36
Ilustración 2-3: Residuo de Flores.....	36
Ilustración 3-3: Aserrín	37
Ilustración 4-3: Estiércol de Codorniz.....	37
Ilustración 5-3: Trituradora Industrial.....	38
Ilustración 6-3: Diseño del sistema de recuperación de calor.	40
Ilustración 7-3: Diagrama para el balance de materia	40
Ilustración 8-3: Diagrama para balance de energía	40
Ilustración 9-3: Tubería de Cobre	41
Ilustración 1-4: Pérdida de materia orgánica.....	62
Ilustración 2-4: Comportamiento de la temperatura a través del proceso de compostaje	64
Ilustración 3-4: Evolución de la temperatura de la salida de agua en la tubería de cobre.....	65
Ilustración 4-4: Energía calórica en la pila de compostaje.....	66
Ilustración 5-4: Plano del Escalamiento Industrial.....	69
Ilustración 6-4: Diagrama P&ID del Escalamiento Industrial	70

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DE FLORES
- ANEXO B:** CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS
- ANEXO C:** TRITURACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LAS FLORES
- ANEXO D:** ELABORACIÓN DE LA PILA DE COMPOSTAJE
- ANEXO E:** VOLTEO DE LA PILA DE COMPOSTAJE
- ANEXO F:** CONTROL DE DIFERENTES VARIABLES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE
- ANEXO G:** DIFERENTES ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS
- ANEXO H:** DATOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE
- ANEXO I:** DATOS OBTENIDOS DE LA PILA DE COMPOSTAJE
- ANEXO J:** DATOS OBTENIDOS EN LA PILA DE COMPOSTAJE

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- VAN:** Valor Actual Neto
- TIR:** Tasa Interna de Retorno
- NPSH:** Altura Neta Positiva de Aspiración
- C/N:** Carbono/Nitrógeno
- P:** Pila de Compostaje
- LE:** Llave Esférica
- C:** Caudalímetro
- BC:** Bomba Centrifuga
- CP:** Cisterna Principal
- TA:** Tanque Aislado

RESUMEN

El presente trabajo mostró una propuesta técnica que tuvo como objetivo diseñar y escalar un sistema de recuperación de energía calórica en el proceso de compostaje. El proyecto inició con la recolección de residuos de flores, aserrín y estiércol de codorniz para la caracterización fisicoquímica. Una vez obtenidos los resultados y las cantidades específicas de cada residuo se elaboró la pila de compostaje colocando en capas intercaladas cada uno de los componentes. El proceso inició con la elaboración de la pila de compostaje que tuvo una composición del 70% de residuo de flores, 15% de estiércol de codorniz y 15% de aserrín, con un total de materia orgánica de una tonelada. El sistema para la recuperación de energía calórica se basó en una conexión de tuberías de cobre e integrando la tubería en forma de serpiente en el centro de la pila. Se realizó un control diario de la temperatura usando termocuplas. Además, se realizó los análisis fisicoquímicos de las muestras en cada volteo de la pila para conocer cómo evoluciona el proceso de descomposición de materia orgánica y el monitoreo de los diferentes factores que intervienen en el proceso de compostaje. El calor recuperado tuvo un promedio de 20 Wh/kg por día, el agua que atraviesa la pila de compostaje tuvo una recuperación de un gradiente de temperatura de 5,38°C. Finalmente, los resultados obtenidos cumplen con los límites establecidos en la Norma European Commission referente a la calidad del compost, lo que conllevó al escalamiento a nivel industrial del diseño y la viabilidad económica donde se obtuvo un periodo de recuperación de 10 años. Se recomienda clasificar los residuos orgánicos ya que existen contaminantes que pueden perjudicar al proceso de compostaje.

Palabras clave: <COMPOST>, <COMPOSTAJE>, <RESIDUOS ORGÁNICOS>, <ENERGÍA CALÓRICA>.



1091-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

The present work showed a technical proposal that aimed to design and scale up a system for heat energy recovery in the composting process. The project started with the collection of flower, sawdust and quail manure residues for physicochemical characterization. Once the results and the specific quantities of each residue were obtained, the compost pile was made by placing each of the components in intercalated layers. The process began with the elaboration of the compost pile, which had a composition of 70% flower residue, 15% quail manure and 15% sawdust, with a total organic matter of one ton. The system for heat energy recovery was based on a copper pipe connection and integrating the pipe in the form of a coil in the center of the pile. Daily temperature monitoring was performed using thermocouples. In addition, physicochemical analysis of the samples was performed at each turning of the pile to know how the organic matter decomposition process evolves and to monitor the different factors involved in the composting process. The heat recovered averaged 20 Wh/kg per day, the water passing through the composting pile had a temperature gradient recovery of 5.38°C. Finally, the results obtained comply with the limits established in the European Commission Standard regarding compost quality, which led to the industrial scale-up of the design and the economic viability where a recovery period of 10 years was obtained. It is recommended to classify the organic wastes since there are contaminants that can damage the composting process.

Key words: <COMPOST>, <COMPOSTING>, <ORGANIC WASTE>, <COALORIC ENERGY>



Abg. Ana Gabriela Reinoso. Mgs.

CI: 1103696132

INTRODUCCIÓN

Los desechos que provienen de florícolas tienen la desventaja de no ser tratados y permanecen en depósitos hasta ser trasladados a los basureros municipales para luego convertirse en contaminantes debido a la presencia de bacterias patógenas y a la poca relación de nutrientes existentes. Según CFN, (2021, p. 5) en el año 2020 se contabilizó 237 empresas dedicadas a la comercialización y sembrío de flores, Pichincha lidera con un 73% , seguido por Cotopaxi con 12%, Guayas con 3%, Imbabura, Carchi y otras provincias con 4%. Una de las ciudades que tiene gran cantidad de florícolas y considera esto dentro de sus actividades económicas principales es Ambato, según Asqui & Serrano, (2015, p. 19) la producción por día de residuos florícolas es de 40 – 50 kg considerando solamente al Mercado de Flores y en días festivos tiene un aumento de 60-70 kg por día, se alcanza también 17000 toneladas de flores exportadas por año, en contraste con Colombia que tiene una producción de 239,497 toneladas de flores por año (Garzón, 2020, p. 91) . El compostaje es un proceso biológico aeróbico que mediante la ayuda de diferentes microorganismos los desechos orgánicos se descomponen para obtener compost, abono rico en nutrientes para el uso agrícola. De esta manera ayudar a obtener un abono natural libre de componentes dañinos y reducir la contaminación desde el inicio de los desechos florícolas. El producto final del compostaje es obtener una materia orgánica estabilizada e higienizada, pero es importante tomar en cuenta la temperatura que alcanza el proceso y su viabilidad en ambientes fríos (Heinonen-Tanski et al., 2005, p. 247-252).

Bajo condiciones controladas se logra aprovechar la energía calórica, según Diéguez-Santana (2021, pp. 11-17), los resultados de utilizar el compost como medio de recuperación de calor para la reducción de otros combustibles como diéses y GLP es favorable, en esta investigación se utilizó como materia prima el bagazo de la caña de azúcar y el estiércol de animales de finca, utilizando un sistema de recirculación de agua para calentar las calderas y producir aguardiente de caña. Dentro de los países que gestionan los residuos tanto en compostaje como recuperación de energía es Alemania con un 65%, Suiza 51%, Bélgica 55%, Países bajos y Suecia 50%, Japón 19% considerando el sobrante de porcentaje en incineración de desechos y residuos sin gestionar (Segura et al., 2020, pp. 3-22). Por otra parte, la alternativa propuesta, tiene fines industriales, que al ser escalado se pueda aprovechar la energía calórica en grandes cantidades para procesos industriales que lo requieran.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

El compostaje ha sido un tema muy importante a través del tiempo para diferentes fines. Su inventor fue Albert Howard, conocido también como el padre del compostaje moderno, quien en 1930 fue el primer agrónomo en experimentar sobre el modo de preparar el abono, utilizando el método “Indore” formado por la mezcla fermentada de diferentes desechos orgánicos y materiales. Sin embargo, el compost es cualquier planta que luego de caer al suelo se descompone de forma aeróbica.

En la antigüedad, debido a la alta cantidad de residuos que fueron generados de distintas fuentes se dio la necesidad de aprovechar los nutrientes que conformaban estos desechos. El compostaje ha sido considerado una de las técnicas antiquísimas en la agricultura; que ha sido sometida a varias formas de realizarla pasando por distintas épocas, siendo en ese entonces una técnica sumamente valorada por los agricultores que con el tiempo ha llegado a ser un sistema olvidado dentro de la agricultura. Existen pocos datos sobre la cantidad de calor recuperado en el proceso de compostaje porque son resultados muy escasos y diversos.

En la actualidad el proceso del compostaje se podría aprovechar a través de ciertos sistemas que permitan almacenar esta energía y convertirla en un bien social, aprovechando los residuos tal como lo venían haciendo en el pasado, teniendo en cuenta que los desechos siempre están presentes en mayor cantidad en el sector agropecuario el cual puede inculcar y motivar a las personas a aprender acerca del compostaje y de esta forma implementar su aprovechamiento energético.

La recuperación de calor en el compostaje se perfeccionó en Francia en 1600 en donde se usaron grandes extensiones de invernaderos hechos con vidrio para los sembríos en las épocas de invierno, se utilizó estiércol de caballo tanto viejo como fresco que permita equilibrar el calor que emana su descomposición. Al comienzo de la era moderna se usaba un sistema de compostaje combinado de calor y electricidad en Francia, aquí la energía térmica se recupera de forma pasiva a través de la convección de calor en zonas de las raíces de los cultivos, luego se implementó el sistema de Jean Pain llamado montículo Pain este usa montículos de maleza con varios metros de tuberías llenos de agua que atravesaban el abono para el aumento de temperatura producido por la descomposición de la maleza que permita calentar el agua de las tuberías mediante conducción permitiendo su uso a otros fines que no sean solo los agrícolas.

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente el medio ambiente enfrenta una gran problemática de contaminación que aumenta día a día causada por las emisiones de CO₂ en sistemas de calefacción. La basura orgánica proviene de desechos orgánicos como restos de frutas, plantas, verduras, estiércol de animales, entre otros que se producen en grandes cantidades en zonas urbanas y rurales. Los residuos pueden ser aprovechados como materia prima para procesos de compostaje adaptándose de tal forma que el aprovechamiento de energía calórica sea eficaz y aplicable. El desconocimiento general de la elaboración de una pila de compostaje es una desventaja para el beneficio que puede ofrecer al sector industrial y a la agricultura por lo que la propuesta del aprovechamiento de calor del compost resulta innovadora. La aplicación de tratamientos de residuos orgánicos permite su uso en diferentes procesos a futuro, en el caso de la agricultura, permite sustituir abonos procesados con químicos poco saludables para el suelo por fertilizantes de origen natural o abonos verdes. Por último, la energía en zonas rurales es escasa por lo que al implementar este proyecto en aquellas zonas sería de gran beneficio al aprovechar los desechos que se generan de distintas formas para su beneficio y el de la sociedad en general.

1.3 Justificación del proyecto

El tema se basa en la elaboración de un diseño para aprovechar la energía calórica para beneficiar a distintas personas que pueden dar uso a la materia orgánica de sus alrededores.

El proceso de compostaje se ha venido usando desde hace mucho tiempo en el área agrícola, formado por la mezcla de distintos desechos que se generan por la actividad hogareña, agrícola y ganadera. Estos residuos sólidos al descomponerse generan calor por la presencia de oxígeno y microorganismos que degradan la materia orgánica, estos microorganismos son de tipo aerobios generando también dióxido de carbono. El calor generado durante el compostaje puede ser usado, sobre todo en lugares de climas fríos, para calefacción o incluso obtención de energía calórica. Durante el proceso se producen elevadas temperaturas en la fase termófila del compostaje debido a la degradación de la materia orgánica por parte de los microorganismos. Esta temperatura puede llegar a los 60-65°C durante varios meses, por lo que es muy importante poder aprovechar este recurso durante los meses fríos del año. El desarrollo de un método de compostaje relacionado con el aprovechamiento de calor tiene presente diferentes variables fisicoquímicas que deben ser analizadas, lo que permitirá obtener energía calórica y a su vez un compost maduro con una elevada cantidad de nutrientes y materia orgánica aprovechable con fines agrícolas, con una respectiva evaluación de la energía calórica y sus aplicaciones para verificar la factibilidad del proyecto. Este campo es significativamente importante para el desarrollo de la matriz productiva de nuestro país.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar y escalar un sistema de recuperación de energía calórica mediante ecuaciones de diseño de ingeniería para determinar su factibilidad a nivel industrial en el proceso de compostaje

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar el proceso de compostaje con la implementación de un sistema de recuperación de energía calórica para monitorear las variables y la energía final recuperada.
- Evaluar la calidad del compost obtenido en base a la Norma European Commission.
- Diseñar un sistema de recuperación de energía calórica que pueda aplicarse a escala industrial.
- Analizar la viabilidad técnica y económica del sistema de recuperación de energía calórica.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Antecedentes de investigación

Según Antizar-Ladislao et al., (2010, pp. 9-10) especifica que el calor recuperado en el proceso de compostaje con residuos municipales y lignocelulosa como principal sustrato es de 6000 kJ/kg por día, donde se utilizó una instalación de compostaje por túneles en serie que llegan a un intercambiador de calor, el cual facilitó incrementar la temperatura de agua a 47°C.

Según Radojičić et al., (2017, p. 10-11) afirma que el calor producido en el proceso de compostaje de paja de trigo y el estiércol de pollos de engorde oscila entre 1,01 KJ•g-1. Donde fueron usados seis túneles para recuperar calor con control total sobre el proceso de aireación que pasa por cada túnel, la el rango de temperatura oscilo entre 45 – 50 °C y la reducción de masa en el proceso de compostaje fue del 30%.

En la investigación “Creación de una granja lechera económicamente viable, de un sistema cerrado e independiente de la energía mediante la producción en la granja de lecho para animales y la captura de calor de una pila estática aireada con recuperación de calor en la operación de compostaje” propone un diseño y adecuación para poder recuperar la energía de la pila de compostaje en un promedio de 293,90-811,32 BTU/día, con un rango de temperatura de 121 – 133 °F. En donde señala primero la preparación del sitio con un sistema de drenaje importante para evitar la contaminación de las vías fluviales por los nutrientes que vienen por parte de la materia prima, compost y el lixiviado del compost, por ello, es necesario la utilización de algún tipo de filtro. Luego se realiza la preparación de losas subterráneas y muros de hormigón en donde pasarán líneas de agua fría y caliente, el objetivo de aislar las losas de hormigón es evitar que las temperaturas frías del suelo roben el calor de la losa y de los conductos de aireación utilizando capas de espuma de poliestireno extruido estriado (Smith, 2016, p. 136-139).

En la investigación “Evaluación de la temperatura durante la producción de compost a partir de residuos orgánicos bajo un sistema cerrado y abierto” para la elaboración del compost se utilizó dos tratamientos un sistema cerrado y abierto evaluando la temperatura durante 35 días, el sistema cerrado alcanzó una mayor temperatura de 19,55 °C, mientras que en el sistema abierto se obtuvo una temperatura de 17,95 °C. Las pilas se armaron en varios depósitos, primero con un metro de aserrín en la parte inferior, seguido de materia orgánica 50% de fruta de 50% de verdura de varias ferias de Puno-Perú luego se aplicó una capa de tierra de una altura más o menos de 1 cm para ser cubierta completamente y sea más eficiente para la recuperación de calor en el sistema cerrado. En el sistema abierto simplemente se utilizó las capas con la materia orgánica expuesta directamente al aire libre, lo que demostró también una degradación más rápida en el sistema cerrado (Sucasaire, 2015, p. 37-38).

En el experimento de Seki & Komori, (2015, p. 3) "Experimento de recuperación de calor del compost mediante un intercambiador de calor de prueba" Se utiliza el proceso de compostaje como alternativa de energía limpia para calentar invernaderos por medio de un intercambiador de calor tipo condensador que durante dos semanas recupera calor a través de un tubo manejable por donde pasa aire y que conecta con un contenedor lleno de materia orgánica. La energía calórica resultante recuperada es de 1,2 a $2,6 \times 10^5$ kJ.

En la investigación "Energy recovery from commercial-scale composting as a novel waste management strategy" el compostaje ASP (compostaje de pila estática aireada) con recuperación de energía tiene tasas de captura de energía de 17 700–32 940 kJ/h con temperaturas de vapor de compost de 51–66 °C. También existió un desfase de temperatura durante cada ciclo de aireación, donde las temperaturas del vapor entrante inmediatamente después de la salida de la pila de compost aún no reflejaban lo que estaba llegando al intercambiador de calor, siendo el diferencial de 4,4 °C tras el primer minuto de aireación y de 1,3 °C tras el sexto minuto (Smith & Aber, 2018, pp. 194-199). La composición del compost para todos los ensayos fue una mezcla de 40% de estiércol de vaca, 40% estiércol de caballo/mezcla de cama y 20% heno de desecho. Las temperaturas de vapor variaron debido a la edad de la pila y diferencias menores de composición en las mezclas de compost (Smith & Aber, 2018, pp. 194-199).

En cambio, en la investigación "Heat potential, generation, recovery, and utilization from composting: A review" existe una revisión general de diferentes métodos de compostaje y el calor recuperado. Una de estas investigaciones llamada "Experiment of heat recovery from compost by a trial heat exchanger" (Seki & Komori, 2015, p. 3) utiliza como sustrato estiércol de pollo, cascarilla de arroz y aserrín, el compostaje duró 15 días y un sistema de recuperación de energía calórica mediante una tubería que atraviesa la pila de compostaje. Obtuvo un resultado de 0.01–0.03 kWh/kg que está dentro del rango de la pila de compostaje con flores, codornaza y aserrín. Además, en la investigación "Temperature measurement and performance assessment of the experimental composting bioreactor" (Bajko, J.; et al., 2018, pp. 1-5) utiliza como sustrato aserrín, estiércol de caballo, residuos vegetales y hojas, el compostaje tuvo una duración de 36 días y un sistema de recuperación de energía calórica mediante un intercambiador de calor. Obtuvo un resultado de 0.14 kWh/kg que se asemeja al valor obtenido por la pila de compostaje de flores, codornaza y aserrín. Estos valores sustentan la validez del proyecto haciendo referencia a la recuperación de energía calórica en el proceso de compostaje.

2.2. Referencias teóricas

2.2.1. Concepto de residuos

2.2.1.1. Residuos sólidos

Un residuo sólido se refiere a productos o sustancias en estado sólido que ha terminado de cumplir con un propósito y es desechado porque ya no tiene ningún valor económico o comercial.

2.2.1.2. Flores

Según, De Lima et al. (2019, p. 149-158), la caracterización de ocho especies de flores ornamentales que están constituidas en los residuos utilizados en la elaboración de la pila de compostaje tienen una composición química y valor calórico de los pétalos, que por cada 100g de pétalos frescos de aquellas especies, tienen la siguiente composición: 72 calorías, 10,9 g de carbohidratos, 1,84 g de proteínas, 0,27 g de extracto etéreo y 3,5 g de fibra. Los cuales aportan al proceso de compostaje y a su mayor descomposición. Los residuos de flores son capaces de incrementar la actividad biológica y su población de bacterias solubilizadoras de fosfato que son capaces de ayudar a proporcionar más cantidades de fósforo a las plantas y a aumentar el pH, también es de fácil obtención ya que se requieren de grandes cantidades de residuos para aprovechar de todas sus propiedades. Las flores utilizadas para la elaboración de la pila de compostaje se muestran en la Ilustración 1-2.



Ilustración 1-2: Flores

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

2.2.1.3. Aserrín

El aserrín es la mezcla de partículas que se liberan de la madera cuando es llevada a un aserradero, este contiene pequeñas partículas de madera que se producen por el manejo de este en diferentes maquinas que permiten obtener aserrín. Las propiedades y características del aserrín se muestran en las tablas 1-2 y 2-2 respectivamente. El aserrín utilizado para la pila de compostaje se muestra en la Ilustración 2-2.

Tabla 1-2: Características de residuos de madera corriente

Residuo	Tamaño (mm)	Contenido de humedad (%)	Contenido de cenizas (%)
Aserrín	1-10	25-40	0,5-2,0

Fuente: Serret-Guasch et al., 2016, p. 1-3

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

Tabla 2-2: Propiedades del aserrín

Característica	Valor	Característica	Valor
Contenido de humedad (%)	15,5	Tamaño (mm)	(% peso)
Densidad aparente (kg/m ³)	167	>4,0	2,29
Valor calórico bajo (MJ/kg)	17,86	4,0-3,35	2,32
Análisis elemental (% peso total, Ihca)		3.35 – 1,98	6,60
C	50,65	1,98 – 1,60	9,62
H	6,03	1,60 – 1,25	17,87
N	0,14	1,25 – 0,84	23,13
O (por diferencia)	43,18	<0,84	18,24

Fuente: Serret-Guasch et al., 2016, p. 1-3

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.



Ilustración 2-2: Propiedades del aserrín

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

2.2.1.4. *Estiércol de codorniz*

El estiércol de codorniz se caracteriza por tener un crecimiento rápido y activo con alta concentración de macro y microelementos, es un excelente caldo de cultivo para algunos microorganismos (Pauca & Quispe, 2015, p. 10-11). Las características del estiércol se ven reflejadas en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Características del estiércol de codorniz

Características	% Nitrógeno total	% Fósforo	% Potasio soluble
Estiércol de Codorniz	2,97	8,47	6,0

Fuente: Pauca & Quispe, 2015, p. 10-11.

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

2.2.2. *Compostaje*

El compostaje es el proceso donde interviene la descomposición biológica del material orgánico que la compone, mediante la transformación aerobia por parte de diferentes microorganismos como bacterias y hongos se obtiene energía calórica. Los factores como temperatura, humedad, pH, tamaño de las partículas, oxígeno y la cantidad de C/N son de vital importancia para determinar las características finales del compost. (Bohórquez, 2020, p. 9-10). La pila de compostaje elaborada se refleja en la Ilustración 3-2.



Ilustración 3-2: Pila de Compostaje

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

2.2.3. Tipos de compostaje

2.2.3.1. Sistemas abiertos

El compostaje en pilas es el método más sencillo porque se construye directamente en el suelo, donde se elaboran las pilas mediante capas de diferentes residuos según el estudio a realizarse. Las pilas no son estructuras estables por lo que hay que tener en cuenta que pueden esparcirse dependiendo de las condiciones climáticas (lluvias) y si la pila no está protegida.

- **Compostaje en pilas estáticas**

Las pilas estáticas se caracterizan por formar pilas de menor altura que permanecen sin movimiento en su proceso. La aireación se da naturalmente ya que el aire fluye de forma suave y pasiva a través de las pilas. (Tipan & Yáñez 2011, pp. 11-70).

- **Compostaje en pilas de volteo o hileras**

El método por volteo o hileras tiende a elaborarse en galpones o al aire libre, las pilas son alargadas, con forma de pirámides, todo dependerá de las condiciones climáticas y la maquinaria disponible para las materias primas a utilizar en el proceso.

El sistema de volteo se puede realizar de forma manual con ciertas herramientas que permitan una considerable mezcla de todos los componentes utilizados en su elaboración, o bien, mecánica donde se puede utilizar maquinaria pesada para obtener un mismo resultado, pero de manera más rápida. (Jimenez, 2012, p. 43-44). El volteo debe realizarse cuando se denote la caída de temperatura o bien la caída de humedad, que no deben bajar de 40 °C porque los microorganismos empiezan

a perecer ya que estas condiciones no permiten una libre reproducción de los diferentes microorganismos que forman el proceso de compostaje.

- **Compostaje en pilas estáticas aireadas en forma pasiva**

Las pilas estáticas se elaboran con una red de tuberías perforadas en su base, que pasan a través de toda el área, estas pilas deben ser más altas, de 1 a 1.5 m.

Se coloca una cubierta porosa que permita el flujo pasivo de aire a través de la tubería. La cubierta también cubre los olores. Además, la cubierta tiene como finalidad controlar la humedad (Jimenez, 2012, p. 43-44).

2.2.3.2. *Sistemas cerrados*

El compostaje en sistemas cerrados consiste en que los residuos orgánicos que se van a usar en el proceso no tienen ningún tipo de contacto con el exterior, generalmente se usan para permitir un mejor control de los olores generados y permite un mejor resultado en la degradación de los desechos ya que se da en menor tiempo y minimiza el impacto con el medio ambiente. (Valverde, 2015, pp. 18-125).

- **Compostadores**

Se llaman compostadores a recipientes cerrados de distintos modelos y capacidades, el objetivo principal de este compostador es mantener ordenada la materia a compostar, siendo una opción más estética y que no requiere de espacios grandes para cumplir con el proceso, aunque es un sistema que limita la homogeneidad de los residuos (Tipan & Yáñez 2011, pp. 11-70).

- **Compostaje en reactores**

El sistema utiliza un contenedor cerrado (reactor) vertical u horizontal que permite una descomposición más rápida (hasta 14 días) para tener un compost de buena calidad porque permite el control de los parámetros del proceso por lo que su construcción requiere de un alto costo de inversión (Tipan & Yáñez 2011, pp. 11-70), (Andalucía, 2000, p. 7).

- **Compostaje anaerobio**

También llamado compostaje mesofílico, hace énfasis en el uso de microorganismos con falta de oxígeno que puedan nivelar la materia orgánica por conversión a productos inorgánicos como el

metano o también dióxido de carbono, sin embargo, este sistema provoca la aparición de gases y malos olores (Tipan & Yáñez 2011, pp. 11-70).

2.2.4. *Proceso de compostaje*

El proceso de descomposición empieza gracias a la acción de microorganismos (bacterias y hongos) sobre el material orgánico usado en la pila de compostaje. Además de diferentes factores que intervienen directamente en el proceso.

Los factores que intervienen se pueden clasificar en dos tipos: el primer grupo: temperatura, pH, humedad y oxígeno. El segundo grupo: tamaños de las partículas, relación C/N, nutrientes, sustrato y materia orgánica.

2.2.5. *Compost*

El compost es el residuo de los restos orgánicos y microorganismos que fueron parte del proceso de descomposición donde los parámetros como temperatura, humedad, materia orgánica y oxígeno intervienen directamente para obtener un compost de buena calidad. El proceso de compostaje se muestra en la Ilustración 4-2.

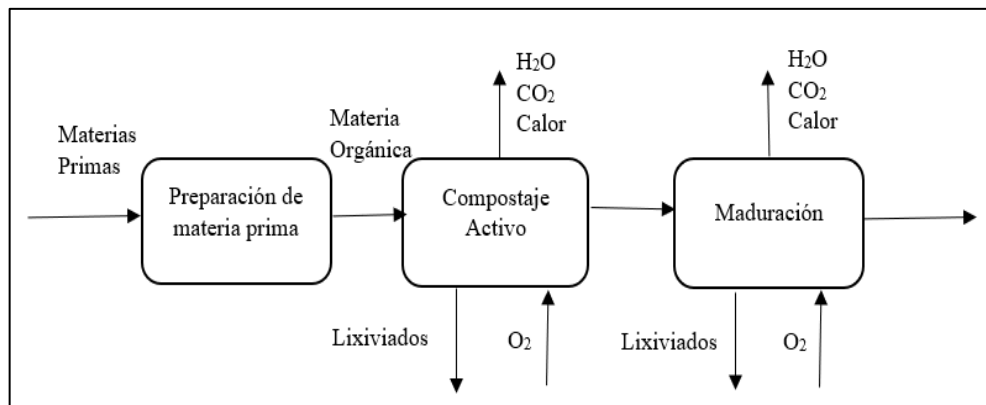


Ilustración 4-2: Proceso de Compostaje

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

2.2.6. *Fases en el proceso de compostaje*

2.2.6.1. *Fase mesófila*

En esta fase también llamada "fase de activación" la temperatura está comprendida entre 10 y 40 °C. La duración es de aproximadamente entre una y dos semanas, donde se produce calor y dióxido de carbono y adicionalmente se da una disminución de pH superior a 4 por el grado de

descomposición. Es una etapa en donde interviene todas las bacterias y hongos mesofílicos (Valverde, 2015, pp. 18-125).

2.2.6.2. Fase termófila

Conocida también como etapa de calentamiento, la temperatura llega a subir de 50 a 60°C, siendo un factor importante a tomar en cuenta ya que estas altas temperaturas permite una esterilización de la materia y provoca también una muerte o adormecimiento de las bacterias y hongos mesofílicos (Valverde, 2015, pp. 18-125), al llegar a este valor de temperatura empieza el proceso de pasteurización dando paso a la destrucción de los microorganismos patógenos e inhibir la germinación de algunas semillas. Finalmente se produce una liberación de amoníaco y empieza a elevarse el valor de pH hasta 8. Esta fase se caracteriza por requerir grandes cantidades de oxígeno.

2.2.6.3. Fase de enfriamiento

Cuando la materia orgánica se haya descompuesto totalmente, la temperatura tiende a descender y los microorganismos mesófilos empiezan a degradar la celulosa junto a la lignina sobrante. Este proceso da como resultado sustancias húmicas. El pH llega a estabilizarse y el requerimiento de oxígeno también (Valverde, 2015, pp. 18-125).

2.2.6.4. Fase de Maduración

Las tres fases anteriores se dan en algunas semanas, pero la fase de maduración requiere de varios meses a temperatura ambiente. Conforme pase el tiempo la temperatura va descendiendo hasta que su valor llegue a la temperatura ambiente y el pH se equilibra hasta la neutralidad. Dependiendo del sistema de compostaje usado y de las materias primas, tardará entre 2 a 5 meses para que la maduración se complete (Valverde, 2015, pp. 18-125).

2.2.7. Factores que intervienen en el proceso de compostaje

2.2.7.1. Aireación

La descomposición es un proceso donde es necesaria la presencia de oxígeno, ya que los microorganismos son aerobios. La capa exterior de la pila de compostaje es la que contiene mayor porcentaje de oxígeno, casi similar al porcentaje de ambiente. La capa interior tiene menor cantidad de oxígeno y conforme la capa sea más interna, el porcentaje de oxígeno va

disminuyendo. La insuficiencia de aireación provoca que los microorganismos aerobios sean sustituidos por microorganismos anaerobios, lo que resulta una menor velocidad de descomposición (Bohórquez, 2020, p. 7-8).

2.2.7.2. Humedad

La presencia de agua en el proceso de compostaje es imprescindible para que los microorganismos y para el transporte de sustancias que sirven de alimento a las células. La cantidad de agua no debe llenar totalmente los poros que existen en la pila de compostaje para que exista circulación tanto de oxígeno como de otros gases producidos en la descomposición. Según (Jeris y Regan, 2018, p. 1) al estudiar diferentes residuos, establece que el proceso de compostaje ocurrirá si hay gran cantidad de oxígeno en el lugar donde se realice el proceso. La humedad óptima para el desarrollo bacteriano esta entre 50 –70 %; la actividad bacteriana se ve reducida si la humedad decae debajo del 30%. Sobre el 70% perjudica a la aireación impidiendo el paso libre de oxígeno y produciendo anaerobiosis. Además, al sobrepasar este porcentaje se producen malos olores y la velocidad de descomposición se ve afectada.

El exceso en el nivel de humedad puede eliminarse con un mayor porcentaje de aireación, por lo tanto, un óptimo control de estos parámetros es directamente proporcional al control de la temperatura. En el proceso de compostaje se debe llegar a un equilibrio entre la humedad, aireación y los huecos entre partículas, por lo tanto, la humedad apropiada depende del tipo de residuo.

2.2.7.3. pH

El pH tiene relación directa con la dinámica del proceso de descomposición y los microorganismos. En muchas investigaciones esta variable es analizada para examinar el desarrollo del compostaje. La medida de pH se analiza en el laboratorio en muestras tomadas directamente de la pila para obtener un control sobre la aireación de la mezcla, ya que en el momento de crearse condiciones anaeróbicas se expulsan ácidos orgánicos lo que conlleva a un descenso de pH.

El proceso de compostaje consta de tres fases referente al pH. En la primera fase mesófila se observa un descenso del pH por la acción de los microorganismos en el material orgánico más débil. En la segunda fase se produce la pérdida de ácidos orgánicos y se genera amoníaco por la descomposición de las proteínas, este proceso conlleva a la alcalinización del material orgánico. (Bohórquez, 2020, p. 18-90).

2.2.7.4. Temperatura

La temperatura es el único factor no controlado del experimento ya que deseamos encontrar la temperatura máxima que se da a lo largo de la etapa termofílica del proceso (Fallas, 2016, p. 32).

La temperatura condiciona las reacciones bioquímicas de los organismos, mientras más temperatura exista el proceso metabólico se va a acelerar y la velocidad de descomposición de la materia orgánica alcanzará un punto crítico en donde el proceso va a disminuir. El proceso de compostaje presentará 3 etapas mesófila, termófila y termo-tolerante reguladas por la temperatura presentadas por diferentes hongos y bacterias. En la fase mesófila se presentará una temperatura menor a 45°C, en la fase termófila se da una temperatura mayor a 45 °C y la fase de termo enfriamiento se da cuando la temperatura alcanza valores muy cercanos a la temperatura ambiente (Bohórquez, 2020, p. 9-10).

2.2.7.5. Relación C/N

La relación carbono-nitrógeno es uno de los factores más importantes a la hora de iniciar un proceso de compostaje. Esta relación viene dada por la materia orgánica inicial que se utilizará en el sistema. (Tortarolo et.al., 2008, pp. 24-46). La relación varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1; asimismo se acota que si la relación es mayor a 35:1 existe un exceso de carbono y por ende el proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse. Si la relación es menor a 15:1, en la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno y por ende el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado. Distintos autores recomiendan rangos de trabajo, tal como (Cariello, 2007, pp. 32-34) mencionan que el rango ideal para el proceso es de 25 a 35:1, siendo 30:1 la más adecuada. Peña et al., (2020, pp. 1-10) recomienda una relación C/N de 30/1.

Una óptima relación entre los nutrientes se traduce en una adecuada descomposición orgánica y proliferación bacteriana. Al obtener un valor inicial de C/N no se refleja la madurez en un compost, por lo que es importante mantener un seguimiento de este factor y su evolución a través del tiempo en el proceso de compostaje, además de calcular los valores iniciales y finales (Bohórquez, 2020, p. 20).

2.2.7.6. Tamaño de partículas

Es importante tomar en cuenta el tamaño de partícula para que haya una mejor optimización del proceso, varios autores, recomiendan tamaños de 1-5 cm para evitar compactación de la pila y por ende una menor oxigenación lo que provocaría una disminución de la actividad microbiana la distintos tamaños a considerar, la actividad microbiana; por lo tanto, aumentar el tamaño de

partícula en los rangos recomendados permitirá a los microorganismos digerir mayor cantidad de material, acelerar su multiplicación y generar más calor (Moreno, 2008, pp. 95-96).

2.2.7.7. Trituración

La trituración es el nombre de los diferentes métodos de procesamiento de materiales. El triturado es también el nombre del proceso para reducir el tamaño de las partículas de una sustancia por la molienda. En numerosas técnicas, la trituración representa el proceso fundamental a partir del cual se realizan los procesos de tratamiento posteriores. Debido a la amplia variedad de materiales que pueden ser triturados, las máquinas acostumbran a ofrecer un alto grado de flexibilidad. Eso significa que las máquinas para triturar no son específicas para un tipo de sólido, sino que pueden abarcar varios de éstos. (Brito, 2000, p. 28).

2.2.7.8. Molienda

Es una operación unitaria que permite la reducción de tamaño de partículas de una muestra sólida, además contribuye a una mejor homogenización de la muestra para los análisis que lo requiera. El molino de grano es utilizado en el proceso de molienda, el ajuste para el nivel de fricción entre las placas depende del tipo de materia y su nivel de deshidratación (Valverde, 2015, pp. 18-125).

2.2.7.9. Volteo de la pila de compostaje

Cuando la pila este constituida, la única gestión manual es el volteo. El proceso consiste en volver a mezclar toda la materia prima utilizada inicialmente para elaborar la pila. Se lo lleva a cabo con herramientas de campo, dependiendo del tamaño de la pila de compostaje, por otro lado, se recomienda usar maquinaria para que el proceso no sea arduo. Al realizar el volteo se obtiene buenos resultados en una amplia variedad de residuos orgánicos y también funciona para mantener las condiciones aerobias y contenido de humedad de la pila para continuar el proceso de compostaje (Valverde, 2015, pp. 18-125).

2.2.8. *Microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje*

En el proceso de compostaje intervienen varios microorganismos que descomponen los residuos orgánicos que componen la pila, durante el proceso de descomposición los microorganismos se van reemplazando con otros y llegan a ser beneficiosos al madurar el compost, esto conlleva a obtener propiedades óptimas para una buena calidad final del compost y que sea apto para su aplicación en el ámbito agrícola y suelos (Asqui & Serrano, 2015, pp. 19-20).

2.2.8.1. *Bacterias*

Las bacterias son los microorganismos que llegan a alcanzar un nivel superior en la fase mesófila y termófila al inicio del proceso de descomposición. Luego decrecen notoriamente en la fase final o de maduración. La amplitud de su diversidad se debe a la elevada capacidad de crecimiento al ser capaces de formar esporas que son muy resistentes a ciertas condiciones ambientales desfavorables y el gran desarrollo que tienen en un rango amplio de temperatura. Todas estas características hacen que las bacterias se adapten con mayor facilidad a los cambios de disponibilidad de factores como: sustratos, temperatura, humedad y oxígeno (Márquez et al., 2017, pp. 6-126).

2.2.8.2. *Hongos*

Los hongos que se encuentran en el proceso de compostaje pertenecen a la clase Ascomycetes, Zygomycetes, Basidiomycetes y Ureidiomycetes, que son especies detectadas, escritas en orden decreciente, haciendo referencia a la frecuencia que son encontradas de cada clase en el proceso de compostaje. La presencia de hongos es mucho menor en comparación a la de las bacterias. Se caracterizan por tener la capacidad de descomponer polímeros vegetales complejos, secos y bajos niveles de nitrógeno o ácidos que son preparados para posteriormente ser descompuestos por las bacterias. La mayor cantidad de hongos se encuentran en capas externas de la pila de compostaje especialmente cuando la temperatura es alta. Los hongos tienen la capacidad de transformar los residuos orgánicos en nutrientes y a la vez sean aprovechado por las plantas (Márquez et al., 2017, pp. 6-126).

2.2.8.3. *Actinomicetos*

El grupo bacteriano de actinomicetos tienen ciertas características especiales porque tienen similitudes con los hongos, ya que estos organismos adquieren formas filamentosas que crean pseudomicelios muy parecidos a lo que forman los hongos. Los actinomicetos tienen la capacidad de desarrollarse más lentamente y tener una mayor capacidad para metabolizar compuestos complejos a comparación de otras bacterias. Adicionalmente, estos microorganismos ayudan a inhibir ciertos microorganismos patógenos creando antibióticos. Pueden llegar a ser tan numerosos en la pila de compostaje que se los puede observar como una capa blanquecina y son encargados del olor característico a tierra mojada que se debe a la producción de un compuesto llamado geosmina (Márquez et al., 2017, pp. 6-126).

2.2.8.4. *Protozoos*

Los protozoos se caracterizan por consumir bacterias y de esta forma libera nutrientes que ayudan al crecimiento de otros microorganismos. Se movilizan a través de canales de agua, por esta razón se encuentran en la zona rizosfera. Los protozoos empiezan a tener una mayor reproducción cuando la temperatura del compost está por debajo de 50°C. La cantidad de protozoos dependerá mucho de la cantidad inicial en el compost inicial ya que si la población aumenta demasiado se verán afectados otras bacterias como *Azotobacter* que empezarán a desaparecer que es la bacteria encargada de fijar nitrógeno atmosférico en el proceso de compostaje (MacDonnell, 2018, p. 37).

2.2.9. *Ventajas del uso del compost*

2.2.9.1. *Ventajas ambientales*

Se reduce considerablemente la cantidad de residuos sólidos destinados a vertederos de basura o la quema que provocan varios problemas de contaminación ambiental por las emisiones de contaminantes producidas por este tipo de actividades.

2.2.9.2. *Ventajas en los suelos*

- Favorece a la buena calidad del suelo y los productos agrícolas que se siembran con abonos naturales producidos con el proceso de compostaje ya que se evita el uso de fertilizantes químicos, también ayuda a proteger el suelo de la erosión (Cabezas, 2016, pp. 5-6).
- En cuanto a los sembríos que usan el compost tienen una estructura más saludable de sus raíces ya que brinda grandes cantidades de nutrientes, equilibra su pH y las protege en temporadas de sequías o heladas (Geisel & Seaver, 2009, pp. 1-2).
- Abastece de micronutrientes y macronutrientes como los N, P, K los cuales son absorbidos por el suelo para toda la planta evitando la lixiviación
- Ayuda a que los microorganismos tengan los suficientes nutrientes y energía para que haya actividad microbiana y mantenga al suelo muy fértil (Alarcón, 2016, p. 1-31).

2.2.9.3. *Ventajas sociales*

El compostaje puede ser tomado como un buen proyecto de educación ambiental para crear concientización con la cantidad de residuos que genera la sociedad y promover una alternativa sostenible con los residuos sólidos (Cabezas, 2016, pp. 5-6).

2.2.10. Normativa ecuatoriana

2.2.10.1. Normativa general para promover y regular la producción orgánicaecológica

- **Normativa General para Promover y Regular la Producción Orgánicaecológica - Biológica en el Ecuador Acuerdo Ministerial N° 299, Registro oficial N°34 del 11 de Julio de 2013**
- Artículo 1. OBJETO. - La presente Normativa tiene como objetivo establecer el marco general para promover la investigación, la transferencia de tecnología, la capacitación y regular la producción, procesamiento, comercialización, etiquetado, almacenamiento, promoción y certificación de productos orgánicos de origen agropecuario, incluido la acuicultura, en el Ecuador (Vizcaíno & Betancourt, 2013, p., 13).
- Artículo 2. FINALIDAD. - La finalidad de esta Normativa elevar la competitividad del sector agropecuario, incluido la acuicultura, proteger la salud de los consumidores, preservar el dinamismo vital del ambiente y mejorar la calidad de vida de los actores de la cadena productiva de productos orgánicos a través de la investigación, la transferencia de tecnología y la capacitación para el desarrollo de la agricultura orgánica (Vizcaíno & Betancourt, 2013, p., 13).
- Artículo 3. ÁMBITO. - El presente instrumento será de aplicación obligatoria para las personas naturales y jurídicas, domiciliadas o con establecimiento permanente dentro del territorio en el Ecuador, que se presten a incursionar o intervengan en cualquiera de las fases que comprenda la cadena de producción orgánica de productos de origen agropecuario, incluida la acuicultura (Vizcaíno & Betancourt, 2013, p., 13).
- Artículo 7.- La Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro AGROCALIDAD, es la Autoridad Nacional Competente responsable del control de los procesos de certificación de productos orgánicos de origen agropecuario incluido la acuicultura y del control de los actores de la cadena de producción orgánica en el Ecuador, como productores, procesadores, comercializadores, importadores, exportadores, inspectores orgánicos y agencias certificadoras de productos orgánicos (Vizcaíno & Betancourt, 2013, p., 13).
- Artículo 9.- El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias-INIAP, es la Autoridad Nacional Competente responsable de la investigación, transferencia de tecnología y capacitación en materia de producción orgánica agropecuaria en el Ecuador (Vizcaíno & Betancourt, 2013, p., 13).

2.2.11. Normativa europea para el proceso de compostaje

Los residuos orgánicos utilizados en el proceso de compostaje deben cumplir cierta serie de parámetros y normas para ser aptos para su uso, los parámetros necesarios están estipulados en la Norma Europea EN 13432 que trata sobre el compostaje industrial. Los usos de los compostos también están regulados en el Real Decreto 999/2017 (Comisión europea & Parlamento Europeo, 2006, pp. 26-27).

El proceso de compostaje debe cumplir normas sanitarias, que de igual forma son reguladas por la Unión Europea no. 1774/2002 y 208/2006 establecen los estándares sanitarios que se deben cumplir para evitar la reproducción no controlada y propagación de los patógenos existentes en el proceso, para esto se debe tener en cuenta:

- Evitar la re - contaminación del compost, al almacenarlo en un lugar adecuado siguiendo todos los métodos necesarios para regular temperatura, y otros parámetros según la norma europea (Comisión europea & Parlamento Europeo, 2006, pp. 26-27).
- La inspección de limpieza debe ser periódica para máquinas y ambientes, incluyendo áreas donde se haya realizado el proceso de compostaje, se recomienda documentar todas las inspecciones (Comisión europea & Parlamento Europeo, 2006, pp. 26-27).
- El plan de control de plagas debe ser indispensable y documentado. Las medidas preventivas para cualquier tipo de plaga, ratones, pájaros, insectos y parásitos en general deben adaptarse sistemáticamente en los ambientes donde se lleve a cabo el proceso de compostaje. Los análisis para determinar los patógenos existentes debe realizarse en laboratorios certificados (Comisión europea & Parlamento Europeo, 2006, pp. 26-27).
- Los equipos, maquinarias e instalaciones deben ser registrados de forma clara y ordenada, adicionalmente de datos generales como fechas, temperaturas, frecuencias y se debe permitir a la autoridad competente la verificación del proceso (Comisión europea & Parlamento Europeo, 2006, pp. 26-27).

2.2.12. Normas y especificaciones técnicas mediante la normativa europea

2.2.12.1. Evaluación legal

Es necesario si el compost sigue en su forma de residuo o se transforma en producto, esto no se aplica si el compost se realiza "in situ" y es utilizado en un área propia del lugar en el que se está desarrollando el compostaje y no será distribuido para su comercialización, en el caso de ser un compost industrial se considera como producto y pasa a reírse a la correspondiente legislación del medio ambiente, la cual se encarga de la regulación en gestión de residuos.

Para que el residuo se considere como producto debe obedecer con algunas condiciones que se enunciarán a continuación:

- Que el compost sea usado con una finalidad específica.
 - Que se integre en un mercado que demande dicho compost.
 - Que cumpla con las normas, legislación y la finalidad con la que fue creado el producto.
 - Que el uso del producto no tenga un impacto negativo sobre el medio ambiente o la salud.
- (Ansorena & Merino, 2014, p. 10).

2.2.12.2. *Requerimiento*

- Calidad del producto: Contenido mínimo en materia orgánica, ausencia de riesgos a causa de patógenos, considerar un límite de mañas hierbas, impurezas, metales pesados, etc.
- Respectivos análisis del producto que asegure la calidad de acuerdo con los métodos especificados del Comité Europeo de Normalización
- Considerar tres perfiles de temperatura: 65°C, 60°C Y 55°C
- Contar con la información necesario para ser incluido en el mercado como; la función del compost como fertilizantes, propiedades, instrucciones y recomendaciones de uso
- Debe haber un sistema de gestión de calidad en donde constará la aceptación de los materiales de entrada, supervisión del proceso, calidad del producto y la vigilancia del mismo cada cierto tiempo (Ansorena & Merino. 2014, p. 11).

A continuación, se muestran los diferentes límites existentes en la normativa europea:

2.2.13. *Límites establecidos por la Unión Europea*

2.2.13.1. *Límites para impurezas macroscópicas en compost maduro según la Unión Europea*

Tabla 4-2: Límites para impurezas macroscópicas en compost maduro.

Parámetros	Valor limite permisible (% d.m m/m)
Vidrio, metales, plástico	>0.5

Fuente: Asqui & Serrano, 2015, p. 29

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

2.2.13.2. Límites para metales pesados en compost maduro según la norma europea

Tabla 5-2: Límites para metales pesados en compost maduro.

Compost	Cd mg/kg d.m	Cu mg/kg d.m	Hg mg/kg d.m	Ni mg/kg d.m	Pb mg/kg d.m	Zn mg/kg d.m	As mg/kg d.m
Clase A	0.7	70	0.4	25	45	200	-
Clase B	2	300	1.5	90	150	500	-
Clase C	3	400	2.5	100	200	1000	-

Fuente: Asqui & Serrano, 2015, p. 30

Realizado por: Mena, S.; Román, A., 2022.

2.2.13.3. Valores límites de calidad del producto según la norma europea

Tabla 6-2: Límites de calidad del producto

Contenido mínimo de materia orgánica	El contenido mínimo de materia orgánica del producto final, después de la fase de compostaje y antes de cualquier mezcla con otros materiales será del 20%
Ausencia de organismo indicador de patógenos	Sin salmonela spp. en muestra de 50g
Limitación de impurezas macroscópicas	Las impurezas totales (materia no biodegradable) > 2 mm serán < 0.5% (materia seca)

Fuente: Asqui & Serrano, 2015, p. 30

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

2.2.13.4. Límites para metales pesados en compost maduro

Tabla 7-2: Límites para metales pesados en compost maduro

Parámetros	Valor (mg/kg)
Cr	100
Cd	1.5
Pb	120
Ni	50
Se	-
Hg	1
As	-

Fuente: Asqui & Serrano, 2015, p. 30

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

2.2.14. Parámetros para evaluar la calidad del compost

2.2.14.1. Macronutrientes y micronutrientes

El aporte de los nutrientes en el proceso de compostaje es de suma importancia cuando se encuentran en cantidades mínimas toleradas por el suelo siendo importante tener una relación equilibrada entre los nutrientes esenciales que permitirán una buena proliferación microbiana.

Existen macronutrientes esenciales para un buen desarrollo bacteriano siendo carbono, nitrógeno y fósforo, para el proceso de compostaje se necesita de la producción de energía, es aquí en donde interviene el fósforo que forma compuestos con gran energía celular y el carbono que es el que se encuentra en mayor cantidad durante el proceso de compostaje, el nitrógeno por su parte es el encargado en determinar la calidad de compost pero es importante controlar las cantidades de este nutriente para evitar la contaminación ambiental (Márquez et al., 2017, pp. 6-126).

2.2.14.2. Índice de germinación

El ensayo de laboratorio permite conocer que tan favorable resulta para un grupo de semillas la colocación de un compost y a primera vista se puede evaluar también su calidad. Permite también evaluar y detectar si existe algún componente tóxico que se pudo haber originado en la fase bio-oxidativa en el proceso de compostaje e identifica si el compost está en una etapa de madurez apta para su utilización en la agricultura ya que si el compost se encuentra aún inmaduro repercutiría negativamente en el cultivo (Peña et al., 2020, pp. 1-10).

2.2.15. Aprovechamiento de calor en el proceso de compostaje

2.2.15.1. Capacidad calórica

La capacidad calórica o calorífica C_p está dentro de las propiedades extensivas, a mayor muestra necesita mayor cantidad de calor para poder aumentar su temperatura y al mismo tiempo su capacidad calorífica. Es un proceso que depende de la presión y temperatura del sistema. Cuando el sistema que se está analizando mantiene el volumen constante se nombra capacidad calorífica a volumen constante C_v . Es una propiedad capaz de indicar la capacidad que tiene un material de absorber calor de su alrededor o entorno (Ortiz et al., 2018, p. 2).

2.2.15.2. Transferencia de calor

El calor es la forma de la energía que se puede transmitir de un sistema a otro como resultado de la diferencia en la temperatura. La cantidad de calor transferido por unidad de tiempo se le llama razón de transferencia de calor, se denota por \dot{Q} y se puede obtener con la siguiente relación (Cengel, 2013, p. 12):

$$Q_{ent} - Q_{sal} + E_{gen} = \Delta E_{t\acute{e}rmica,sistema}$$

Ecuación 1-2: Transferencia de calor

Donde:

$Q_{ent} - Q_{sal} =$ Transferencia neta de calor.

$E_{gen} =$ Generación de calor.

$\Delta E_{t\acute{e}rmica,sistema} =$ Cambio en la energía térmica respecto al sistema.

2.2.15.3. Ecuación de Bernoulli

$$H = Z + \frac{P}{w} + \frac{V^2}{2 * g}$$

Ecuación 2-2: Ecuación de Bernoulli

Donde:

$Z =$ Diferencia de altura

$P =$ Presión

$w =$ Densidad del fluido

$H =$ Altura Hidraulica

$V =$ Velocidad de flujo del fluido

$g =$ aceleración debido a la gravedad

2.2.15.4. Conducción

Es una forma de transmisión de calor por contacto sin existir transferencia de materia, se da en sólidos, líquidos o gases. En el caso de gases y líquidos la conducción se produce por colisiones y difusiones de las moléculas. En el caso de los sólidos la conducción se debe a la combinación de las vibraciones de las moléculas y a la transportación de energía de los electrones libres. La rapidez de esta transmisión depende de la geometría, espesor y material del medio en el que se vaya a transmitir y de la diferencia de temperatura (Cengel, 2013, p. 18). La ecuación es:

$$Q_{conducción} = -kA \left(\frac{\Delta T}{\Delta X} \right)$$

Ecuación 3-2: Ecuación de conducción

Donde:

$Q_{conducción}$: Tasa de calor por conducción (W)

A : Área de transferencia de calor (m^2)

K : Conductividad térmica del material ($W/m^{\circ}C$)

$\frac{\Delta T}{\Delta X}$: Gradiente de temperatura

2.2.15.5. Convección

La transferencia de energía entre una superficie sólida y un sólido o gas que está en movimiento comprende que cuanto más rápido es el movimiento del fluido, mayor es la transferencia de calor. El estudio y determinación de la transferencia por convección se realiza generalmente mediante números adicionales: Nusselt, Prandtl y Reynolds (Chanes et al., 2005, p. 89-106).

2.2.15.6. Conductividad térmica

Es una propiedad física que permite medir la capacidad de una sustancia o material para transferir calor a otro por conducción. Se caracteriza por tener en cuenta la Ley de Fourier, que demuestra que la velocidad de flujo calorífico que pasa a través de un cuerpo sólido es directamente proporcional a la superficie y a la diferencia de temperatura entre dos caras opuestas e inversamente proporcional al espesor. Esta ley es aplicada en todos los materiales dependiendo estrictamente de su estado. Se expresa en unidades de $kcal/m.h^{\circ}C$ y en el SI como $W/m^{\circ}C$ (Gomes, 2021, pp. 13-18).

2.2.15.7. Aprovechamiento de calor

El aprovechamiento de calor en el proceso de compostaje se da en tres etapas: producción de calor, captura de calor y recuperación del calor. (Smith et al., 2017, pp. 11-22) La cantidad real de calor producido se determina por factores como el contenido de la energía de la materia prima y que tan degradable es. La duración del compostaje y las variables que prevalecen son la temperatura, la humedad, consistencia del sustrato y el tamaño de la partícula. La energía liberada depende de la materia prima que se utiliza para el proceso de compostaje. El enfoque más utilizado para extraer calor de compostaje es el calentamiento de la tubería de cobre a través de la conducción de calor en la parte inferior de la pila. La eficiencia en el sistema de recuperación dependerá en gran medida del caudal y de la temperatura del fluido (Smith et al., 2017, pp. 11-22).

2.2.15.8. Aislantes térmicos

Los aislantes térmicos se caracterizan por tener la capacidad de impedir el paso de energía calórica por conducción, esto depende de la resistencia térmica que poseen ciertos materiales. Existen diferentes aislantes térmicos, pero se pueden clasificar de forma general en aislantes naturales como: lana de roca, fibra de vidrio, celulosa, cáñamo, entre otros. Y de origen sintético como el poliestireno expandido (Aza, 2014, p. 17).

- **Lana de Vidrio**

La lana de vidrio se fabrica a través de varias sustancias como arena, vidrio reciclado, caliza y bórax, es un excelente aislante térmico ya que impide que la temperatura del exterior o del ambiente ingrese en el interior del material aislado, sea por convección, conducción o radiación (Karabulut, 2020, p. 38-40). Para preparar la lana de vidrio es necesario someter a las materias primas a un proceso de molienda, dosificación y mezclado que posteriormente será sometido a un tratamiento térmico para incorporar resina a las fibras, posteriormente se realiza un secado en horno para polimerizar la retina y finalmente un enfriamiento con aire. La lana de vidrio se comercializa en forma de rollos que permite un mejor empaquetamiento y fácil distribución (Muñoz, 2011, p. 7-8).

Entre las ventajas más importantes se encuentra su baja conductividad térmica (0.023-0.040 W/mK), lo que permite una mejor resistencia térmica, es hidro-repelente ideal para ser usado en cañerías o lugares que estén expuestos a niveles elevados de humedad, es liviano y de fácil instalación (Peña et al., 2020, pp. 1-10).

- **Poliestireno Expandido**

Es un material espumoso y rígido que tiene gran manejabilidad, muy ligero y resistente, se caracteriza porque está constituido por un termoplástico celular que es de baja densidad. El poliestireno expandido tiene una excelente capacidad de aislamiento ya que el 98% de su volumen es aire quieto y el resto materia sólida, su fabricación consta de una mezcla de vapor de polímeros del poliestireno con diferentes productos químicos hasta que su volumen aumente (Gomes, 2021, pp. 13-18).

Ventajas:

- Material inerte
- Logra mantener su capacidad de aislamiento en todo momento
- No es absorbente

- Su conductividad térmica permanece constante

2.2.15.9. *Tanque de almacenamiento de agua de polietileno*

Los tanques de almacenamiento están fabricados bajo estrictas normas de calidad especialmente para el consumo humano, elaborados con polietileno (resina virgen) que los hacen altamente higiénicos, ideales para almacenar todo tipo de líquidos no corrosivos y con paredes azules y lisas que no permiten el paso de los rayos UV para evitar la proliferación de hongos y evitan el crecimiento de bacterias. Son de bajo costo comparados con tanques fabricados con otros materiales, y contienen una vida útil de 50 años (Silva & Pilco 2015, pp. 114-118). Los tanques de polietileno son presentados en distintos volúmenes de almacenamientos haciéndolos de fácil acceso para el uso doméstico o industrial (Silva & Pilco 2015, pp. 114-118). El tanque de almacenamiento de polietileno se muestra en la Ilustración 5-2.



Ilustración 5-2: Tanque de almacenamiento de agua de polietileno

Fuente: Silva & Pilco 2015, pp. 114-118.

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ingeniería del proyecto

Luego de haber realizado la revisión bibliográfica dentro del capítulo anterior, se procede a presentar la metodología a seguir para el cumplimiento de los objetivos planteados.

En el presente trabajo de integración curricular se presenta como propuesta técnica el diseño de un sistema para recuperación de energía calórica mediante el proceso de compostaje, tomando en cuenta todas las materias primas y los parámetros requeridos para que la descomposición de forma óptima y posteriormente se escalará a nivel industrial con su respectivo dimensionamiento.

3.2. Tipo de proyecto

El presente proyecto aprovecha la energía calórica en el proceso de compostaje generada por la descomposición de materia orgánica, usando residuos orgánicos de flores, estiércol de codorniz y aserrín. En base a investigaciones y experimentos, se definieron variables y ecuaciones empleadas en el aprovechamiento de la energía calórica generada en el compostaje.

3.2.1. *Estudio experimental*

La cantidad de energía calórica estará condicionada por la cantidad de materia orgánica y el sistema de recuperación de energía aplicado, los cuales deberán permitir que se lleve a cabo el proceso de compostaje y una recuperación de energía adecuada. Uno de los procesos que se requiere realizar a los residuos es la trituración a menor tamaño, para su posterior homogenización y mezcla con los demás elementos en las pilas de compostaje y obtener resultados satisfactorios. En el presente trabajo de integración curricular presenta una propuesta técnica de diseño de un sistema para recuperación de energía calórica en el compostaje, tomando en cuenta todas las materias primas, variables y parámetros de control requeridos para una óptima descomposición y posteriormente se escalará a nivel industrial con su respectivo dimensionamiento.

3.3. Técnicas de análisis

Para la caracterización de la materia orgánica (residuo de flores, aserrín y estiércol de codorniz) se emplearon metodologías y normas específicas usadas, en estudios realizados con anterioridad.

Las técnicas fisicoquímicas realizadas en las muestras de la materia orgánica fueron realizadas en el laboratorio de investigación del grupo GAIBAQ perteneciente a la ESPOCH, por otra parte, los análisis externos fueron enviados a los laboratorios correspondientes de la UNACH. Todas las técnicas permiten obtener datos necesarios para el proceso de compostaje y la cantidad de residuos que se usarán.

3.3.1. Técnicas para la caracterización de las muestras

Las técnicas usadas para la caracterización de las muestras recolectadas en la pila de compostaje se detallan a continuación:

Tabla 1-3: Preparación de muestras

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
Las muestras se preparan mediante el proceso de trituración para dejarlas listas para los análisis posteriores.	<ul style="list-style-type: none"> Vasos de precipitación Dsecador de vidrio 	<ul style="list-style-type: none"> Las muestras frescas se secan a temperaturas entre 60 y 70° C hasta llegar a peso constante con el objetivo de eliminar la humedad. Se disminuye el tamaño de las muestras triturando y moliendo las mismas, garantizando que el diámetro de partícula sea de entre 1 – 3 cm. Se colocan las muestras en vasos de precipitación, se las codifica y etiqueta, para secarlas en estufa a la temperatura de 105°C durante 24 horas, con la finalidad de eliminar toda la humedad presente, pues los resultados deben ser reportados sobre muestra seca. Transcurrido el tiempo, las muestras se colocan en el desecador hasta que alcancen la temperatura ambiente (tiempo aproximado de media hora). Una vez que las muestras se encuentran a temperatura ambiente, se colocan en envases de plástico estériles y herméticos correctamente etiquetados, las muestras en los nuevos recipientes se vuelven a colocar en el desecador.
	EQUIPOS	
	<ul style="list-style-type: none"> Trituradora y/o Molino Estufa 	

Fuente: Técnicas de Laboratorio GAIBAQ

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

Tabla 2-3: Determinación de pH

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
El pH se determina en extracto acuoso de 1:10 de las muestras preparadas previamente	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos para centrifuga de 50 ml • Vasos de precipitación • Espátula y/o cucharilla • Piseta Gradilla para tubos de centrifuga 	<ul style="list-style-type: none"> • Triturar la muestra en un mortero y tamizarla en un tamiz de 2mm de diámetro. • Pesar 4 g de la muestra con precisión de 0,0001g y colocarla en un tubo para centrifuga. • Adicionar 40 ml de agua destilada. • Agitar en el agitador durante 2 horas. • Retirar del agitador y dejar sedimentar. • Medir el pH directamente en el líquido sobrenadante.
REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> • Tamiz • Mortero y pistilo 	
<ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada 	EQUIPOS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Agitador (shaker) mecánico • pH-metro • Centrifuga 	

Fuente: Técnicas de Laboratorio GAIBAQ

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

Tabla 3-3: Determinación de Conductividad Eléctrica

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
La conductividad eléctrica se determina en extracto acuoso 1:10 de las muestras preparadas previamente.	<ul style="list-style-type: none"> • Tubos para centrifuga de 50 ml • Vasos de precipitación • Espátula y/o cucharilla • Piseta • Gradilla para tubos de centrifuga • Tamiz • Mortero y Pistilo 	<ul style="list-style-type: none"> • Triturar la muestra en un mortero y tamizarla en un tamiz de 2mm de diámetro. • Pesar 4 g de la muestra con precisión de 0,0001g y colocarla en un tubo para centrifuga. • Adicionar 40 ml de agua destilada. • Agitar en el agitador mecánico durante 2 horas. • Retirar del agitador y centrifugar por 4 minutos a 1000 rpm. • Filtrar en papel filtro normal en un tubo para centrifuga. • Medir la conductividad eléctrica directamente en el tubo para centrifuga. • Enjuagar siempre el bulbo medidor de conductividad y la sonda de temperatura con agua destilada entre medición y medición y secar suavemente con un paño de microfibra.
REACTIVOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Agua Destilada 	EQUIPOS	

	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Agitador (shaker) mecánico • Conductímetro • Centrifuga 	<ul style="list-style-type: none"> • Anotar los datos y fijarnos en las unidades obtenidas (mS o $\mu\text{S/cm}$)
--	--	--

Fuente: Técnicas de Laboratorio GAIBAQ

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

Tabla 4-3: Determinación de Humedad

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
La conductividad eléctrica se determina en extracto acuoso 1:10 de las muestras preparadas previamente.	<ul style="list-style-type: none"> • Crisoles o capsulas de porcelana • Espátula y/o cucharilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Tarar el crisol (105 grados Celsius durante 2 h con el objetivo de eliminar toda la humedad) • Pasar al desecador por 30 minutos o hasta que alcance la temperatura ambiente, Codificar las cápsulas en la base con lápiz. • Tomar nota del peso de la cápsula vacía • Añadir 5 g de muestra y anotar su peso, con todos los decimales • Colocar en la estufa durante 24 horas a 105 grados Celsius • Transcurridas las 24 horas colocar en el desecador por 30 minutos o hasta que alcance temperatura ambiente
	EQUIPOS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Estufa • Desecador 	
CÁLCULO		
$\%H = \frac{(\text{peso cáp.} + \text{muestra fresca}) - (\text{peso cáp.} + \text{muestra secos a } 105^\circ\text{C})}{(\text{peso cáp.} + \text{muestra fresca}) + (\text{peso cáp. vacía})} * 100$		

Fuente: Técnicas de Laboratorio GAIBAQ

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

Tabla 5-3: Determinación de Materia Orgánica

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
<p>La materia orgánica es la materia conformada por compuestos químicos que contienen átomos de carbono.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Crisoles de porcelana 15 – 25 cm • Espátula y/o cucharilla 	<ul style="list-style-type: none"> • Codificar o verificar la codificación en la base de los crisoles, de preferencia se lo debe hacer con lápiz, antes de seguir con el procedimiento. • Tarar el crisol (105 grados Celsius durante al menos 2 h con el objetivo de eliminar toda la humedad) • Pasar al desecador por 30 minutos o hasta que alcance la temperatura ambiente y pesar, con esto aseguramos que el crisol tenga su peso estable y constante. Tomar nota del peso del crisol vacío. Nota: Usar balanza analítica • Añadir 3 g de muestra y anotar su peso, con todos los decimales. • Una vez que se ha colocado en la muestra en el crisol, colocar en la estufa a 105° C, durante al menos 2 horas, transcurrido ese tiempo, sacar colocar en desecador y pesar (crisol + muestra) y anotar el peso con todos los decimales. Nota: Usar balanza analítica • Una vez tomado este peso colocar el (crisol + muestra) en la mufla durante 24 horas a 430 grados Celsius (la mufla se programa por rampas de temperatura, de manera que la temperatura suba y baje de manera gradual) • Transcurridas las 24 horas sacar de la mufla y colocar en el desecador por 30 minutos. • Pesar el crisol con la muestra calcinada.
	EQUIPOS	
	<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Estufa • Mufla • Desecador 	
CÁLCULO		
$\%MO = \frac{(\text{peso cris. + muestra seca}) - (\text{peso cris. + muestra calcinada})}{(\text{peso cris. + muestra seca}) - (\text{peso cris. vacío})} * 100$		

Fuente: Técnicas de Laboratorio GAIBAQ

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

Tabla 6-3: Determinación de Carbono Orgánico Oxidable Walkley & Black

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
<p>La determinación de carbono orgánico se hizo por el método Walkley-Black, en el cual el suelo se oxida con una solución de dicromato de potasio estandarizada, utilizando el calor producido por la dilución de ácido sulfúrico concentrado, en la solución crómica.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Pipetas automáticas o vidrio volumétricas que puedan tomar volúmenes de 5 y 10 ml 	<ul style="list-style-type: none"> Pesar 0,100 a 1,000 g de muestra seca al aire y tamizada por malla de abertura 0,5 mm en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Dependiendo del color del suelo, mientras más oscuro sea, se pesa menor cantidad y viceversa.
	EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> Con la ayuda de una pipeta y dentro de una campana extractora, adicionar 5 ml de la solución de $H_2Cr_2O_7$ 1N.
	<ul style="list-style-type: none"> Microbalanza analítica 	<ul style="list-style-type: none"> Adicionar lentamente con una pipeta volumétrica 10 ml de H_2SO_4 concentrado girando el matraz con cuidado de manera que la mezcla quede en contacto con todo el suelo y evitando que se adhiera a las paredes.
	REACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> Dejar reposar la mezcla por 30 minutos sobre una lámina de asbesto o madera evitando superficies de acero, cerámica o metal.
	<p>Preparación de Reactivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Solución 1 N de Dicromato de Potasio: Disolver en agua destilada 49,04 g de $K_2Cr_2O_7$ y aforar en un matraz volumétrico a 1000 Ácido Sulfúrico concentrado (H_2SO_4) con una densidad de 1,84 g/ml. Adicionar 2.5 g de sulfato de plata por cada 100 ml de ácido sulfúrico concentrado. Ácido fosfórico (H_3PO_4) del 85%. Solución 0,5 N de Sulfato Ferroso Amónico: 196,1 g de Fe ($(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) se disuelve en 800 ml de agua y 20 ml de H_2SO_4 concentrado, aforar a 1000 ml. 11 Indicador Difenilamina: Disolver 0,5 g de $(C_6H_5)_2HN$ en 20 ml de agua y añadir 100 ml de H_2SO_4 concentrado. 	<ul style="list-style-type: none"> Añadir 50 ml de agua destilada y desionizada. Añadir 5 ml de ácido fosfórico al 85%, 1 ml de NaF al 2,5% en peso y 3 gotas de indicador Difenilamina. Se realiza la titulación gota a gota desde una bureta con la solución de Sulfato Ferroso Amónico 0,5 N agitando constantemente. Para obtener una mejor homogenización se utiliza un agitador magnético. Al inicio de la valoración se tiene una mezcla de color pardo oscuro que variará por distintas tonalidades de azul durante la valoración hasta el punto final cambiando a color verde esmeralda. Anotar el volumen de sulfato ferroso amónico utilizado en la valoración y proceder a realizar los cálculos. Se debe realizar un blanco siguiendo el proceso antes descrito, pero sin muestra.

Fuente: Técnicas de Laboratorio GAIBAQ

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

Tabla 7-3: Determinación del Índice de Germinación

FUNDAMENTO	MATERIALES	PROCEDIMIENTO
<p>Este índice expresa tanto el porcentaje de semillas germinadas como el porcentaje de crecimiento que alcanza la radícula durante el bioensayo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pipeta • Micropipeta • Cajas Petri • Tubos para centrífuga de 50 ml • Vaso de precipitación • Embudo Buchner • Papel filtro • Filtros de nitrocelulosa 0,45 µm • Papel Aluminio 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesar la muestra previamente homogénea, seca y tamizada, 2 g • Se prepara una dilución de las muestras solidas en proporción 1:15, para esto • Se humedece la muestra con agua desionizada hasta alcanzar aproximadamente el 60% de humedad (1,5 ml por 1 g de muestra) y se deja en reposo durante 30 minutos. • Se añaden 13,5 ml de agua desionizada por gramo de muestra seca para diluir este extracto hasta el 10%, • Se agitan las muestras en el agitador orbital durante 30 minutos. • Se centrifuga a 4000 rpm durante 10 minutos. • Se filtra la solución con la ayuda de filtros de membrana de 0,45 µm (el filtro contiene nitrocelulosa) en embudos Buchner mediante vacío para esterilizar el extracto. Si la Filtración no es rápida se puede filtrar previamente con papel filtro normal • En cajas Petri de 10 cm de diámetro, cubiertas con papel de filtro, se ponen 8 semillas de berro y se añaden 2 ml del extracto acuoso mojando el papel en su totalidad, realizándose un total de 10 repeticiones por cada muestra (correctamente codificada). • Es necesario también colocar un blanco en la incubadora (10 cajas Petri con agua destilada)
REACTIVOS		
<ul style="list-style-type: none"> • Etanol (CH₃CH₂OH, al 50%). • Agua destilada-desmineralizada 	EQUIPOS	

	<ul style="list-style-type: none"> • Incubadora • Centrifuga • Balanza • Agitador 	<ul style="list-style-type: none"> • Las semillas se incuban a 27.5 °C distribuyendo las placas de forma aleatoria dentro de la estufa durante 48 horas en oscuridad, para esto las cajas se envuelven en papel de aluminio. • Transcurrido este tiempo, se añade 1 ml de una mezcla de etanol y agua 1:1 (v/v) para detener el crecimiento de las plantas (nota: si se considera necesario, este paso se puede obviar) y se dejan durante 10 min en el refrigerador. • Se retiran las semillas y se colocan en una hoja de papel para cuantificar el número de • semillas germinadas y la longitud alcanzada por las raíces por caja, con la ayuda de un calibrador. • Los resultados se expresan como índice de germinación, el cual se obtiene al multiplicar el porcentaje de germinación (G) y el porcentaje de crecimiento de las raíces (L), ambos respecto al control hecho con agua destilada, y dividir para cien.
--	---	---

Fuente: Técnicas de Laboratorio GAIBAQ

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

3.4. Elaboración de la pila de compostaje

3.4.1. Cantidad de materia orgánica en la pila de compostaje

La pila de compostaje consta de 70% de residuos de flores, 15% de aserrín y 15% de estiércol de codorniz. La constitución de la pila fue hecha por capas de forma aleatoria de los diferentes residuos. La forma de humedecer cada capa fue por aspersion de agua con la ayuda de regaderas. La altura final de la pila es de 1.5 metros de altura y un radio de 3 metros. El proceso de la elaboración de la pila de compostaje se muestra en la Ilustración 6-3. Luego de conocer los porcentajes de los componentes para la elaboración de la pila de compostaje se calcula la cantidad en kilogramos reflejado en la Tabla 1-4 para la elaboración de la pila, dando como resultado una tonelada de materia orgánica total.



Ilustración 1-3: Elaboración de pila de compostaje

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

3.4.2. *Recolección de materia orgánica*

3.4.2.1. *Recolección de Residuo de flores*

La recolección de residuos de flores es una selección de residuos óptimos para la creación de la pila de compostaje. Estos residuos han sido generados a partir de diferentes cortes que existen en el negocio de floristería, para la correcta recolección es necesario usar implementos de protección (guantes, mascarilla, mandil) ya que las flores están constituidas por espinas y al ser desechos existen elementos contaminantes que pueden perjudicar la salud de quien las recoja. Estos residuos deben ser retirados de las muestras orgánicas obligatoriamente casi en su totalidad y ser triturados como se indica en apartado de tamaño de partícula para la correcta elaboración de la pila de compostaje. Los residuos recolectados se muestran en la Ilustración 2-3.



Ilustración 2-3: Residuo de Flores

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

3.4.2.2. *Adquisición de aserrín*

El aserrín se adquiere en diferentes carpinterías, la composición de ésta debe ser del mismo lugar para precautelar que no exista tanta diferencia entre el total adquirido. El aserrín utilizado para la elaboración de la pila de compostaje se muestra en la Ilustración 3-3.



Ilustración 3-3: Aserrín

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

3.4.2.3. *Adquisición de estiércol de codorniz*

El estiércol de codorniz se adquiere en diferentes avícolas, que tengan la garantía de no estar contaminado con otro tipo de residuos. El estiércol utilizado para la elaboración de la pila de compostaje se muestra en la Ilustración 4-3.



Ilustración 4-3: Estiércol de Codorniz

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

3.4.3. Pila de compostaje

La pila de compostaje es elaborada mediante capas de las diferentes materias orgánicas que la constituyen, las capas son de aproximadamente 10 cm cada una. Intercalando los residuos orgánicos recogidos para un mayor equilibrio en la pila. En cada capa se realiza riego por aspersión para humedecer el material orgánico.

3.4.4. Materiales y equipos utilizados en la elaboración de la pila de compostaje

Las variaciones durante el proceso de compostaje siguen patrones imprescindibles y están presentes en la mayoría de los experimentos, independientemente del tipo de sustrato que se vaya a usar.

3.4.4.1. Trituradora industrial

La trituradora de ramas y hojas está compuesta por una tolva donde se van introduciendo los residuos que se vayan a triturar. El elemento cortante es un disco dentado. La alimentación está compuesta por un motor de 12 HP a gasolina, con la transmisión de bandas que logran mover al disco cortante. Su funcionamiento consiste en triturar ramas y hojas a través de la tolva de alimentación, mediante el disco dentado y finalmente los residuos salen por la banda transportadora donde se recolecta los residuos triturados. La trituradora industrial se muestra en la Ilustración 5-3.



Ilustración 5-3: Trituradora Industrial

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

3.4.4.2. Termocuplas

La toma de temperatura se realiza mediante termocuplas que están conectadas a un sistema automatizado para la medición de temperatura de forma digital, éstas son introducidas directamente en la pila de compostaje, con una profundidad que sobrepase levemente el borde de la termocupla y pueda llegar a medir la temperatura interna. La medición se realiza con la ayuda de varias termocuplas que son ubicadas en distintos puntos de la pila de compostaje para una medición general de la temperatura. La medición se realiza diariamente para conocer el estado del proceso de compostaje y saber si la pila de compostaje necesita ser volteada.

3.5. Proceso de compostaje

3.5.1. Toma de muestras

Al finalizar el proceso de volteo es necesario recolectar muestras para luego ser analizadas y conocer el estado general del proceso de descomposición y conocer que factores necesitan ser controlados. El volteo es la mezcla de las capas que componen la pila de compostaje, con esto se logra que incremente el espacio entre todos los componentes y haya mayor oxigenación.

3.5.2. Medición de temperatura

La temperatura obtenida de la pila de compostaje se realiza en tres puntos diferentes, el proceso se lleva a cabo insertando las termocuplas de manera profunda hasta que el sensor haya ingresado completamente. Es importante insertar un sensor en el centro de la pila de compostaje porque en ese punto existe mayor temperatura.

El proceso conlleva cerca de quince minutos porque los sensores deben permanecer hasta equilibrarse en la medición de temperatura y tomar los valores para llevarlos en tablas de datos para su posterior análisis de evolución.

3.6. Diseño

El diseño general se basa en la instalación de un tubo de cobre que pasa a través de la pila de compostaje donde mediante conducción adquiere energía calórica, de esta forma calienta el agua hasta un promedio de 22°C. El agua llega a un tanque aislado de almacenamiento para finalmente dar uso al agua caliente con diferentes fines. El diseño general del sistema de recuperación de calor se muestra en la Ilustración 6-3.

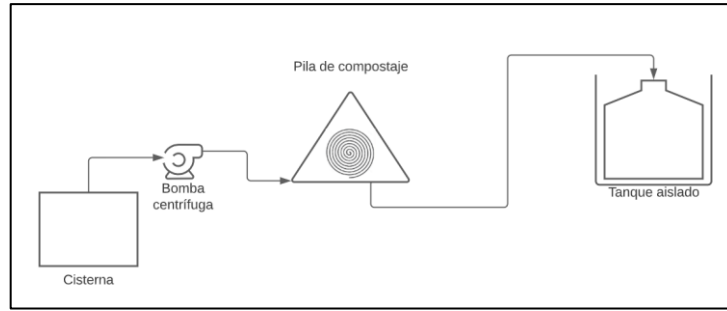


Ilustración 6-3: Diseño del sistema de recuperación de calor.

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

3.7. Balances de energía y masa

3.7.1. Balance de materia orgánica

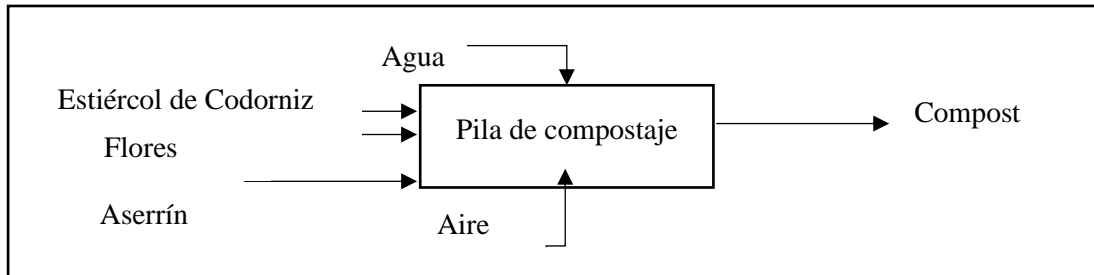


Ilustración 7-3: Diagrama para el balance de materia

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

$$\dot{m}_{Entrada} = \dot{m}_{Salida}$$

$$\text{Estiercol de Codorniz} + \text{Flores} + \text{Aserrin} = 1000 \text{ kg}$$

$$150 \text{ kg} + 700 \text{ kg} + 150 \text{ kg} = 1000 \text{ kg}$$

$$\text{Pila de compostaje} - \text{descomposición} = \text{Compost}$$

$$1000 \text{ kg} - 257,143 \text{ kg} = 742,857 \text{ kg}$$

3.7.2. Balance de energía en el tubo de cobre

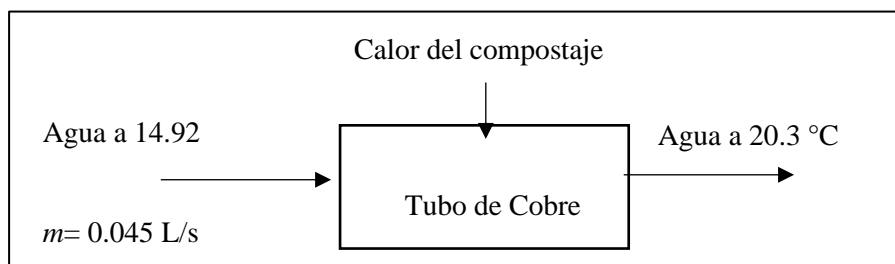


Ilustración 8-3: Diagrama para balance de energía

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

$$\Delta E_{Sistema} = Q_{Entrada} - Q_{Salida}$$

$$Q = m \cdot Cp \cdot dT$$

$$Q = 0,045 \frac{L}{s} \cdot 4,2 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} \cdot (20,30 - 14,92)^{\circ}C$$

$$Q = 1,017 \frac{KJ}{s \cdot Ton}$$

$$Q = 0,024 \frac{kWh}{kg}$$

3.8. Accesorios

Para el diseño general del sistema de recuperación de calor se necesita una tubería de cobre de 14 metros de longitud el cual pasará a través de la pila de compostaje y tendrá forma de serpentín en la parte central para un mayor aprovechamiento de energía calórica.

3.8.1. Tubería de cobre

Un factor importante en el uso de tubos de cobre es que este metal es un buen conductor del calor. Este tipo de tubería favorece a mantener la temperatura del agua en su interior y ofrecer una gran protección contra contaminantes externos que existen en el suministro de agua potable. El diámetro usado en el diseño es de 12,5 mm el cual se refleja en la Ilustración 9-3.



Ilustración 9-3: Tubería de Cobre

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022.

3.8.2. Bomba centrífuga

La bomba centrífuga es la que impulsa el agua que permite la llegada hasta la tubería de cobre. La bomba está ubicada cerca de la cisterna y cuenta con características y especificaciones que la hacen óptima para trabajar con la cantidad de fluido almacenado para la alimentación de todo el sistema.

3.8.3. Tanque aislado

Un tanque aislado es utilizado cuando se necesita que el fluido contenido permanezca en ciertas condiciones específicas, el tanque usado en el diseño es de poliestireno y el aislante es de lana de vidrio, lo que permite que las condiciones en las que entra el fluido permanezcan sin pérdidas de calor hasta su posterior uso. Los tanques están cubiertos en su totalidad por el tipo de aislante escogido de manera tal que cubra toda su área y con las entradas y salidas diseñadas.

3.8.4. Cisterna

Una cisterna es un depósito capaz de almacenar fluidos como agua de lluvias, de ríos o agua potable dependiendo del sector en el que se encuentre, existen de diferentes tamaños según la necesidad del lugar en el que se va a utilizar.

3.9. Análisis de los costos y los beneficios del proyecto

El análisis de los costos es esencial para que el proyecto sea viable analizando los costos fijos y variables y a la vez realizar un análisis de todo el proceso para llevar a cabo el escalamiento industrial del sistema de recuperación de calor a través del proceso de compostaje.

3.9.1. Inversión fija

La inversión fija es la cantidad que se necesita para que el proceso industrial se lleve a cabo, incluido maquinaria, instalación y todo lo necesario para que el proyecto funcione correctamente (Diéguez-Santana, 2021, pp. 11-17).

Tabla 8-3: Costos de materiales y equipos.

Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Costo
Tubería de PVC 1/2	100 m	\$ 1.5	\$ 133,33
Tubería de cobre 1/2	70 m	\$ 4.82	\$ 338,8
Tanque de almacenamiento	4	\$ 2750	\$ 11,000
Codos 90° PVC	7	\$ 0.16	\$ 4,20
Codos 90° Cobre	16	\$ 0.60	\$ 9,60
Codos T PVC	9	\$ 0.16	\$4,50
Codos T Cobre	4	\$ 2.2	\$ 8,80
Válvula PVC	2	\$ 0.80	\$ 1,90
Válvula de compuerta Cobre	10	\$ 9.84	\$ 98,40
Bomba de agua 2 HP	2	\$ 403,58	\$ 807,17
Aislante	100 m	\$ 5,66	\$ 566,66
Subtotal			\$ 13.934,96

Fuente: Iñiguez, 2022, p. 1

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Tabla 9-3: Costos de equipos de monitoreo.

Equipos de monitoreo		
Termómetro para compost	1	\$ 20
Termómetro para tanque de almacenamiento	4	\$ 160
Caudalímetro chorro simple	10	\$ 200
Manómetro	2	\$ 140
Medidor de nivel de tanque de agua ultrasónico	4	\$440
Subtotal		\$ 960

Fuente: Acero, 2022, p. 3

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Tabla 10-3: Costos de transporte.

Transporte			
	Material	Cantidad	Costo
Alquiler Camiones	Estiércol de codorniz	1	\$ 30
	Aserrín	1	\$ 30
	Flores	1	\$ 30
	Subtotal		\$ 90

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Tabla 11-3: Costos de maquinaria.

Maquinaria			
	Material	Cantidad	Costo
Trituradora Industrial de desechos orgánicos Trapp Tr 500g	Flores	1	\$ 5.000
Subtotal			\$ 5.000

Fuente: Mosquera, 2018, p. 1

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Tabla 12-3: Costos de materia prima.

Materia prima			
	Material	Cantidad kg	Costo
Desechos orgánicos	Estiércol de codorniz	1500	\$ 90
	Aserrín	1500	\$ 90
	Flores	7000	\$ 0
	Subtotal		

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Tabla 13-3: Subtotal de Costos Fijos

Inversión Fija	Costos (\$)
Costos de materiales y equipos	13934,96
Costos de equipos de monitoreo	520
Costos de mano de obra	180
Costos de transporte	90
Costos de maquinaria	5000
Costos de materia prima	180
Subtotal	20344,96

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

3.9.2. Costos variables a analizar

3.9.2.1. Determinación de egresos

El egreso más importante por considerar dentro del proyecto es el costo del compost que se obtiene luego de un largo proceso de descomposición de la materia orgánica que interviene en las pilas de compostaje (Ordoñez, 2020, pp. 60-63).

Tabla 14-3: Determinación de egresos.

	Sustratos	Cantidad (kg)	Costo \$
Pila de Compostaje	Estiércol de codorniz	150	9
	Aserrín	150	9
	Flores	700	30
Costo/pila de compostaje			48
Subtotal			\$480

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Tabla 15-3: Costos de Servicios Básicos

Servicios	Costo mensual (\$)
Agua potable	40
Energía eléctrica	90,00
Subtotal (\$)	130,00
Costo anual (\$)	1560,00

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Tabla 16-3: Costos de mano de obra

Mano de obra			
Recolección de residuos	Material	Cantidad	Costo
	Estiércol de codorniz	1	\$ 240
	Aserrín	1	\$ 240
	Flores	1	\$ 240
Volteos de pilas	Pila de Compostaje	24	\$ 480
Riego de pilas	Pila de Compostaje	24	\$ 240
Trituración de flores	Pila de Compostaje	10	\$200
Subtotal			\$ 1640

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Tabla 17-3: Egresos anuales de producción

Descripción de egresos	Valor total (\$)
Costos de Pila de Compostaje	480
Servicios	1560
Mano de obra	1640
Subtotal	6680

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

3.9.3. Costos totales de inversión fija y egresos

Para el análisis de inversión fija y egresos anuales se debe considerar el 5% del monto generado debido a que se puede presentar un desfavorable antes, durante y después del proceso de producción (Diéguez-Santana, 2021, pp. 11-17).

Tabla 18-3: Costo de la inversión fija y egresos

Descripción	Valor (\$)
Inversión fija	20344,96
Improvistos del 5%	21362,208
Egresos anuales	6680,00
Improvistos del 5%	7014,00

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

3.9.3.1. Determinación de ingresos anuales

Los ingresos representan aquellas ganancias o una multiplicación considerable de activos a lo largo de un periodo determinado de tiempo, en este caso se considera los activos durante un año entregando compost de calidad a \$50. (Diéguez-Santana, 2021, pp. 11-17).

3.9.3.2. Ecuación de costo de producción por unidad en dólares

$$C_p = \frac{\text{Inversión}_{fija} + \text{Egresos}_{anuales}}{\text{N}^\circ \text{ de unidades producidas} * \text{días de producción} * \text{meses totales}}$$

$$C_p = \frac{20344,96 + 6880,00}{200 * 1 * 1}$$

$$C_p = 27,62$$

Ecuación 4-3: Ecuación de Costo de Producción por Unidad en dólares

3.9.3.3. Ecuación de precio de venta unitario al público

$$PVP = CP \left(\frac{100}{100 - U} \right)$$

Ecuación 5-3: Ecuación de Precio de Venta Unitario al Público

Dónde:

PVP = precio de venta unitario al público en \$

C_p = costo de producción por unidad en \$

U = utilidad o ganancia deseada, 20 %

$$PVP = 27,62 \left(\frac{100}{100 - 20} \right)$$

$$PVP = 34,53$$

3.9.3.4. Ingresos anuales

Tabla 19-3: Costo del compost

Compost Final		
Compost	Sustratos	Composición %
	Estiércol de codorniz	15
	Aserrín	15
	Flores	70
Costo/quintal	34.53\$	
Unidades Producidas	20/pila	
Costo anual	6906\$	

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

3.9.4. Cálculo del valor actual neto, tasa de retorno interno y periodo de recuperación

Para conocer la viabilidad del proyecto se necesita de tres indicadores importantes, VAN compara los egresos con los ingresos, TIR indica que tan rentable es el proyecto y PDR indica en cuanto tiempo se podrá recuperar la inversión inicial (Ordoñez, 2020, pp. 60-63).

3.9.4.1. Valor Actual Neto (VAN)

$$VAN = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t}$$

Ecuación 6-3: Ecuación del VAN

Dónde:

$VAN = \text{valor actual neto}$

$Inv = \text{inversión inicial } (t = 0)$

$n = \text{número de periodos de tiempo}$

$t = \text{periodo de tiempo}$

$Ft = \text{flujo de dinero en cada periodo } t$

$i = \text{tasa de descuento}$

Para interpretar el VAN, se debe considerar 3 parámetros importantes:

$VAN < 0$: proyecto no viable, puesto que la inversión obtendrá pérdida.

$VAN = 0$: inversión insignificante, ya que no generará beneficio ni pérdida.

$VAN > 0$: proyecto viable, puesto que la inversión obtendrá ganancias o beneficios.

Tabla 20-3: Valor Actual Neto

Periodo inicial	Inversión inicial (\$)			
0	Inv = 21362,208			
Periodo (años) t	Ingresos (\$)	Egresos (\$)	Flujo de caja (\$ Fj)	$\frac{Ft}{(1+i)^t}$
2	6.906	6.680,00	6.386,00	\$5.601,75
4	6.906	6.680,00	6.386,00	\$4.913,82
6	6.906	6.680,00	6.386,00	\$4.310,37
8	6.906	6.680,00	6.386,00	\$3.781,02
10	6.906	6.680,00	6.386,00	\$3.316,69
Tasa de descuento	i = 14 %	$VAN = -Inv + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t}$		1576,04

Realizado por: Mena, S.; Román, A., 2022

3.9.4.2. Tasa de Retorno Interno (TIR)

Es necesario conocer el resultado del análisis de VAR que junto al cálculo realizado en Excel para mayor facilidad y precisión determinará el porcentaje exacto de la tasa de retorno. Así se conocerá fácilmente si el proyecto es beneficioso y se podrá reponer la inversión inicial (Diéguez-Santana, 2021, pp. 11-17).

$TIR > i$ = el proyecto de inversión es aceptado

$TIR = i$ = el proyecto es indiferente

$TIR < i$ = el proyecto de inversión es rechazado

Usando Excel y la fórmula de "TIR (valores, estimar) se obtuvo el siguiente porcentaje: "

$$TIR = 15 \%$$

Con una tasa de rentabilidad del 15% superior a la tasa de descuento del 14% el proyecto es aceptado, es decir, los ingresos del proyecto supera los egresos, por tanto, este proyecto presenta ganancias que pueden soportar una inflación de hasta el 15% o pagar prestamos con un valor agregado de interés y que no se produzcan pérdidas ni ganancias (Diéguez-Santana, 2021, pp. 11-17)..

3.9.4.3. Periodo de recuperación

$$PDR = \text{último periodo acumulado negativo} + \left(\frac{\text{último flujo acumulado negativo}}{\text{flujo de caja del año siguiente}} \right)$$

Ecuación 7-3: Ecuación del Período de recuperación

Tabla 21-3: Periodo de recuperación de la inversión

Periodo (años)	Flujo de cajas (\$)	$\frac{Ft}{(1+k)^t}$	Flujo acumulado (\$)
0	\$-21.362,20		\$-21.362,20
2	\$6.386,00	\$5.601,75	\$-15.760,45
4	\$6.386,00	\$4.913,82	\$-10.846,63
6	\$6.386,00	\$4.310,37	\$6.536,26
8	\$6.386,00	\$3.781,02	\$2.755,23
10	\$6.386,00	\$3.316,69	\$561,46

Realizado por: Mena, S.; Román, A., 2022

$$PDR = 1 + \left(\frac{|-15760,45|}{6386,00} \right)$$

$$PDR = 4,2\$$$

$$PDR = 9.94 \text{ años}$$

Tabla 22-3: Resultado de PVP

Unidades anuales producidas	Costos de producción anual (\$)	Costos de producción por unidad (\$)	PVP (\$)	Ingresos anuales (\$)
200 quintales	6680	27,62	34,53	6906

Realizado por: Mena, S.; Román, A., 2022

3.10. Ecuaciones de diseño

3.10.1. Cálculo del calor transferido

$$Q = m * C_p * dt$$

Ecuación 8-3: Cálculo del calor de transferido

Donde:

m = Flujo másico L/s

C_p = Capacidad calórica J/g°C

dt = Diferencia de temperatura

3.10.2. Cálculo de la longitud equivalente en accesorios

Permite saber la pérdida de presión que se da a través de accesorios tomándolo imaginariamente como una tubería que tenga características de longitud similares a la tubería en las que se está utilizando.

$$Leq = L + Leq * acc$$

Ecuación 9-3: Longitud equivalente en accesorios

Donde:

L = Longitud (m)

Leq = Longitud Equivalente

acc = accesorios

3.10.3. Calculo para el factor de fricción

Se utiliza para el cálculo de las pérdidas de carga que se dan por algún tipo de rozamiento, depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa (Definición de factor de fricción).

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 * \frac{\phi}{\epsilon}} \right) + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right]^2}$$

Ecuación 10-3: Factor de fricción

Donde:

f = Coeficiente de fricción

Re = Número de Reynolds

ϕ = Diámetro interno de la tubería

ε = Rugosidad

3.10.4. Cálculo del número de Reynolds

Es un número adimensional que permite la caracterización de cualquier fluido al pasar por una tubería, dependiendo de la velocidad de esta se puede definir como flujo laminar o flujo turbulento. (Jaramillo & Cardenas, 2015, pp. 16-17)

$$N_{RE} = \frac{D * V_2 * \rho}{\mu}$$

Ecuación 11-3: Número de Reynolds

Donde:

D = Diámetro interior de la tubería

V_2 = Velocidad del agua del rociador

ρ = Densidad del agua

μ = Viscosidad

3.10.5. Cálculo del área de la tubería

$$A = \pi * r^2$$

Ecuación 12-3: Área de la tubería

Donde:

r = radio interior de la tubería

3.10.6. Cálculo de la rugosidad relativa

Se utiliza para detallar el nivel de rugosidades o irregularidades presentes dentro de una tubería siendo el cociente entre la rugosidad absoluta y el diámetro de la tubería.

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{\varepsilon}{D}$$

Ecuación 13-3: Rugosidad relativa

Donde:

ε = rugosidad absoluta del material

D = diámetro interior de la tubería

3.10.7. Cálculo de la pérdida de carga por tramos

Se produce por las pérdidas de presión causadas por obstrucciones en las tuberías como válvulas, codos, cambios de secciones, etc. (López & Méndez, 2014, p. 53-89)

$$h_{tramo} = \frac{f * L_{eq} * V_2^2}{2D * g}$$

Ecuación 14-3: Pérdida de carga por tramos

Donde:

f = coeficiente de fricción

L_{eq} = longitud equivalente

D = diametro interior de la tubería

V_2 = Velocidad del flujo del agua

g = coeficiente de gravedad

3.10.8. Cálculo de la altura dinámica H_B

Sirve para poder calcular la presión total del agua al fluir a través de un sistema.

$$H_B = h_{final} + \frac{P_2}{\rho * g} + \frac{V_2^2}{2 * g}$$

Ecuación 15-3: Altura dinámica

Donde:

h_{final} = pérdida de carga de todos los tramos

P_2 = presión de salida

ρ = densidad del agua

g = coeficiente de gravedad

V_2 = velocidad del flujo del agua

3.10.9. Cálculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{H_B * \rho * g * Q}{745}$$

Ecuación 16-3: Potencia de la bomba

Donde:

H_B = altura dinámica

ρ = densidad del agua

g = coeficiente de gravedad

Q = caudal de agua

745 = potencia en W equivalente a 1 HP

3.10.9.1. Cálculo de la potencia de la bomba al 85%

$$P_{real} = \frac{P_{teorica}}{(\%)}$$

3.10.10. Cálculo de NPSH

Se necesita corregir el efecto de la altura que ejerce sobre la presión atmosférica con la siguiente fórmula

$$P_{ATM}(mca) = 10,33 - \frac{\text{altitud (m)}}{900}$$

Para hallar NPSH:

$$NPSH_{disponible} = 10^5 * \frac{(\rho_l - \rho_v)}{\rho * g} - H_a - h_a$$

Ecuación 17-3: NPSH

Donde:

ρ_l = presión atmosférica (bar)

ρ_v = tensión de vapor del agua a 16°C

ρ = densidad del agua

g = coeficiente de gravedad

H_a = altura de aspiración

h_a = pérdida de carga estimada

3.10.11. Cálculo para el aislamiento del tanque de almacenamiento

3.10.11.1. Cálculo del radio crítico

Se define como el tamaño de un aislante en donde la transferencia de calor será máxima, es decir, que la resistencia del flujo de calor será muy pequeña.

$$r_c = \frac{k}{h}$$

Ecuación 18-3: Radio crítico

Donde:

$r_c =$ Radio crítico (m)

$k =$ Coeficiente de conductividad térmica ($W/m^{\circ}C$)

$h =$ Coeficiente de convección térmica ($W/m^2^{\circ}C$)

3.10.11.2. Cálculo de la pérdida de calor sin aislante

$$\dot{Q} = h_o A_o (T_{\infty 1} - T_{\infty 2})$$

Ecuación 19-3: Pérdida de calor sin aislante

$h_o =$ Coeficiente combinado de transferencia de calor en el tubo

$A_o =$ Área exterior del cuerpo del tanque

$T_{\infty 1} =$ Temperatura del agua

$T_{\infty 2} =$ Temperatura ambiente

3.10.11.3. Cálculo de la pérdida de calor con aislante

$$\dot{Q} = \frac{T_{\infty 1} - T_{\infty 2}}{\frac{1}{h_o * A_o} * \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2 * \pi * k * L}}$$

Ecuación 20-3: Pérdida de calor con aislante

Donde:

$K =$ Coeficiente de conductividad térmica

$L =$ Longitud óptima del recipiente

3.10.11.4. Cálculo para el espesor del aislante

Valores de la resistencia térmica

$$R_{conv,1} = \frac{1}{h_1 * A_1}$$

$$R_{tubo} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 * \pi * k_1 * L}$$

$$R_{aislamiento} = \frac{\ln \frac{r_3}{r_2}}{2 * \pi * k_2 * L}$$

$$R_{conv,2} = \frac{1}{h_2 * A_3}$$

$$R_{total} = R_{conv,1} + R_{tubo} + R_{conv,2} + R_{ais}$$

Ecuación 21-3: Espesor del aislante

Donde:

h_1 = Coeficiente de convección del tanque

h_2 = Coeficiente de convección del ambiente

A_1 = Área superficie del tanque

A_2 = Área superficie aislante

k_1 = Coeficiente de transferencia de calor del tanque

k_2 = Coeficiente de transferencia de calor del aislante

3.10.11.5. Cálculo del número de Nusselt

Se determina para conocer la relación que existe entre la transferencia de calor por convección y conducción a través de un límite del fluido. El número de Nusselt para flujo turbulento se define:

$$Nu = 0.125 * f * Re * Pr^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 22-3: Número de Nusselt

Donde:

Nu = Número de Nusselt

Re = Número de Reynolds

Pr_{tubos} = Número de Prandlt dado por el fluido

μ = Viscosidad del fluido (kg/m*s)

μ_w = Viscosidad del fluido a la temperatura media de la pared del tubo (kg/m*s)

3.10.11.6. Número de Prandlt

$$Pr = \frac{Cp * \mu}{k}$$

Ecuación 23-3: Número de Prandlt

Donde:

Pr = Número de Prandlt dado para el fluido

Cp = Capacidad calorífica del fluido frío (kJ/kg°C)

μ = Viscosidad del fluido (kg/m*s)

k = Conductividad térmica del fluido (W/m*c)

3.10.12. Cálculo del coeficiente de transferencia de calor en los tubos

$$h_i = \frac{k}{D_i} * Nu$$

Ecuación 24-3: Coeficiente de transferencia de calor en tubos

Donde:

h_i = Coeficiente de transferencia de calor en los tubos (W/m²°C)

k = Conductividad térmica del fluido (W/m°C)

D_i = Diámetro interno de los tubos (m)

Nu = Número de Nusselt

3.10.13. Ecuación para calcular las cargas caloríficas

Determina la cantidad de calor mensual que será necesario para calentar agua

$$Q_o = C_e C N (t_{ac} - t_r)$$

Ecuación 25-3: Cargas caloríficas

Donde:

Q_o = Carga calorífica mensual de calentamiento de ACS (J/mes)

C_e = Calor específico (siendo para agua 4,187 J/kg°C)

C = Consumo diario en litros de ACS

N = Numero de días del mes

t_{ac} = Temperatura del agua caliente de acumulación (°C)

t_r = Temperatura del agua fría (°C)

3.10.14. Ecuación para el cálculo de diámetro interior de las tuberías y pérdidas de carga

$$D = \sqrt{\frac{4000 \times Q}{\pi \times V}}$$

Ecuación 26-3: Diámetro interior de las tuberías

Donde:

D = Diámetro interior mínimo de la tubería en mm

Q = Caudal que porta la tubería en litros/segundo

V = Velocidad del fluido en metros/segundo

3.10.15. Ecuación para calcular la pérdida de cargas de las tuberías

$$\Delta P = \frac{f}{2} V^2 \rho \frac{L}{D}$$

Ecuación 27-3: Pérdidas de carga de tuberías

Donde:

ΔP = Pérdida de carga (P_o)

f = Factor de fricción

V = Velocidad del fluido (m/s)

ρ = Densidad del fluido (kg/m³)

L = Largo de la tubería (m)

D = Diámetro de la tubería (m)

3.10.16. Ecuación para determinar caídas de presión de tuberías

$$H_f = \frac{K + V^2}{2 * g}$$

Ecuación 28-3: Caídas de presión de tuberías

Donde:

h_f = Caída de presión (m)

K = Coeficiente de resistencia según el tipo específico de válvula o conexión

* Los valores de coeficiente de resistencia (K) los podemos encontrar en las tablas de características de cada componente

3.10.17. Ecuación para determinar la velocidad de un fluido en base al caudal y el área

$$V = \frac{\text{caudal}}{\text{area}} = \frac{Q}{A}$$

Ecuación 29-3: Velocidad de un fluido

3.11. Escalamiento industrial

El escalamiento industrial proporcionará una mayor cantidad de energía calórica recuperada, con un sistema más amplio y con mayor capacidad de materia y pilas para el proceso de compostaje.

3.11.1. Diseño a escala industrial

El escalamiento industrial fue propuesto para diez pilas de compostaje, el diseño muestra un tanque cisterna de donde se bombeará agua por la acción de una bomba mediante tuberías PVC para alimentar a las pilas de compostaje. Para controlar la entrada de flujo y cantidad se utiliza válvulas en cada una de las tuberías de PVC ubicadas en la entrada de las pilas de compostaje, la tubería de PVC se conectará mediante accesorios con la tubería de cobre en forma de serpentín colocado bajo cada una de las pilas para que el calor se aproveche eficientemente. La salida de cada pila de compostaje está conformada por tubos de cobre para finalmente llegar a una tubería general de unión de todas las salidas. La unión final es la encargada de llenar los cuatro tanques de almacenamiento aislados con lana de vidrio cada uno de ellos para que la temperatura se conserve y pueda utilizarse durante todo el día en el proceso requerido.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis, interpretación y discusión de resultados

Para seguir un orden congruente en los análisis e interpretación de resultados, se presentan las siguientes tablas de resultados de los diferentes análisis y cálculos en el proceso de compostaje:

4.1.1. Cantidad de Materia para la elaboración de la pila de compostaje

Tabla 1-4: Cantidad de materia para la elaboración de pila de compostaje

Pila de compostaje	M.O %	Peso	%	Peso	C	N	C/N
		Fresco (kg)	Humedad	Seco (kg)			
Residuo de Flores	70%	700	0,80	136,64	47,78	2,27	21,02
Estiércol de Codorniz	15%	150	0,29	106,97	8,54	1,31	6,52
Aserrín	15%	150	0,14	129,39	53,19	0,14	384,21
TOTAL	100%	1000		373,00	109,51	3,72	29,43

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

La cantidad de materia orgánica utilizada en la pila de compostaje va acorde con la relación C/N para que exista una composición ideal entre cantidad y presencia de nutrientes en el material de partida para la elaboración de la pila, ya que esto fundamenta el crecimiento y la reproducción de los microorganismos presentes que son la principal fuente para generar energía. Según Masabni & Lillard (2010, p. 3) la proporción C:N ideal para la elaboración de la pila de compostaje es de 30:1, además de tener una altura de 5 pies (1,5m) de alto para que pueda compactarse. En base a estos datos la pila de compostaje se elaboró con una relación C/N inicial de 29,43 y con una humedad del 80% lo que finalmente conlleva a obtener una pila de compostaje de una tonelada y 1,45 m de alto.

4.1.2. Resultados de la caracterización de las muestras del compostaje

Tabla 2-4: Resultados de caracterización de muestras

Evolución de los análisis físico-químicos de la pila de compostaje								
Cod.	Días	%H.	pH	C. E.	M. O.	C. O.	C/N	Í.G.
I	0	53,826 ± 0,39	8,480 ±0,11	3,773 ±0,11	72,904 ±0,90	51,930 ±1,06	34,391	73,352
V1	25	42,976 ± 4,81	8,320 ±0,09	4,093 ±0,08	69,708 ±0,34	48,780 ±0,62	38,714	85,798
V2	45	64,503 ± 4,93	8,363 ±0,20	4,370 ±0,08	68,790 ±1,91	39,727 ±1,55	29,870	75,684
V3	70	63,115 ± 0,26	8,426 ±0,10	3,726 ±0,09	53,312 ±3,01	32,440 ±0,62	25,995	71,361
V4	100	64,570 ±1,21	9,410 ±0,02	5,249 ±0,14	51,495 ±1,25	29,759 ±5,14	25,887	68,582
V5	120	61,794 ±0,29	8,875 ±0,04	6,446 ±0,26	49,391 ±0,30	22,950 ±4,94	16,163	44,388
V6	140	63,382 ±1,67	9,085 ±0,20	5,800 ±0,09	44,745 ±0,27	19,886 ±1,55	14,306	25,532
M	200	41,835 ±0,97	8,462 ±0,10	7,359 ±0,35	44,550 ±1,17	17,279 ±4,54	12,612	22,997
F			28***	119***	130***	37***	142**	50216*
							*	**
DMS			0,220	0,376	3,064	20,123	2,616	0,351

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

La tabla 2-4 muestra los resultados en promedios de las caracterizaciones de las muestras tomadas en cada volteo de la pila en el proceso de compostaje mostrando también la desviación estándar en cada promedio. El porcentaje de humedad se mantiene dentro de los valores recomendados que son de 40 a 70% según (Valverde, 2015, pp.g 18-125). Con respecto a la materia orgánica se observa una disminución dando a entender que si los valores se mantienen constantes el proceso de descomposición ha terminado.

Los valores de pH se mantuvieron en un rango de 8 a 9 durante todo el proceso, empezando con la etapa mesófila que tiene valores más bajos debido al trabajo de los microorganismos en esta

etapa, con un aumento progresivo de pH hasta 8,46. Al mantenerse el pH sobre un valor de 7,5 se deduce que se está dando una buena descomposición (Márquez et al., 2017, pp. 6-126). En la investigación de Idrovo, et al., (2018, pp.388-395), el pH incrementó en 7,4 a 8,2 en el compostaje de la pila de flores, un aumento de pH en los suelos podría minimizar la presencia de micronutrientes necesarios para el buen desarrollo del cultivo en el que pueda usarse el compost. La conductividad eléctrica aumentó durante todo el proceso hasta la etapa de maduración pasando de un valor de 3,77 a 7,36 debido a que durante el proceso pueda haber mayor cantidad de minerales por el aumento de nutrientes en la materia. Para Idrovo (2020, pp. 121-135) en el análisis de la pila de compostaje con flores, aserrín y estiércol se observan valores de 3,21 en el primer volteo disminuyendo a 2,12 en la etapa de maduración.

En cuanto a la materia orgánica en Idrovo, et al., (2018, pp.388-395), los valores bajan significativamente dando porcentajes de 79,4% hasta llegar a 42,3% en la etapa de maduración. Los resultados han sido similares en el estudio en cuanto a la degradación ya que tienen valores desde 72,9% a 49,3 % en la etapa inicial y en la maduración respectivamente. El índice de germinación tuvo valores entre 73,23 a 22,53 % lo que significa que hubo presencia de fitotoxicidad en el compost. La fitotoxicidad es un criterio importante para evaluar si el compost sirve para la agricultura (Idrovo, et al., 2018, pp. 388-395). Cabe mencionar que una pila de compostaje debe alcanzar porcentajes por encima del valor mínimo establecido ($IG > 50\%$) por Idrovo, et al., (2018, pp.388-395), para indicar la ausencia de fitotoxicidad en las compostas. El valor bajo del IG está relacionado con el aumento de la abundancia de compuestos con naturaleza fitotóxica como el amonio y fenoles solubles en agua (Albuquerque, et al., 2006, p. 472.). Los análisis estadísticos se realizaron con el paquete de software estadístico SPSS v. 25.0 (IBM Software, Armonk, Nueva York, EE. UU.). Se utilizó la prueba de diferencia mínima significativa (DMS), con $P < 0,05$, para calcular las significancias de las diferencias entre los valores medios de cada parámetro estudiado para la pila de compostaje. Las diferencias entre los valores del compost final se calcularon mediante análisis de varianza de una vía (ANOVA), al 5% de nivel de significación. Se utilizó la prueba de Post Hoc.

4.1.3. Pérdida de Materia Orgánica

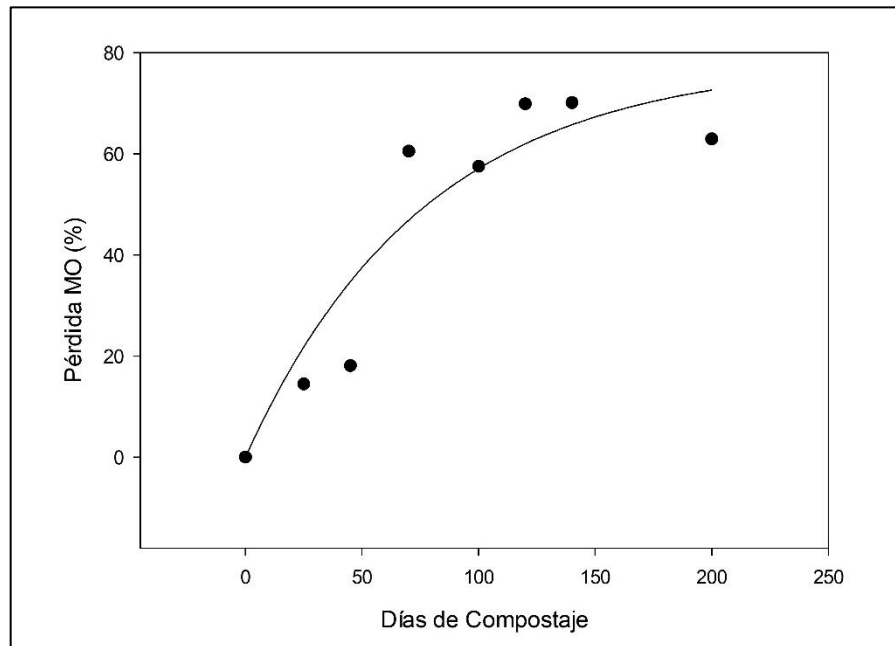


Ilustración 1-4: Pérdida de materia orgánica.

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

La pérdida de materia orgánica (MO) durante el compostaje se ajustó a una ecuación cinética de primer orden, pérdida de MO = A (1-e^{-kt}), dando los siguientes valores: (desviación estándar entre paréntesis, VER: error estándar de estimación, y***: significativo en P < 0,001)

Pila: A = 78,432 (15,758), k = 0,013 (0,0059), RMS = 0,877, F = 42,868***, VER = 10,753

El valor de A obtenido estuvo cercano a los rangos (54,5-83,8%) descritos en diferentes artículos citados con anterioridad respecto a los procesos de compostaje similares. (Idrovo, et al., 2018, pp. 388-395). Además, el valor k de la pila estuvo dentro del rango de valores (0.0085–0.0598 días⁻¹) descrito de igual forma por Gavilanes, et al., (2016, p. 127.), la pila con estiércol de codorniz presentó un porcentaje de 84% de degradación de materia orgánica, mientras que la pila de flores, aserrín y estiércol de codorniz tuvo un valor de pérdida de 62,96% según la Ilustración 1-4, lo que comprueba que este tipo de materia orgánica proveniente flores, aserrín y estiércol avícola tiene gran capacidad de degradabilidad.

4.1.4. Calidad de compost

4.1.4.1. Aniones

Tabla 3-4: Resultados de Aniones

Muestra	Aniones			
	Fosfatos (mg/kg)	Sulfatos (mg/kg)	Hidratos (mg/kg)	Cloruros (mg/kg)
Inicial	1093,097	3532,560	1099,760	30601,840
Maduración	3965,937	3466,033	1813,007	25201,420

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Según Barbaro et al. (2019, p. 8-9), los aniones son los mayores responsables de los cambios existentes en la Conductividad Eléctrica, los más significativos son los sulfatos y los cloruros. Los cloruros generalmente no son absorbidos, por lo que son uno de los iones más fáciles de ser lixiviados. Los sulfatos también son bastante móviles y son lixiviados fácilmente. En la investigación “Caracterización físico-química y microbiológica de materiales compostados obtenidos de residuos vegetales del Mercado Principal de Mérida” (Sánchez, et al., 2013, pp. 2-6.), donde se obtuvieron resultados en Cloruros de 2,96 ppm, Sulfatos 4,04 ppm e Hidratos de 2,92 ppm, presentes en una pila de compostaje de mezcla de aserrín y estiércol de vaca, lo que da como conclusión que utilizando estos sustratos se obtienen menores valores de aniones. Entre los aniones analizados se tiene mayor relevancia en los fosfatos, con un resultado de 1093,09 ppm en la iniciación del proceso de compostaje, y en la maduración un valor de 3965,93 ppm. El aumento del valor de los fosfatos podría deberse a la liberación de sales minerales y iones de amonio por la descomposición de sustancias orgánicas en el proceso de compostaje tal como lo menciona Huang. et al., (2004, pp. 805-813), los valores de sulfatos no tienen mayor relevancia entre la fase de iniciación y maduración, esto se debe a que la progresiva mineralización de la materia orgánica sufre una solubilización desde el compostaje hacia el suelo por humedecer la pila en forma de lluvia débil.

4.1.4.2. Normativa

Tabla 4-4: Metales Pesados

	Pila de Compostaje	Directrices EE. UU.	Directrices Europeas
MO (%)	49,39	50-60	>15
Macronutrientes (g Kg⁻¹)			
NT	1.37 (13.7)	>10	-
P	-	>10	-
Na	-	-	-
K	-	-	-
Metales Pesados (mg Kg⁻¹)			
As	1,051	41	-
Se	-	100	-
Cu	7,019	-	600
Cd	0,284	39	1,5
Hg	<0,05	17	1
Pb	-	41	-

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

4.1.5. Evolución de la temperatura en la pila de compostaje

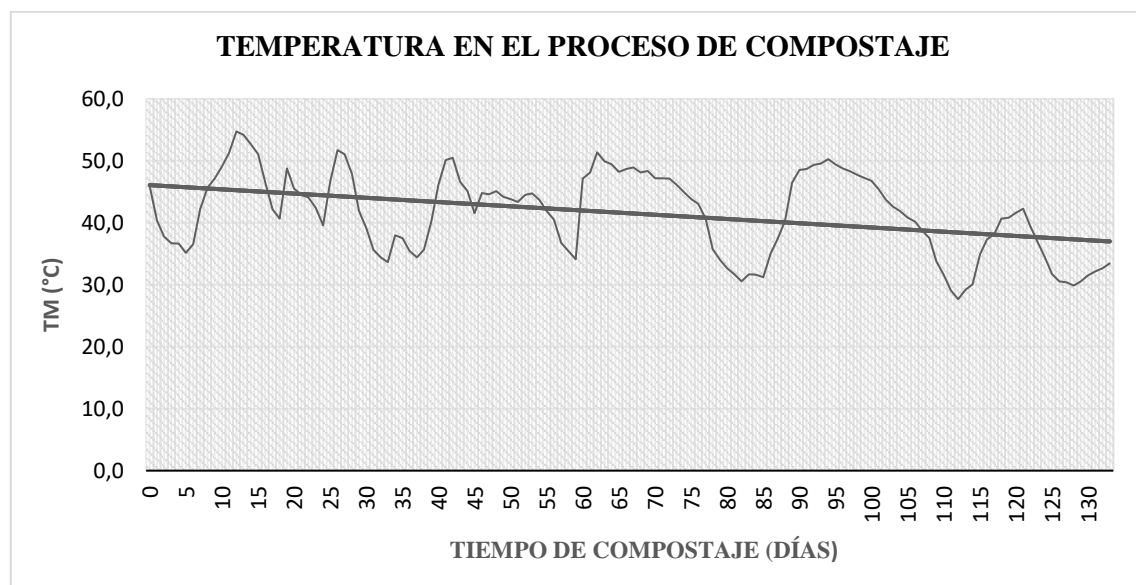


Ilustración 2-4: Comportamiento de la temperatura a través del proceso de compostaje

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

La pila de una tonelada compuesta por flores, aserrín y estiércol de codorniz presentó resultados similares de temperatura durante todo el proceso, excepto después de cada volteo y al iniciar el proceso, registrando diariamente el comportamiento de la temperatura en tres zonas de la pila de compostaje (centro y costados) mostrando temperaturas superiores a 50°C en el centro de la pila, estos datos fueron recolectados durante 130 días hasta llegar a la etapa bio oxidativa y finalizar con la etapa de maduración. Los picos obtenidos en la gráfica se registraron al inicio del proceso con un promedio de 45 °C, la temperatura siempre permaneció más alta a la del ambiente hasta que se logró estabilizar. Las temperaturas más bajas se registraron después del volteo con un promedio de 34 °C. En el caso de Idrovo, (2020, pp. 121-135), tuvo valores mayores a 65°C en las pilas de compostaje formada por residuos florícolas, gallinaza y aserrín disminuyendo gradualmente la temperatura hasta 20 °C en su fase final (duración del proceso de 154 días). En la investigación (Ballesteros et al., 2018, pp. 1-10) la temperatura tuvo un crecimiento notable especialmente en la etapa termófila, donde las temperaturas llegaron a un promedio de 51°C y 47°C en dos pilas de 250 kg respectivamente. Esto también se debió a que el proceso de compostaje en esta investigación se realizó durante el invierno en la época más fría y tuvo una duración de 28 días donde la temperatura disminuyó a 20°C. Por otra parte, la pila de compostaje de una tonelada también tuvo el mismo proceso, pero la temperatura no fue menor a 30 °C como se observa en la Ilustración 2-4.

4.1.6. Evolución de la temperatura de la salida de agua en la tubería de cobre

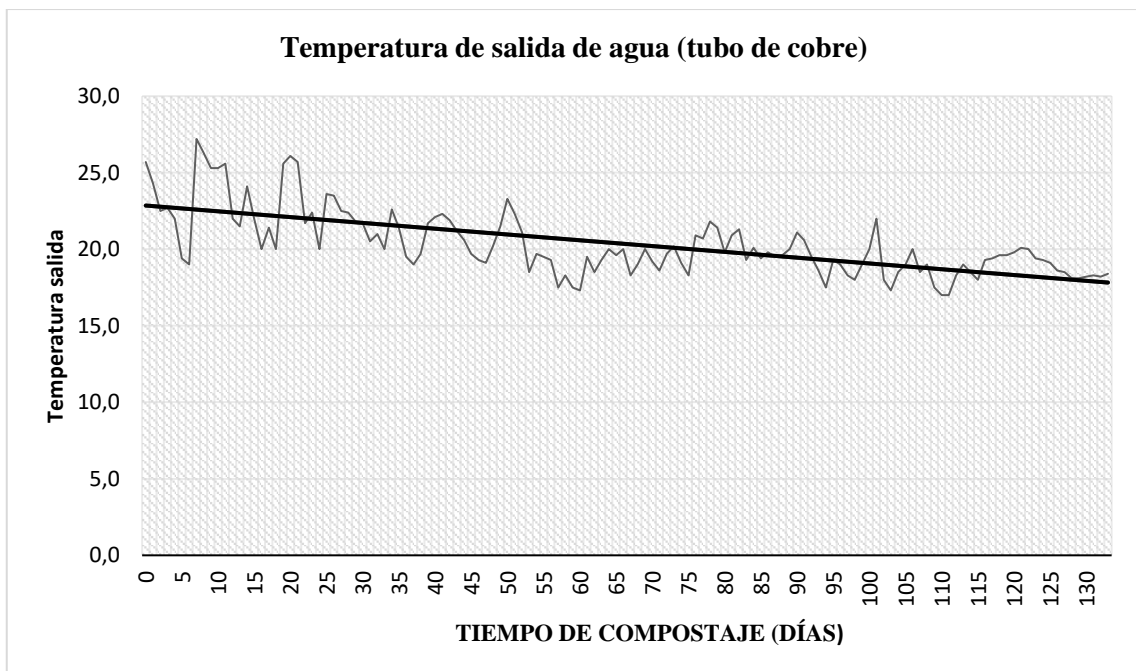


Ilustración 3-4: Evolución de la temperatura de la salida de agua en la tubería de cobre

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

La temperatura del agua en la salida del tubo de cobre tuvo un comportamiento similar a la temperatura general de la pila de compostaje. Los picos altos de temperatura se observaron en la fase termófila. Los picos bajos corresponden a los momentos de volteo y de la fase de enfriamiento. El tubo de cobre al ser un material de buena conducción absorbe el calor suministrado por la pila de compostaje, en un promedio de 0,02 kWh/kg suministrado diariamente donde las temperaturas llegan a tener un valor mínimo de 14,92 °C y máximo de 20,30 °C en la salida de agua. En el estudio (Contardi & De Errasti 2012, pp. 7-8) se obtiene un pico térmico en la pila de compostaje de 55 °C, resultado similar a la pila de flores, aserrín y estiércol de codorniz; la temperatura se elevó en los primeros 8 días de iniciar el proceso de compostaje. La pila fue elaborada con residuos de carpintería y estiércol de equino. Por otra parte, la segunda pila fue elaborada con residuos de carpintería, estiércol y pasto, tuvo un pico térmico de 60°C a los primeros 4 días de inicio del proceso de compostaje. La pila de compostaje de estiércol de codorniz, aserrín y flores tuvo un pico de 54°C. Lo que indica un resultado más efectivo con el empleo de pasto y estiércol de ovino. Finalmente, se observa una línea descendente en la Ilustración 3-4 demostrando que al final del proceso de compostaje ya no se obtenía la temperatura adecuada para continuar con el proceso y lo que conllevó a dar como finalizado el proceso de compostaje y proceder a su maduración.

4.1.7. Evolución de la energía calórica en la pila de compostaje

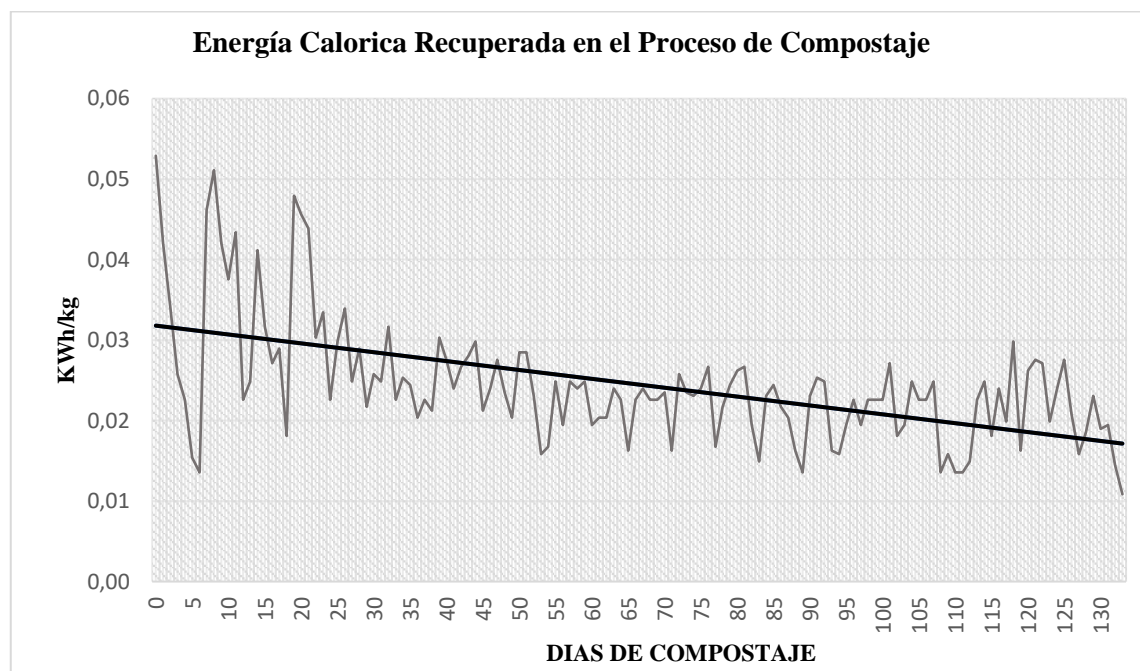


Ilustración 4-4: Energía calórica en la pila de compostaje

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

En la Ilustración 4-4 se observa que al inicio del proceso de compostaje se obtuvo una mayor cantidad de energía calórica con unidades de KWh/kg. El promedio de energía recuperado por día es de 0,02 KWh/kg. Lo que permite calentar el agua a un promedio de 5,38°C en la tubería de cobre. El final del proceso de compostaje se denota por la caída de recuperación de energía calórica que se observa al final de la Ilustración 4-4. En la investigación “Energy recovery from commercial-scale composting as a novel waste management strategy” La composición de la pila de compostaje fue de una mezcla de 40% de estiércol de vaca, 40% estiércol de caballo/mezcla de cama y 20% heno de desecho. Las tasas de captura de energía en este estudio están en un rango de 0.0491–0.0915 KWh/kg con temperaturas dentro de un rango de 51–66 °C (Smith & Aber, 2018, pp. 194-199). Resultados similares al promedio de energía calórica recuperada en la pila de flores, aserrín y estiércol de codorniz.

En la investigación “Mass and thermal balance during composting of a poultry manure Wood shavings mixture at different aeration rates” se estimó el balance térmico de una mezcla de estiércol avícola y virutas de madera durante compostaje a diferentes velocidades de aireación. Lo que resultó una obtención de 520,127 KJ/día y 425,578 KJ/día en flujo alto y flujo bajo respectivamente. Estos valores corresponden a 0,52 KWh/kg y 0,425 KWh/kg respectivamente, al comparar estos resultados se nota que la pila de compostaje con flores y estiércol de codorniz se ubica en el medio de estas dos investigaciones haciendo que sea beneficioso usar este tipo de sustratos para recuperar calor en el proceso de compostaje.

4.1.8. Resultados de temperaturas y calor en la pila de compostaje

Tabla 5-4: Resultados de promedios de temperaturas y calor de la pila de compostaje

Temperaturas y calor en la pila de compostaje				
Tiempo (días)	Tm Pila (°C)	Tm Tubo de Cobre (°C)	T. Ambiental (°C)	Qm/día (KWh/kg)
133	41,50	20,30	14,9253	0,02

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

La tabla 5-4 muestra resultados de las temperaturas en el proceso de compostaje. Se obtuvo un promedio de 41,50 °C en el proceso de compostaje y un valor promedio de recuperación de calor de 0,02 KWh/kg. Lo que resulta beneficioso para aumentar la temperatura que atraviesa el tubo de cobre para el posterior uso en procesos que requieran agua a mayor temperatura. En el artículo “A compost heating solution for a greenhouse in north-eastern Poland in fall” de Neugebauer et al., (2021, p. 1-11) indica el calor recuperado en la fase termófila del proceso de compostaje para el aprovechamiento de calor aplicado a un sistema de tuberías obteniendo una temperatura mayor a 2°C, por esta razón se implementa un biorreactor para agregar residuos orgánicos, lo que dio un

mejora en la obtención de calor recuperado aumentando la temperatura a 30,145 °C. Por otro lado, el aprovechamiento de calor resultante en el proceso fue de 0,02 KWh/kg para la obtención de agua con una temperatura mayor respecto al valor de la temperatura ambiente de 14,92 °C.

4.1.9. *Resultado de la temperatura total recuperada*

Tabla 6-4: Resultado de temperatura promedio en el proceso de compostaje

Temperatura total recuperada	
	Tf (°C)
	5,38

Realizado por: Mena, S.; Román, A., 2022

Para el diseño del sistema de recuperación de energía calórica se probó con dos sistemas, utilizando un intercambiador de calor con un tanque de almacenamiento para la llegada del agua caliente, que no fue eficaz ya que hubo solamente un aumento de 1 a 2°C de temperatura del agua almacenada. En cambio, el sistema empleado de una tubería de cobre en forma de serpentín ubicado en el centro de la pila de compostaje se obtuvo un aumento de temperatura de hasta 5,38°C.

4.2. Escalamiento industrial

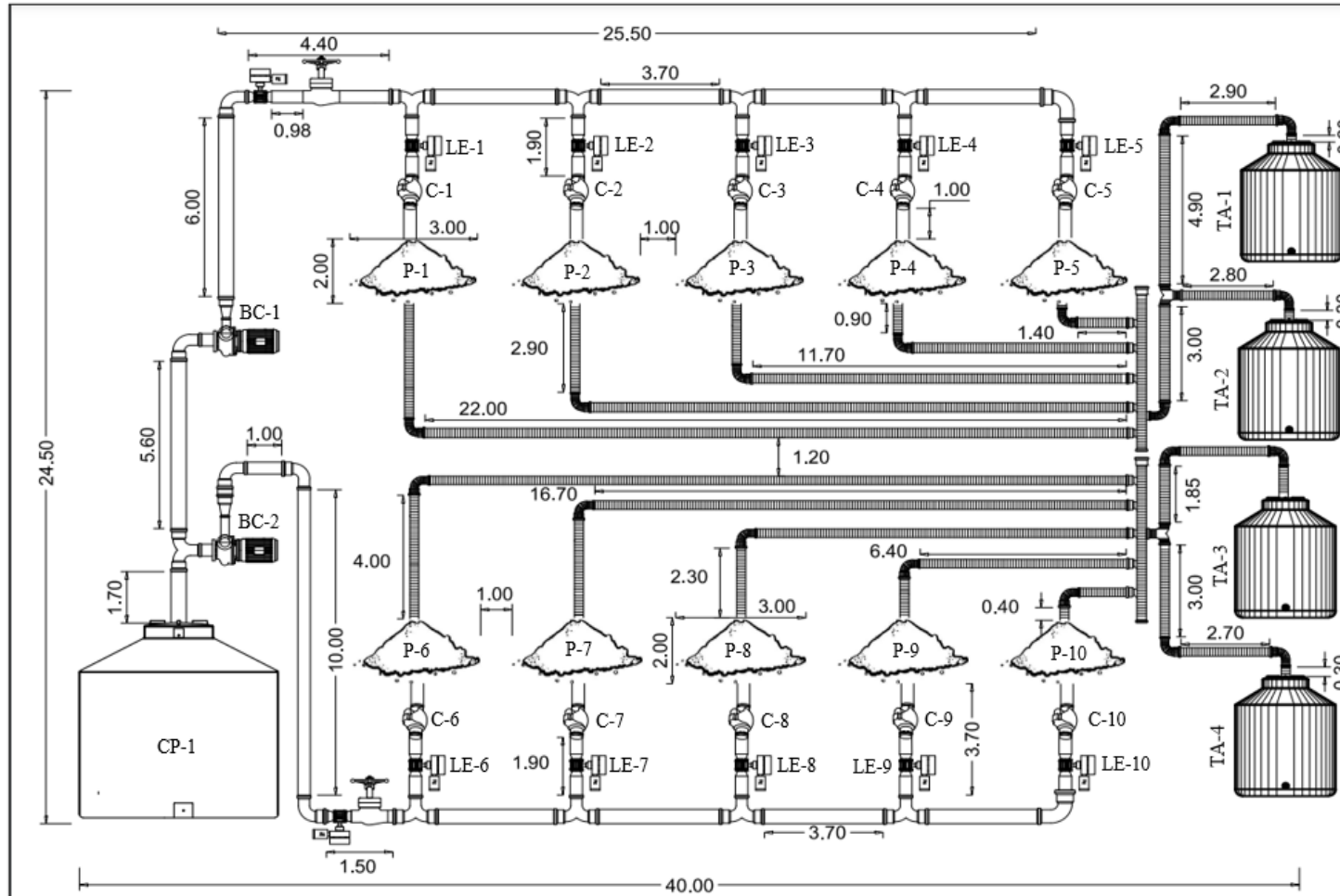


Ilustración 5-4: Plano del Escalamiento Industrial

Realizado por: Mena S.; Román A., 2022

4.2.1. Diagrama técnico del escalamiento industrial

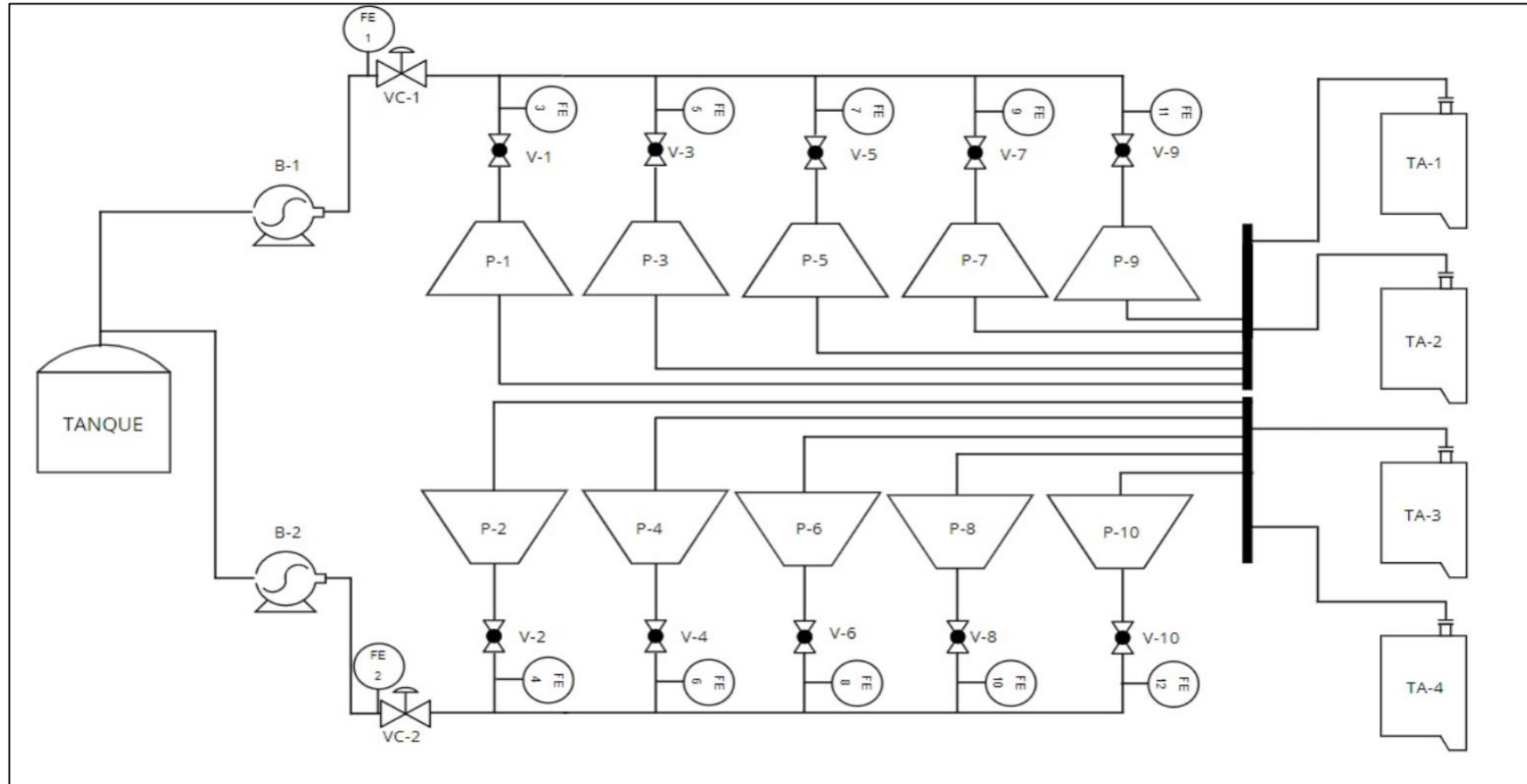


Ilustración 6-4: Diagrama P&ID del Escalamiento Industrial

Realizado por: Mena S.; Román A., 2022

El plano mostrado en la Ilustración 5-4, es el diseño a escala industrial que tiene un área superficial de 960 m². Dentro de esta área el escalamiento industrial consta de una cisterna de agua a temperatura ambiente con un promedio de 14.92 °C. Desde ese punto el agua es bombeada hacia diez pilas de compostaje, que están conectadas entre sí, esta tubería es de PVC para una mayor accesibilidad en el diseño. Las entradas de las pilas están controladas por válvulas que se cerraran manualmente si la pila está siendo volteada o cualquier circunstancia que se pueda presentar. A partir de este punto la entrada de la pila de compostaje está constituida de tubería de cobre que es conocida por poseer una conductividad térmica de 390 W (m*K). Cada pila de compostaje calienta el agua que pasa a través de la tubería en un promedio de 5.38 °C a partir de la temperatura ambiente del agua de entrada. Las uniones de las diez pilas de compostaje se unen a un tubo final donde se distribuye hacia cuatro tanques de 10m³ que están aislados con lana de vidrio. El agua a mayor temperatura será usada en diferentes actividades que lo amerite.

4.2.2. Resultados de los cálculos del escalamiento

Tabla 7-4: Cálculos de pérdida de presión en el escalamiento industrial

RESULTADOS DE TRAMOS DEL ESCALAMIENTO INDUSTRIAL					
N°	L. (m)	ACC	L. E. ACC	L. E.	P. de carga (Hf) (m)
T 1	1,7	-	-	1,700	2,170
T 2	5,6	-	-	5,600	7,149
T 3	6	1 codo	0,483	6,483	8,277
T 4	4,4	1 unión T	0,483	4,883	6,234
T (2)	7,4	1 unión T	0,967	8,367	10,681
T 6 (2)	7,4	1 unión T	0,967	8,367	10,681
T 7 (2)	7,4	1 unión T	0,967	8,367	10,681
T 8 (2)	7,4	1 codo	0,967	8,367	10,681
T 9	2,9	-	-	2,9	3,702
T 10 (2)	8	1 codo	0,967	8,967	11,447
T 11 (2)	5,8	1 codo	0,967	6,767	8,639
T 12 (2)	4,6	1 codo	0,967	5,567	7,107
T 13 (2)	1,8	1 codo	0,967	2,767	3,532
T 14 (2)	0,8	1 codo	0,967	1,767	2,255
T 15 (2)	44	-	-	44	56,172
T 16 (2)	33,4	-	-	33,4	42,640
T 17 (2)	23,4	-	-	23,4	29,873
T 18 (2)	12,8	-	-	12,8	16,341
T 19 (2)	2,8	-	-	2,8	3,575
T 20 (2)	6	1 unión T	0,967	6,967	8,894
T 21	4,9	1 codo	0,483	5,383	6,873
T 22 (2)	5,8	1 codo	0,967	6,767	8,639
T 23	2,8	1 codo	0,483	3,283	4,192
T 24	1	1 codo	0,483	1,483	1,894
T 25	1,5	-	-	1,500	1,915
T 26	2,7	1 codo	0,483	3,183	4,064
T 27	1,85	1 codo	0,483	2,333	2,979
T 28	10	-	-	10,000	12,766
T 29 C	30	-	-	30,000	38,299
TOTAL	254,15			268,16609	342,35145

Realizado por: Mena, S.; Román, A., 2022

En la tabla 7-4, se calcula las pérdidas de carga en cada tramo del sistema de recuperación de energía calórica a escala industrial, con un resultado de longitud equivalente de 342,35 m en 29 tramos de tubería con un caudal de 0,45 L/s. En el caso de (De la cruz et al., 2022, pp. 69-76), se calcula la pérdida de carga utilizando la ecuación de Darcy Weisbach por cada tramo de manera experimental teniendo un total de 37,22 en 10 tramos de tubería de 0,017 m de tubería de PVC y 0,8 m de longitud, el caudal evaluado es de 0,5 L/s en tuberías de PVC. En base a los resultados se destaca la utilización de codos de 45° con pérdidas de carga total de 0,078 m en contraste de codos de 90° usados también en el escalamiento industrial con pérdidas de 0,341 m.

4.2.3. Resultado de la altura dinámica

Tabla 8-4: Resultado de la altura dinámica

Altura dinámica (HB)(m)	
343,223	

Realizado por: Mena, S.; Román, A., 2022

En la tabla 8-4 se muestra el resultado de altura dinámica de todo el sistema de 343,22 m, esta altura es la que la bomba debe abastecer para que el agua pueda llegar eficientemente al tanque de almacenamiento. Considerando en Lopez, (2009, p. 65-67) que elabora el diseño de un sistema de tuberías de 300 m de longitud para abastecer de agua potable la comunidad de Santa Fe en donde evalúa la altura dinámica necesaria para transportar todo el agua por un sistema de tuberías con un resultado de 170,32m de altura dinámica, considerando que el agua será tomada desde un río que cuenta con un caudal de 258 L/s, estimando también que la comunidad necesitará de un caudal de 22 L/s para abastecerse completamente.

4.2.4. Resultado de la potencia de la bomba

Tabla 9-4: Potencia de la bomba

Potencia Bomba	2,0338	HP
Potencia al 85%	1,7287	HP

Realizado por: Mena, S.; Román, A., 2022

Como se puede observar en la tabla 9-4, se tiene la potencia de la bomba necesaria para transportar el agua con un caudal de 0,45 L/s desde la cisterna a través de varias tuberías de cobre de 250 m de longitud hasta el tanque de almacenamiento aislado. El valor de la potencia es de 1,728 HP para una bomba centrífuga. Para Lopez, (2009, p. 65-67) la potencia de la bomba necesaria es de 15 HP que transportará un caudal de 22 L/s desde el río cercano a las comunidades y una bomba de

30 HP para transportar el agua potable desde la planta de tratamiento de agua hasta las comunidades.

4.2.5. Resultados de los aislantes para los tanques de almacenamiento

Tabla 10-4: Resultados de aislantes para los tanques de almacenamiento de agua

 AISLANTES 				
Material	RC (m)	Q (sin aislante) (W)	R3 (m)	Q (con aislante) (W)
Poliestireno expandido	1,272	1,711	1,522	0,6002
Lana de vidrio	1,272	1,88	1,522	0,495

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

Según Villasmil et al., (2019, p. 71-84) los sistemas de almacenamiento de agua suelen ser aislados utilizando materiales convencionales como lanas minerales, estos materiales son escogidos por su fiabilidad de instalación y bajo costo. El principal inconveniente es la conductividad térmica que es relativamente alta y da como resultado un gran espesor del aislamiento, pero puede ser favorable a la hora de hablar del valor económico. Para un tanque de almacenamiento de 100m³ el uso de lana de vidrio se vuelve rentable en comparación de otras espumas aislantes teniendo un valor promedio de 500 m de espesor en los tanques ya que en la investigación se trata de mantener una variación no mayor a 5°C dentro del tanque (González, 2018, pp. 93-94). Los tanques aislados en el diseño del escalamiento industrial se dividieron en cuatro tanques para una mayor facilidad de aislamiento, como resultado se obtuvo cuatro tanques de 10 m³ con un espesor de aislante de aproximadamente 1,272 m de grosor lo que evitará que el calor de disipe en su totalidad y pueda permanecer con la temperatura de agua de entrada desde la pila diariamente. Entre los resultados obtenidos se puede observar que tanto el poliestireno expandido como la lana de vidrio tienen resultados similares, pero en base a costos es mucho más factible el uso de la lana de vidrio.

4.2.6. *Resultados del aislante para la tubería de cobre*

Tabla 11-4: Resultados de aislantes para la tubería de cobre

Aislantes y Pérdidas de Calor					
MATERIAL	Longitud	RC	Q SIN AIS (W)	R3 (m)	Q CON
LANA DE VIDRIO		(m)			AIS (W)
N°					
T 10	8	0,050	3179,856	0,070	23,737
T 11	5,8	0,036	4386,008	0,056	28,189
T 12	4,6	0,029	5530,184	0,049	32,412
T 13	1,8	0,011	14132,693	0,031	64,164
T 14	0,8	0,005	31798,559	0,025	129,370
T 15	44	0,276	578,156	0,296	14,134
T 16	33,4	0,210	761,642	0,230	14,811
T 17	23,4	0,147	1087,130	0,167	16,013
T 18	12,8	0,080	1987,410	0,100	19,336
T 19	2,8	0,018	9085,303	0,038	45,534
	TOTAL	0,863	72526,941	TOTAL	387,700

Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022

En la tabla 11-4 se observa la cantidad de tramos que se necesitan aislar para evitar la pérdida de calor del agua mientras se transporta por las tuberías de cobre, se utiliza lana de vidrio porque representa un costo bajo en comparación con el poliestireno expandido analizado en la tabla 39-4. Se tiene un valor de 387,7 W de la cantidad de calor de las tuberías con aislante. Según Ramírez (2011, p. 50-51), para una tubería de 150 metros con espesor de 8 pulgadas, en base a bibliografía se utilizó lana de vidrio como material de aislamiento con un coeficiente de transferencia de calor de 0,05 W/m°C, obteniendo una pérdida de calor de 12,860 W.

CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de recuperación de energía calórica a nivel industrial que consiste en una red de tuberías que pasan a través de diez pilas de compostaje, el agua que se encuentra almacenada en una cisterna se calienta al atravesar las pilas de compostaje hasta llegar a cuatro tanques de almacenamiento aislados que conservará la temperatura del agua para su posterior uso. La tubería PVC inicia desde la cisterna hasta la entrada de las pilas de compostaje para optimizar costos. Cada pila de compostaje cuenta con la instalación de válvulas esféricas estándar de paso total para regular manualmente el flujo de agua para la entrada en las pilas de compostaje, y también con la utilización de caudalímetros para el control del flujo de agua. Las bombas son capaces de alimentar el sistema con el agua requerida para el escalamiento. La tubería de cobre es usada a partir de la salida de las pilas para mantener al agua caliente hasta los tanques con la menor pérdida de calor posible. Finalmente, la cantidad de aislante en la tubería es la adecuada para mantener la temperatura del agua en un promedio de 20.3°C. Lo que permite ser funcional para los procesos que necesiten agua a mayor temperatura que la del ambiente.
- Se realizó el proceso de compostaje utilizando como residuos orgánicos, flores, aserrín y estiércol. La pila de compostaje de una tonelada suministró de energía calórica en un promedio de 0,02 KWh/kg energía suficiente para que el agua llegue a calentarse en un promedio de 5,38 °C con respecto a la temperatura ambiente. Además, el monitoreo de la temperatura ha sido la variable principal para analizar los datos dando como resultados temperaturas en un rango de 40°C - 60°C en la pila.
- La calidad del compost obtenido se encuentra dentro de las normas planteadas y con valores dentro de los límites establecidos por la Norma European Commission, menos en los resultados de índice de germinación. ya que el resultado llego a decaer hasta un valor final de 22,53%.
- Se diseñó un sistema general de recuperación de energía calórica que consiste en una tubería de cobre que pasa a través de la pila de compostaje en forma de serpentín para obtener agua a mayor temperatura que la temperatura ambiente. Se usó tubería de cobre como material principal del sistema porque es un material convencional y gracias al alto valor de conductividad térmica hizo que el calor de la pila se aproveche de mejor forma al calentar el agua. La pila de compostaje proveía de calor suficiente para elevar la temperatura del agua a un promedio de 5,38°C.
- Se analizó la viabilidad económica del proyecto con la indagación de la disponibilidad de los accesorios y equipos necesarios para la construcción e instalación del escalamiento del sistema de recuperación de energía calórica. La inversión será de \$21362,20 con un periodo de recuperación de la inversión en 10 años, ya que la producción de compost maduro es anual

y con su precio unitario de \$34, 53 por quintal de compost a comparación del quintal de la urea de \$50 en el mercado ecuatoriano en 2023.

RECOMENDACIONES

- Para la recolección de residuos orgánicos se debe hacer una selección de la materia orgánica de interés, ya que entre los residuos existen varios contaminantes que se mezclan en el proceso de descomposición por lo cual deben ser eliminados para altere las características del compostaje.
- La cantidad de materia para alimentar la trituradora debe ser moderado ya que con una cantidad de materia orgánica exhaustiva puede dejar de funcionar, y pueden existir daños mecánicos. Además, el mantenimiento es necesario y llevado a cabo con una frecuencia normal de un motor a gasolina, también las partes mecánicas de la trituradora deben ser revisadas.
- Para un mejor aprovechamiento de la energía generada, el sistema de tuberías podría instalarse en la parte media de la pila para una mejor conducción de calor en las tuberías.
- La humedad de la pila de compostaje debe mantenerse en 40- 60% ya que si la humedad baja demasiado se verá afectado directamente la descomposición de la materia orgánica y si sobrepasa el valor máximo el proceso se vuelve anaerobio provocando la muerte de los microorganismos importantes en la etapa de descomposición.
- Analizar acerca de la disponibilidad de aislantes en el mercado, ya que no todos los aislantes se encuentran fácilmente para ser acoplado a un sistema de recuperación de calor.
- Realizar los análisis de la caracterización de muestras de la pila de compostaje mínimo por triplicado porque las muestras dan diferentes resultados según del lugar de la pila donde se haya recogido la muestra, lo que hará que los resultados tengan una variación significativa al momento de compararlos.
- Homogenizar la pila de compostaje en cada volteo de manera minuciosa ya que si no se da el volteo de forma correcta existirán partes que no se degraden o queden con mayor concentración de sustrato o humedad, lo que perjudica al momento de tomar muestras y analizar los resultados obtenidos en el laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

ACERO, E. *Medidor de Caudal Seametrics Acero Comercial*. [blog]. 2022. [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.acerocomercial.com/shop/category/optimizacion-sistemas-ingenieria-marcas-seametrics-507>.

AHN, H.K.; et al. "Mass and thermal balance during composting of a poultry manure-Wood shavings mixture at different aeration rates". *Process Biochemistry* [en línea], 2007, (EE. UU) 42(2) pp. 215-216. [Consulta: 27 febrero 2023]. ISSN 13595113. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2006.08.005>.

ALARCÓN, R. "Acondicionamiento del suelo". *Revista Científica Ecuatoriana*, vol 2 n°. 1 (2016), (Ecuador) pp. 1-31.

ALBUQUERQUE, J.; et al. "Measuring detoxification and maturity in compost made from "alperujo", the solid by-product of extracting olive oil by the two-phase centrifugation system". *Chemosphere* [en línea], 2006, (España). 64(3), p. 472. [Consulta: 1 marzo 2023]. ISSN 1879-1298 Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653505012853?via%3Dihub>

ANDALUCIA, L. "Sistemas Y Técnicas Para El Compostaje". Junta de andalucia [en línea], 2000, (España). 1(2), p. 7. [Consulta: 8 julio 2022]. Disponible en: [http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000 Compost CIEMAT.pdf](http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf).

ANSORENA, J.; & MERINO, E.B. "Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos , enmiendas y abonos orgánicos". *Escuela Agraria Fraisoro*, vol 1 (2014), (España) pp. 10-11.

ANTIZAR-LADISLAO, B.; et al. "Energy from waste: Reuse of compost heat as a source of renewable energy". *International Journal of Chemical Engineering* [en línea], 2010, (UK) vol. 2010 PP. 9-10. [Consulta: 19 enero 2022] ISSN 1687806X. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2010/627930>.

ASQUI, C.; & SERRANO, C. Co-compostaje de residuos florícolas del mercado de flores de la ciudad de Ambato con residuos orgánicos provenientes del mercado la condamine de la ciudad de Riobamba (Trabajo de titulación) (Ingeniería). [en línea] Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Carrera de Ingeniería en Biotecnología Ambiental. Riobamba,

Ecuador. 2015, pp. 19-30 [Consulta: 28 febrero 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/17650>

AZA, L. La Totorá Como Material De Aislamiento Térmico : Propiedades Y Potencialidades (Tesis) (Master). [en línea] Universidad Politécnica de Catalunya, Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, Tecnología en la Arquitectura. Barcelona, España. 2014, p. 17 [Consulta: 28 diciembre 2022]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/88419/LEYDA_AZA_TFM.pdf

BAJKO, J.; et al. "Temperature measurement and performance assessment of the experimental composting bioreactor". EPJ Web of Conferences [en línea] 2018, (República Checa) (2) 3, pp. 1-5. [Consulta: 28 enero 2023]. ISSN 2504-3900. Disponible en: <https://doi.org/10.1051/epjconf/201818002003>

BALLESTEROS, M; et al. " Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación". Centro Azúcar [en línea] 2018, (México) 45(1), pp. 1-10. [Consulta: 28 diciembre 2022] ISSN 22234861. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v45n1/caz01118.pdf>

BARBARO, L.; et al. "Characterization of different compost for use as component of substrates". Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences [en línea], 2019, (Chile) 35(2), pp. 126-136. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 07193890. Disponible en: <https://doi.org/10.4067/S0719-38902019005000309>

BOHÓRQUEZ, W. 2020. "El proceso de compostaje" Universidad de la Salle. Ediciones Unisalle [en línea], 2020, (Colombia). vol 1, pp. 9-90. [Consulta: 28 noviembre 2022] ISBN 9789585486676. Disponible en: <https://doi.org/10.19052/978-958-5486-67-6>

BRITO, H. *Texto Básico Operaciones Unitarias I.* [en línea]. Ecuador: Libros EIQ, 2000. [Consulta 23 febrero 2023]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313673664_TEXTO_BASICO_DE_OPERACIONES_UNITARIAS_I

CABEZAS, J. *Ventajas del compost.* [en línea]. 2016. [Consulta: 15 enero 2023] https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2016/01/Informe_compost_web_con_tabla_buena-1.pdf

CARIELLO; et al. "Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos". *R.C. Suelo Nutr. Veg.*, vol. 7, no. 3 (2007) (Argentina), pp. 32-34.

ÇENGEL, Y. "Transferencia de Calor y Masa". *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea] 2013, (EE.UU.) 1(9), pp. 12-18. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 1098-6596. Disponible en: <https://itscv.edu.ec/wp-content/uploads/2019/06/Transferencia-de-calor-y-masa.-Fundamentos-y-aplicaciones-Cuarta-Edición.pdf>.

CFN. *Cultivo de flores: Ficha sectorial. Subgerencia De Análisis De Productos Y Servicios* [blog], 2021 [Consulta: 28 diciembre 2022] Disponible en: <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/downloads/biblioteca/2021/fichas-sectoriales-3-trimestre/Ficha-Sectorial-Flores.pdf>.

CHANES, W.; et al. "Aplicaciones de ingeniería y fenómenos de transporte al estudio de la transferencia convectiva de calor en alimentos envasados". *Revista Mexicana de Ingeniería Química* [en línea], 2005. (México) 4(1), pp. 89-106 [Consulta: 5 de Marzo de 2023]. ISSN: 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62040108>

COMISIÓN EUROPEA & PARLAMENTO EUROPEO. "Reglamento (CE) N° 208/2006 de la comisión de 7 de febrero de 2006". *Diario Oficial de la Unión Europea* [en línea], 2006. (Bruselas) 8(2) pp. 25-31 [Consulta: 15 noviembre 2022]. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:036:0025:0031:ES:PDF>

CONTARDI, L.; & DE ERRASTI, A. Evolución de la temperatura en pilas de compostaje de residuos agroforestales. Trabajo presentado en VII Congreso de Medio Ambiente AUGM, [en línea], 2012 (Argentina) pp. 7-8 [Consulta: 25 noviembre 2022]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/26668>

GOMES, D. Estudio comparativo de la conductividad térmica de tres aislantes naturales con la del poliestireno expandido (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Universidad Magdalena, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Pesquera, Colombia. 2021, p. 13-18. [Consulta: 28 enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unimagdalena.edu.co:8081/server/api/core/bitstreams/fec0b945-2036-4c71-a322-7b2de04602bb/content>

DE LA CRUZ, M.; et al. "Análisis de pérdida de carga en un sistema de tuberías de agua comparación de resultados experimentales y mediante el equipo HM 150.11". *Prospectiva Universitaria*, [en línea], 2022. (Perú) 17(1), pp. 69-79 [Consulta: 13 enero 2023]. ISSN 1990-2409 Disponible en: <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2020.17.1388>

DE LIMA, F.; et al. "Composición química de pétalos de flores de rosa, girasol y caléndula para su uso en la alimentación humana". *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* [en línea], 2019 (Colombia) 20 (1), pp. 149-158. [Consulta: 17 abril 2022]. ISSN 0122-8706. Disponible en: https://doi.org/10.21930/rcta.vol20_num1_art:1252.

DIÉGUEZ-SANTANA, K. "Alternativas de producción más limpias para la destilería Puro Puyo, Pastaza, Ecuador" *I+D Tecnológico*, [en línea], 2021, (Ecuador). 17(1), pp. 11-17 [Consulta: 28 febrero 2023]. ISSN 1680-8894. Disponible en: <https://doi.org/10.33412/idt.v17.1.2906>.

FALLAS, D.A. Caracterización del proceso de compostaje y aprovechamiento del calor generado en un reactor bajo aireación forzada. [en línea]. (Trabajo de Titulación) (Licenciatura) Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Agrícola, Costa Rica. 2016. p. 32. [Consulta: 13 enero 2023]. Disponible en: <http://repo.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/10236>.

GARZÓN, I. Efecto de la adición de compost de flores sobre algunas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. [en línea], (Trabajo de Titulación) (Masterado) Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrícolas, Bogotá - Colombia. 2020. p. 91. [Consulta: 28 diciembre 2022] Disponible en: <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/78164/11442928.2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

GAVILANES, I.; et al. "Compostaje en hileras como estrategia de gestión de residuos hortícolas: un estudio de caso en Ecuador" *Gestión Residuos* [en línea], 2016. (Ecuador) 48 (1) p. 127 [Consulta: 19 diciembre 2022]. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.11.026>

GEISEL, P.M.; & SEAVER, D.C. "El compostaje es bueno para su jardín y el medio ambiente". *Agriculture and Natural Resources*, [en línea], 2009. (EE.UU.) 1(2) pp. 1-2 [Consulta: 19 diciembre 2022]. ISBN-13:978-1-60107-640-3 Disponible en: <https://doi.org/10.3733/ucanr.8367s>.

GONZÁLEZ, D. Diseño y cálculo de un tanque de almacenamiento de un fluido de alta temperatura. [en línea], (Proyecto) (Ingeniería) Universidad Politécnica de Madrid, Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, España. 2018. pp. 93-94. [Consulta: 8 enero 2022] Disponible en: http://oa.upm.es/51986/1/TFG_DAVINIA_GONZALEZ_DORTA.pdf.

HEINONEN-TANSKI, H.; et al. "Thermophilic aeration of cattle slurry with whey and/or jam wastes". *Bioresource Technology* [en línea], 2005, (EE.UU) 96(2), pp. 247-252. [Consulta: 13 enero 2023]. ISSN 09608524. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2008/03/compostaje-como-medio-de-obtencion-de-htm/>.

HUAN, G.; et al. "Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust". *Waste Management*. [en línea], 2004, (Japón) 24(2004), pp. 805-813. [Consulta: 13 enero 2023]. ISSN 0956-053X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2004.03.011>

IDROVO, J. Compostaje de residuos procedentes de la industria florícola en Ecuador. Empleo agrícola y para la biorremediación ambiental del compost obtenidos [en línea] (Tesis) (Doctorado) Universidad Miguel Hernández de Elche, Programa de Doctorado en Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y alimentarias, España. 2020. pp. 121-135 [Consulta: 10 febrero 2022] Disponible en: <http://dspace.umh.es/bitstream/11000/25514/1/Tesis%20Doctoral%20Julio%20Idrovo.pdf>

IDROVO, J.; et al. "El compostaje como método para reciclar los recursos vegetales renovables de vuelta a la industria de las plantas ornamentales: evaluación agronómica y económica de los compost". *Seguridad de Procesos y Protección Ambiental* [en línea], 2018 (España). 116(2018), pp. 388-395. [Consulta: 14 marzo 2023]. ISSN 0957-5820. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.03.012>

ÍÑIGUEZ, F. *Costos de materiales y equipos DISMEC*. [blog]. 2022. [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.dismec.ec/tienda/>.

JARAMILLO, J.; & CARDENAS, H. "Número de Reynolds". *Journal of Chemical Information and Modeling* [en línea], 2015. 53(9), pp. 16-17. [Consulta: 13 enero 2023]. ISSN 1098-6596. Disponible en: [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/4849/T.IC JARAMILLO DIAZ JULIAN DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/4849/T.IC%20JARAMILLO%20DIAZ%20JULIAN%20DAVID.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

JERIS, J.; & REGAN, R. *Control de parámetros ambientales para un compostaje óptimo*. [blog]. 2018. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <https://agris.fao.org/agris->

search/search.do?recordID=US201303230494

JIMENEZ, O. Respuesta Del Compostaje De Podas a Variables De Entrada, Método Indore Modificado. [en línea] (Proyecto de grado) (Masterado). Universidad del Norte, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Maestría en Ingeniería Ambiental. Colombia. 2012. pp. 43-44. [Consulta: 28 diciembre 2022] Disponible en: <http://manglar.uninorte.edu.co/bitstream/handle/10584/8830/109668.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

KARABULUT, B.; El estudio teórico de la impresión en 3D de ladrillos de adobe que son reforzadas con fibras de lanas de vidrio recicladas de RCD para ser utilizado en ambas zonas urbanas y rurales. [en línea] (Trabajo de fin de máster) (Maestría). Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Edificación, Innovación Tecnológica en Edificación. España. 2021. pp. 38-40. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <https://oa.upm.es/67851/>

LÓPEZ, E.; & MÉNDEZ, A. "Pérdidas de Carga en Tuberías". Mecanica de fluidos E.P.S de Ingenieria, [en línea], 2014, (España) 3(1), pp. 53-89. [Consulta: 13 enero 2023]. ISSN 111222. Disponible en: https://salvadorcobo.files.wordpress.com/2011/03/mf07_perdidasdecarra.pdf .

LOPEZ, R. Diseño Del Sistema De Abastecimiento De Agua Potable Para Las Comunidades Santa Fe Y Capachal, Píritu, Estado Anzoátegui. [en línea] (Trabajo de grado) (Ingeniería). Universidad de Oriente, Núcleo de Anzoategui, Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Departamento de Mecánica. Venezuela. 2009. pp. 65-67. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <https://www.udocz.com/apuntes/18727/tesis-dise-o-del-sistema-de-abastecimiento-de-agua-potable-para-las-comunidades-santa-fe-y-capachal--p-ritu--estado-anzo-tegui>.

MAC DONNELL, M. Producción, aplicación y beneficios de los extractos acuosos del compostaje (té de compost). [en línea] (Trabajo de grado) (Especialista). Universidad Nacional del Litoral, Facultad de Ciencias Agrarias, Especialistas en Cultivos. Argentina. 2018. p. 37. [Consulta: 15 enero 2023]. Disponible en: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/bitstream/handle/11185/1173/TFI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

MÁRQUEZ, P.; et al. "Factores que afectan el proceso de compostaje". Advanced Materials [en línea], 2017, (Alemania) 29(10), pp. 6-126 [Consulta: 28 diciembre 2022] ISSN 15214095. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/adma.201604105>. 2017.

MASABNI, J. & LILLARD, P. *Materiales para Compostar*. [en línea], 2010. [Consulta: 28 diciembre 2022]. Disponible en: <https://aggie-horticulture.tamu.edu/vegetable/files/2013/09/EHT-069S-composting.pdf>

MORENO, J. *Compostaje* [en línea]. Madrid - España: Mundi - Prensa 2008. [Consulta: 13 enero 2023]. Disponible en: https://books.google.com.pe/books?id=IWYJAQAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true.

MOSQUERA, U. *Transporexa - Transporte & Distribución*. [blog]. 2018. [Consulta: 14 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.transporexa.com/>.

MUÑOZ, M. "Procesamiento de materiales cerámicos fundidos: vidrio plano y lana de vidrio". UPV [en línea], 2011 (España) 2(1), pp. 7-8 [Consulta: 28 diciembre 2022]. Disponible en: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/146534/Muñoz - Procesamiento de materiales cerámicos fundidos%3A vidrio plano y lana de vidrio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/146534/Muñoz_-_Procesamiento_de_materiales_cerámicos_fundidos%3A_vidrio_plano_y_lana_de_vidrio.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

NEUGEBAUER, M.; et al. "A compost heating solution for a greenhouse in north-eastern Poland in fall". *Journal of Cleaner Production* [en línea], 2021(EE.UU.) 279(1), pp. 1-11. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 09596526. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0269-7483\(87\)90152-2](https://doi.org/10.1016/0269-7483(87)90152-2).

ORDOÑEZ, O. *Evaluación Del Recurso Eólico : Análisis De Las Características De Vortex Bladeless En Puerto Cortés* [en línea] (Trabajo de Titulación) (Ingeniería), Universidad Tecnológica Centroamerica, Campus sanPedro Sula, México. 2020. p. 60-63 [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://repositorio.unitec.edu.hn/xmlui/bitstream/handle/123456789/3313/21441270-septiembre2020-140-pg.pdf?sequence=1>

ORTIZ, M.; et al. "Capacidad calorífica". *Ingenio Y Conciencia Boletín Científico De La Escuela Superior Ciudad Sahagún* [en línea], 2018 (México) 5(9), p.2. [Consulta: 15 junio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.29057/ess.v5i9.2911>

PAUCAR, L.; & QUISPE, M. "Producción Y Evaluación De La Calidad Del Biogas Y Biol En Un Biodigestor Granja V . A . Velebit S . Ac . Ubicada En El Distrito De Luriganchos- Chosica" [en línea] (Trabajo de Titulación) (Ingeniería)(Biología), Universidad Nacional Agraria la Molina, Ciclo optativo de Especialización y Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría

Ambiental, Lima- Perú. 2015. p. 10-11. [Consulta: 28 diciembre 2022]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2153/P06-P3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PEÑA, H.; et al. "Parameter selection for the evaluation of compost quality". *Agronomy* [en línea], 2020 (Venezuela) 10(10), pp. 1-10. [Consulta: 28 diciembre 2022] ISSN 20734395. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101567>.

RADOJIČIĆ, D.; et al. "The simplified method for the assessment of the potential for thermal energy recovery from the manufacturing processes of mushrooms compost". *Sustainable Cities and Society* [en línea], 2017, (Serbia) 32(1), pp. 10-11. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 22106707. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.03.028>.

RAMÍREZ, H.G. Rediseño de las tuberías de vapor desde calderas hasta el cabezal de distribución, de una empresa productora y distribuidora de aceites y grasas comestibles. [en línea], (Trabajo de Titulación) (Ingeniería). Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica, Guatemala. 2011. pp.50-51 [Consulta: 5 marzo 2023]. Disponible en: <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/handle/123456789/796>.

SÁNCHEZ, A.; et al. "Caracterización Físico Química de Materiales Compostados a partir de Residuos Vegetales de los Mercados Municipales de la Ciudad de Mérida". *Sociedad Venezolana de la Ciencia del Suelo* [en línea], 2013, (Venezuela) 1(20), pp. 2-6. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISBN: 978-980-6300-94-1. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/305949690_CHARACTERIZACION_FISICO_QUIMICA_DE_MATERIALES_COMPOSTADOS_A_PARTIR_DE_RESIDUOS_VEGETALES_DE_LOS_MERCADOS_MUNICIPALES_DE_LA_CIUDAD_DE_MERIDA

SEGURA, Á.M.; et al. "Referentes mundiales en sistemas de gestión de residuos sólidos". *Revista Espacios* [en línea], 2020, (Colombia) 41(14), pp. 3-22. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 07981015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n17/a20v41n17p22.pdf>

SEKI, H.; & KOMORI, T. "Experiment of heat recovery from compost by a trial heat exchanger". *ISHS* [en línea], 2015, (Japón) 39(9), p.3. [Consulta: 21 enero 2023]. ISSN: 5677572. Disponible en: https://www.actahort.org/books/399/399_19.htm

SERRET-GUASCH, N.; et al. "Caracterización de aserrín de diferentes maderas". *Tecnología Química* [en línea], 2016, (Cuba) 36(3), pp. 1-3. [Consulta: 7 mayo 2022]. ISSN 2224-6185.

Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

SILVA, M.; & PILCO, S. Diseño y construcción de una trituradora para reciclaje de tanques de almacenamiento de agua de uso residencial (PET). [en línea], (Trabajo de Titulación) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, Riobamba - Ecuador. 2015. pp. 114 - 118 [Consulta: 7 mayo 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/14559/1/15T00739.pdf>

SMITH, M. Creating an economically viable, closed-system, energy-independent dairy farm through the on-farm production of animal bedding and heat capture from an aerated static pile heat recovery composting operation. [en línea], (Tesis) (Doctorado), University of New Hampshire, United States Department of Agriculture, Natural Resources and Environmental Studies, EE.UU. 2016. pp. 136-139. [Consulta: 28 diciembre 2022] Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/333812336_Creating_an_economically_viable_closed-system_energy-independent_dairy_farm_through_the_on-farm_production_of_animal_bedding_and_heat_capture_from_an_aerated_static_pile_heat_recovery_composting_opera

SMITH, M.; & ABER, J. "Energy recovery from commercial-scale composting as a novel waste management strategy". *Applied Energy* [en línea], 2018, (EE.UU.) 211(1), pp. 194-199. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 03062619. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.11.006>.

SMITH, M.; et al. "Heat Recovery from Composting: A Comprehensive Review of System Design, Recovery Rate, and Utilization". *Compost Science and Utilization* [en línea], 2017, (EE.U.) 25(1), pp. 11-22. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 1065657X. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/1065657X.2016.1233082>.

SUCASAIRE, A. "Evaluación de la temperatura durante la producción de compost a partir de residuos orgánico bajo un sistema cerrado y abierto puno". *Especies* [en línea], 2015, (Perú) 2(1), pp. 37-38. [Consulta: 6 enero 2023]. ISSN 2412-2224 Disponible en: https://issuu.com/bioscience6/docs/5_correccion_de_compost_luis_albert.

TIPAN, R. & YÁÑEZ, J. Modelo De Gestion De Residuos Solidos En Areas Rurales. [en línea], (Trabajo de Titulación) (Ingeniería), Escuela Politécnica Nacional, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Quito - Ecuador. 2011. pp. 11-70. [Consulta: 6 enero 2023]. Disponible en:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3896/1/CD-3674.pdf>

TORTAROLO, M.F.; et al. "Influencia de la inoculación de microorganismos sobre la temperatura en el proceso de compostaje". *Ciencia del Suelo* [en línea], 2008, (Argentina) 26(1), pp. 27-46. [Consulta: 6 enero 2023]. ISSN 03263169. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672008000100005#:~:text=Por%20los%20antecedentes%20presentados%20se,con%20los%20materiales%20no%20inoculados.

VALVERDE, V. Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el co-compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo cantón Colta, [en línea], (Trabajo de Titulación) (Ingeniería), Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ingeniería Química, Riobamba - Ecuador. 2015. pp. 18 - 125. [Consulta: 28 diciembre 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4861/1/96T00334%20UDCTFC.pdf>

VILLASMIL, W.; et al. "A review and evaluation of thermal insulation materials and methods for thermal energy storage systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], 2019, (Suiza) 103(1), pp. 71-84. [Consulta: 28 diciembre 2022]. ISSN 18790690. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.040>

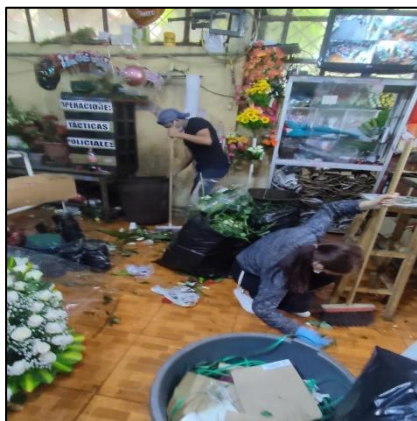
VIZCAÍNO, D.; & BETANCOURT, R. *Normativa General para Promover y Regular la Producción Orgánicaecológica -Biológica en el Ecuador*. Ecuador: Agrocalidad, 2013. p. 13.



ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE RESIDUOS DE FLORES

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022</p>	Recolección de Residuos de Flores		
<p>a. Recolección de residuos</p> <p>b. Limpieza de residuos</p> <p>c. Transporte de los residuos</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		1		1	1:1

ANEXO B: CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS

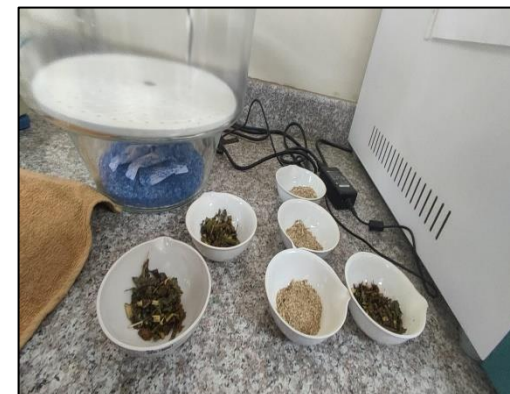
a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022</p>	Caracterización de muestras		
<p>a) Separación de las muestras b) Limpieza de las muestras c) Pesaje de las muestras</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
					2

ANEXO C: TRITURACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LAS FLORES

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022</p>			Trituración de la muestra		
<p>a) Selección de residuos</p> <p>b) Máquina trituradora</p> <p>c) Colocación de los residuos en la trituradora</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar						
		3	1:1	2022/07/11			

ANEXO D: ELABORACIÓN DE LA PILA DE COMPOSTAJE

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022</p>	Elaboración de la pila de compostaje		
<p>a) Separación de compostaje b) Agrupación del compostaje c) Pila de compostaje</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				
			4	1:1	2022/07/11

ANEXO E: VOLTEO DE LA PILA DE COMPOSTAJE

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022</p>	Volteo de la pila de compostaje		
<p>a) Pila de compostaje b) Volteo de compostaje c) Volteo de compostaje</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar				
			5	1:1	2022/07/11

ANEXO F: CONTROL DE DIFERENTES VARIABLES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

a)



b)



c)



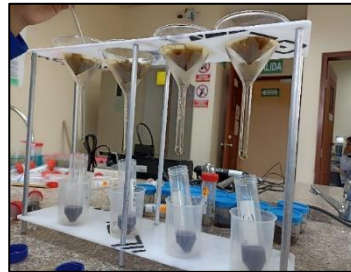
NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022</p>	Control de Diferentes Variables en el Proceso de Compostaje		
<p>a) Control de humedad b) Control de temperatura c) Riego en pila de compostaje</p>	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar		LÁMINA	ESCALA	FECHA
					6

ANEXO G: DIFERENTES ANÁLISIS DE LAS MUESTRAS

a)



b)



c)



d)



NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">Realizado por: Mena, S.; & Román, A., 2022</p>		
<p>a) Almacenamiento de muestras b) Filtración de muestras c) Extracción de muestras d) Muestras</p>	<p><input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Preliminar <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por aprobar <input type="checkbox"/> Información <input checked="" type="checkbox"/> Por calificar</p>	Diferentes análisis de Muestras		
		LÁMINA	ESCALA	FECHA
		6	1:1	2022/07/11

ANEXO H: DATOS OBTENIDOS EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

PILA: 70% flores; 15% aserrín; 15% estiércol codorniz							
Fecha	Hora	Tiempo (días)	T1	T2	T3	T4	Tm (°C)
24-jun-22	10:00 a. m.	0	46,5	40,3	23,3	50,8	45,9
25-jun-22	2:00 p.m.	1	39,8	37	23,3	44,3	40,4
26-jun-22	12:00 p. m.	2	40,5	42	23	30,8	37,8
27-jun-22	11:00 a. m.	3	43	34,3	22	32,7	36,7
28-jun-22	1:00 p.m.	4	39,8	35,3	22,5	34,8	36,6
29-jun-22	2:00 p.m.	5	34,8	40,2	22,5	30,5	35,2
30-jun-22	11:00 a.m.	6	33,5	42,5	22,3	33,6	36,5
1-jul-22	12:40 p.m.	7	48,1	31,8	23	46,8	42,2
2-jul-22	3:00 p. m.	8	53,5	49	24,3	34,5	45,7
3-jul-22	3:00 p. m.	9	50,1	50,3	23,8	41	47,1
4-jul-22	10:00 a.m.	10	48	48,9	25	50,3	49,1
5-jul-22	10:00 a.m.	11	59,8	44,5	24,3	49,5	51,3
6-jul-22	12:00 p. m.	12	59,9	55,7	24,5	48,6	54,7
7-jul-22	11:00 p. m.	13	55,3	54,2	21,5	53,1	54,2
8-jul-22	12:00 a. m.	14	51,8	48,2	22	58,1	52,7
9-jul-22	12:00 a. m.	15	51,3	46,9	23,2	54,9	51,0
10-jul-22	12:00 a. m.	16	50,9	42,5	24,5	46,2	46,5
11-jul-22	12:00 a. m.	17	50,5	40,1	23,8	35,9	42,2
12-jul-22	12:00 a. m.	18	50,8	40,7	22	30,5	40,7
13-jul-22	12:00 a. m.	19	50,8	44,8	23,1	50,8	48,8
14-jul-22	11:00 a.m.	20	44,3	44,8	24,5	47,5	45,5
15-jul-22	14:00 p.m.	21	43,6	43,5	24,1	46,3	44,5
16-jul-22	11:00 a.m.	22	44,7	42,8	23,5	44,7	44,1
17-jul-22	10:00 a.m.	23	43,5	40,6	22,5	43,1	42,4
18-jul-22	12:00 p.m.	24	41,6	37,1	22,3	40,1	39,6
19-jul-22	13:00 p.m.	25	48,9	44,1	20,3	46,8	46,6
20-jul-22	13:00 p.m.	26	50,6	53,9	20,2	50,6	51,7
21-jul-22	10:00 a. m.	27	50,7	48,6	19,6	53,9	51,1
22-jul-22	15:00 p.m.	28	48,9	45,9	18,5	48,9	47,9
23-jul-22	13:00 p.m.	29	43,5	40,2	19,1	42,1	41,9
24-jul-22	13:00 p.m.	30	42,1	34,9	18,5	40,3	39,1

25-jul-22	14:41 p.m.	31	37	34,8	20,5	35,2	35,7
26-jul-22	13:00 p.m.	32	40,2	32,7	22,8	30,3	34,4
27-jul-22	10:00 a. m.	33	39,1	27,6	23,1	34,3	33,7
28-jul-22	11:00 a. m.	34	42,7	32,1	22	39,1	38,0
29-jul-22	10:00 a. m.	35	42,3	30,7	23,5	39,6	37,5
30-jul-22	11:00 a. m.	36	41,8	35,2	22,6	29,4	35,5
31-jul-22	10:00 a. m.	37	40,9	33,9	24,5	28,5	34,4
1-ago-22	11:00 a. m.	38	40,8	35,2	23,3	30,9	35,6
2-ago-22	12:0 a.m.	39	40,5	44,3	24,3	35,8	40,2
3-ago-22	13:00 p.m.	40	57,5	41,5	22,9	39,3	46,1
4-ago-22	13:00 p.m.	41	59,5	54,5	22,5	36,3	50,1
5-ago-22	14:00 p.m.	42	54,8	57,8	23,2	38,8	50,5
6-ago-22	12:00 p. m.	43	53,4	48,6	22,6	37,8	46,6
7-ago-22	1:00 p. m.	44	53,2	43,7	23,2	38,5	45,1
8-ago-22	12:0 a.m.	45	52,7	43,1	22,5	28,9	41,6
9-ago-22	13:00 p.m.	43	52,3	42,8	23,5	39,3	44,8
10-ago-22	13:00 p.m.	47	50,8	45,5	22,8	37,5	44,6
11-ago-22	14:00 p.m.	48	51,3	45,8	22,5	38,2	45,1
12-ago-22	2:00 p. m.	49	50,7	46,1	21,2	35,7	44,2
13-ago-22	13:00 p.m.	50	51,3	46,3	19,5	33,8	43,8
14-ago-22	13:00 p.m.	51	50,6	45,3	20,1	34,2	43,4
15-ago-22	14:00 p.m.	52	50,7	44,8	19,6	37,9	44,5
16-ago-22	3:00 p. m.	53	50,5	44	20,3	39,8	44,8
17-ago-22	13:00 p.m.	54	49,2	44,2	20,1	37,6	43,7
18-ago-22	2:00 p. m.	55	47,6	40,4	20,2	37,5	41,8
19-ago-22	3:00 p. m.	56	44,3	39,8	20,3	37,5	40,5
20-ago-22	12:0 a.m.	57	41,5	34,8	19,5	34	36,8
21-ago-22	13:00 p.m.	58	39,2	35,1	18,6	32,1	35,5
22-ago-22	13:00 p.m.	59	37	35,3	17	30	34,1
23-ago-22	14:00 p.m.	60	52,8	47,8	16,8	40,8	47,1
24-ago-22	3:00 p. m.	61	54,6	48,5	19,6	41,2	48,1
25-ago-22	13:00 p.m.	62	57	49,8	20,5	47,3	51,4
26-ago-22	13:00 p.m.	63	56,4	51,2	20,3	42,2	49,9
27-ago-22	14:00 p.m.	64	55,5	50,1	22,4	42,7	49,4
28-ago-22	4:00 p. m.	65	56,9	44,8	21,4	42,9	48,2

29-ago-22	13:00 p.m.	66	56,3	46,3	20,8	43,5	48,7
30-ago-22	4:00 p. m.	67	56,8	46,5	20,3	43,5	48,9
31-ago-22	5:00 p. m.	68	55,6	45,2	20,9	43,6	48,1
1-sep-22	4:00 p. m.	69	55,4	46,8	21,1	42,9	48,4
2-sep-22	12:0 a.m.	70	54,4	45,4	20,6	41,7	47,2
3-sep-22	13:00 p.m.	71	54,1	45,9	22,3	41,5	47,2
4-sep-22	13:00 p.m.	72	53,7	46,5	21,8	41,2	47,1
5-sep-22	14:00 p.m.	73	52,1	46	20,3	40,3	46,1
6-sep-22	4:00 p. m.	74	50,3	44	18,8	40,5	44,9
7-sep-22	13:00 p.m.	75	48	42,3	19,1	41,1	43,8
8-sep-22	13:00 p.m.	76	47,5	40,3	20,5	41,3	43,0
9-sep-22	14:00 p.m.	77	44,2	39,7	19,7	38,1	40,7
10-sep-22	5:00 p. m.	78	40,8	38	18,5	28,5	35,8
11-sep-22	13:00 p.m.	79	39,1	36,8	17,4	26,1	34,0
12-sep-22	6:00 p. m.	80	37,2	34,6	16,9	26,2	32,7
13-sep-22	7:00 p. m.	81	36,5	30,5	18,3	28	31,7
14-sep-22	5:00 p. m.	82	34,7	28,9	17,6	28,1	30,6
15-sep-22	12:0 a.m.	83	32,1	28,7	16,2	34,2	31,7
16-sep-22	13:00 p.m.	84	34,1	27,3	17,8	33,5	31,6
17-sep-22	13:00 p.m.	85	35,7	28,7	19,1	29,2	31,2
18-sep-22	14:00 p.m.	86	38,4	35,9	17,6	30,8	35,0
19-sep-22	5:00 p. m.	87	41	39,8	14,8	31,4	37,4
20-sep-22	13:00 p.m.	88	44,3	42,8	15,1	33,8	40,3
21-sep-22	13:00 p.m.	89	54,3	46,5	16,5	38,5	46,4
22-sep-22	14:00 p.m.	90	55,1	48,2	17,2	42,2	48,5
23-sep-22	6:00 p. m.	91	55,2	47,8	18,1	43,1	48,7
24-sep-22	13:00 p.m.	92	53,6	49,8	17,6	44,6	49,3
25-sep-22	8:00 p. m.	93	52,8	50,1	15,9	45,8	49,6
26-sep-22	9:00 p. m.	94	52	50,8	16,5	48	50,3
27-sep-22	6:00 p. m.	95	51,7	49,3	17	47,2	49,4
28-sep-22	12:0 a.m.	96	51,5	48,5	18,5	46,3	48,8
29-sep-22	13:00 p.m.	97	51,4	47,9	17,9	45,6	48,3
30-sep-22	13:00 p.m.	98	51	47,5	17,5	44,8	47,8
1-oct-22	14:00 p.m.	99	50,7	47	16,9	44	47,2
2-oct-22	6:00 p. m.	100	50,1	46,7	16,6	43,5	46,8

3-oct-22	13:00 p.m.	101	49,3	46	16,3	40,8	45,4
4-oct-22	13:00 p.m.	102	47,3	45,4	15,2	38,4	43,7
5-oct-22	14:00 p.m.	103	46	44,2	15	37,5	42,6
6-oct-22	7:00 p. m.	104	45,7	43,6	16	36,2	41,8
7-oct-22	13:00 p.m.	105	44,1	43	16,2	35,3	40,8
8-oct-22	12:0 a.m.	106	43,5	42,9	16	34,2	40,2
9-oct-22	13:00 p.m.	107	42	41,1	16	33,1	38,7
10-oct-22	13:00 p.m.	108	41,8	40,3	16	30,4	37,5
11-oct-22	14:00 p.m.	109	38,8	34,2	16	28,3	33,8
12-oct-22	7:00 p. m.	110	34,6	32,3	16	27,8	31,6
13-oct-22	13:00 p.m.	111	31	29,2	15,2	27,1	29,1
14-oct-22	13:00 p.m.	112	29,5	27,5	16	26	27,7
15-oct-22	14:00 p.m.	113	31,7	28,4	16	27,3	29,1
16-oct-22	8:00 p. m.	114	33	29,2	16,2	28,1	30,1
17-oct-22	13:00 p.m.	115	37,6	33,5	17	33,6	34,9
18-oct-22	12:0 a.m.	116	39,9	36,2	16,2	35,9	37,3
19-oct-22	13:00 p.m.	117	40,3	39,4	16	37,5	38,2
20-oct-22	13:00 p.m.	118	44,6	43,5	16	38,6	40,7
21-oct-22	14:00 p.m.	119	44,7	43,4	15,2	38,7	40,8
22-oct-22	8:00 p. m.	120	39,7	40,6	16	39,6	41,6
23-oct-22	13:00 p.m.	121	44,6	43,5	16	38,6	42,3
24-oct-22	13:00 p.m.	122	43,2	42,1	15,2	36,7	39,5
25-oct-22	14:00 p.m.	123	36,5	31	16	35,1	36,9
26-oct-22	9:00 p. m.	124	35,2	32	16	28,3	34,5
27-oct-22	13:00 p.m.	125	35	30,8	15,8	27,9	31,7
28-oct-22	12:0 a.m.	126	34,6	29,4	15	27,1	30,6
29-oct-22	13:00 p.m.	127	34	29,3	15	26,9	30,4
30-oct-22	13:00 p.m.	128	33,2	28,5	14,9	26,5	29,9
31-oct-22	14:00 p.m.	129	32	28,1	14,5	29,6	30,6
1-nov-22	9:00 p. m.	130	33,2	29,3	15,2	32,1	31,5
2-nov-22	13:00 p.m.	131	34,6	30,8	15,5	33,7	32,2
3-nov-22	13:00 p.m.	132	35,5	30,9	16,8	33,9	32,7
4-nov-22	13:00 p.m.	133	35,4	31,6	16,8	34,1	33,4

Realizado por: Mena. S.; & Román A., 2022

ANEXO I: DATOS OBTENIDOS DE LA PILA DE COMPOSTAJE

PILA: 70% flores; 15% aserrín; 15% estiércol codorniz				
Fecha	Hora	Tiempo (días)	T salida de agua (tubo de cobre)	s (°C)
24-jun-22	10:00 a. m.	0	25,7	
25-jun-22	2:00 p.m.	1	24,3	9,0
26-jun-22	12:00 p. m.	2	22,5	8,9
27-jun-22	11:00 a. m.	3	22,7	8,6
28-jun-22	1:00 p.m.	4	22,0	7,4
29-jun-22	2:00 p.m.	5	19,4	7,5
30-jun-22	11:00 a.m.	6	19,0	8,3
1-jul-22	12:40 p.m.	7	27,2	12,1
2-jul-22	3:00 p. m.	8	26,3	13,4
3-jul-22	3:00 p. m.	9	25,3	12,4
4-jul-22	10:00 a.m.	10	25,3	12,1
5-jul-22	10:00 a.m.	11	25,6	14,9
6-jul-22	12:00 p. m.	12	22,0	15,8
7-jul-22	11:00 p. m.	13	21,5	16,4
8-jul-22	12:00 a. m.	14	24,1	15,9
9-jul-22	12:00 a. m.	15	22,0	14,3
10-jul-22	12:00 a. m.	16	20,0	11,5
11-jul-22	12:00 a. m.	17	21,4	11,0
12-jul-22	12:00 a. m.	18	20,0	12,5
13-jul-22	12:00 a. m.	19	25,6	13,2
14-jul-22	11:00 a.m.	20	26,1	10,6
15-jul-22	14:00 p.m.	21	25,7	10,3
16-jul-22	11:00 a.m.	22	21,7	10,3
17-jul-22	10:00 a.m.	23	22,4	10,0
18-jul-22	12:00 p.m.	24	20,0	8,9
19-jul-22	13:00 p.m.	25	23,6	13,3
20-jul-22	13:00 p.m.	26	23,5	15,8
21-jul-22	10:00 a. m.	27	22,5	15,9
22-jul-22	15:00 p.m.	28	22,4	14,8
23-jul-22	13:00 p.m.	29	21,8	11,5
24-jul-22	13:00 p.m.	30	21,7	10,7

25-jul-22	14:41 p.m.	31	20,5	7,6
26-jul-22	13:00 p.m.	32	21,0	7,2
27-jul-22	10:00 a. m.	33	20,0	7,1
28-jul-22	11:00 a. m.	34	22,6	9,1
29-jul-22	10:00 a. m.	35	21,4	8,6
30-jul-22	11:00 a. m.	36	19,5	8,2
31-jul-22	10:00 a. m.	37	19,0	7,1
1-ago-22	11:00 a. m.	38	19,7	7,4
2-ago-22	12:0 a.m.	39	21,7	8,7
3-ago-22	13:00 p.m.	40	22,1	14,2
4-ago-22	13:00 p.m.	41	22,3	17,0
5-ago-22	14:00 p.m.	42	21,9	16,0
6-ago-22	12:00 p. m.	43	21,2	13,7
7-ago-22	1:00 p. m.	44	20,6	12,5
8-ago-22	12:0 a.m.	45	19,7	13,7
9-ago-22	13:00 p.m.	43	19,3	12,0
10-ago-22	13:00 p.m.	47	19,1	12,2
11-ago-22	14:00 p.m.	48	20,2	12,5
12-ago-22	2:00 p. m.	49	21,5	13,1
13-ago-22	13:00 p.m.	50	23,3	14,2
14-ago-22	13:00 p.m.	51	22,3	13,5
15-ago-22	14:00 p.m.	52	21,1	13,5
16-ago-22	3:00 p. m.	53	18,5	13,0
17-ago-22	13:00 p.m.	54	19,7	12,7
18-ago-22	2:00 p. m.	55	19,5	11,6
19-ago-22	3:00 p. m.	56	19,3	10,5
20-ago-22	12:0 a.m.	57	17,5	9,3
21-ago-22	13:00 p.m.	58	18,3	8,9
22-ago-22	13:00 p.m.	59	17,5	9,1
23-ago-22	14:00 p.m.	60	17,3	15,9
24-ago-22	3:00 p. m.	61	19,5	15,3
25-ago-22	13:00 p.m.	62	18,5	16,0
26-ago-22	13:00 p.m.	63	19,3	15,9
27-ago-22	14:00 p.m.	64	20,0	14,5
28-ago-22	4:00 p. m.	65	19,6	14,8

29-ago-22	13:00 p.m.	66	20,0	15,0
30-ago-22	4:00 p. m.	67	18,3	15,4
31-ago-22	5:00 p. m.	68	19,0	16,0
1-sep-22	4:00 p. m.	69	20,0	14,6
2-sep-22	12:0 a.m.	70	19,2	14,3
3-sep-22	13:00 p.m.	71	18,6	13,5
4-sep-22	13:00 p.m.	72	19,7	13,7
5-sep-22	14:00 p.m.	73	20,2	13,8
6-sep-22	4:00 p. m.	74	19,1	13,7
7-sep-22	13:00 p.m.	75	18,3	12,7
8-sep-22	13:00 p.m.	76	20,9	11,7
9-sep-22	14:00 p.m.	77	20,7	10,8
10-sep-22	5:00 p. m.	78	21,8	10,1
11-sep-22	13:00 p.m.	79	21,4	10,0
12-sep-22	6:00 p. m.	80	19,8	9,2
13-sep-22	7:00 p. m.	81	20,9	7,6
14-sep-22	5:00 p. m.	82	21,3	7,1
15-sep-22	12:0 a.m.	83	19,3	8,1
16-sep-22	13:00 p.m.	84	20,1	7,6
17-sep-22	13:00 p.m.	85	19,4	6,8
18-sep-22	14:00 p.m.	86	19,8	9,3
19-sep-22	5:00 p. m.	87	19,5	12,1
20-sep-22	13:00 p.m.	88	19,6	13,4
21-sep-22	13:00 p.m.	89	20,0	16,3
22-sep-22	14:00 p.m.	90	21,1	16,5
23-sep-22	6:00 p. m.	91	20,6	16,1
24-sep-22	13:00 p.m.	92	19,5	16,3
25-sep-22	8:00 p. m.	93	18,6	17,1
26-sep-22	9:00 p. m.	94	17,5	17,0
27-sep-22	6:00 p. m.	95	19,3	16,3
28-sep-22	12:0 a.m.	96	19,0	15,3
29-sep-22	13:00 p.m.	97	18,3	15,4
30-sep-22	13:00 p.m.	98	18,0	15,3
1-oct-22	14:00 p.m.	99	19,0	15,4
2-oct-22	6:00 p. m.	100	20,0	15,3

3-oct-22	13:00 p.m.	101	22,0	14,9
4-oct-22	13:00 p.m.	102	18,0	14,8
5-oct-22	14:00 p.m.	103	17,3	14,3
6-oct-22	7:00 p. m.	104	18,5	13,5
7-oct-22	13:00 p.m.	105	19,0	12,9
8-oct-22	12:0 a.m.	106	20,0	12,8
9-oct-22	13:00 p.m.	107	18,5	12,1
10-oct-22	13:00 p.m.	108	19,0	11,9
11-oct-22	14:00 p.m.	109	17,5	9,9
12-oct-22	7:00 p. m.	110	17,0	8,3
13-oct-22	13:00 p.m.	111	17,0	7,1
14-oct-22	13:00 p.m.	112	18,3	6,0
15-oct-22	14:00 p.m.	113	19,0	6,8
16-oct-22	8:00 p. m.	114	18,5	7,3
17-oct-22	13:00 p.m.	115	18,0	9,2
18-oct-22	12:0 a.m.	116	19,3	10,7
19-oct-22	13:00 p.m.	117	19,4	11,6
20-oct-22	13:00 p.m.	118	19,6	13,4
21-oct-22	14:00 p.m.	119	19,6	13,8
22-oct-22	8:00 p. m.	120	19,8	12,0
23-oct-22	13:00 p.m.	121	20,1	13,4
24-oct-22	13:00 p.m.	122	20,0	13,0
25-oct-22	14:00 p.m.	123	19,4	9,4
26-oct-22	9:00 p. m.	124	19,3	8,4
27-oct-22	13:00 p.m.	125	19,1	8,2
28-oct-22	12:0 a.m.	126	18,6	8,3
29-oct-22	13:00 p.m.	127	18,5	8,1
30-oct-22	13:00 p.m.	128	18,1	7,8
31-oct-22	14:00 p.m.	129	18,1	7,9
1-nov-22	9:00 p. m.	130	18,2	8,3
2-nov-22	13:00 p.m.	131	18,3	8,9
3-nov-22	13:00 p.m.	132	18,2	8,5
4-nov-22	13:00 p.m.	133	18,4	8,6

Realizado por: Mena. S.; & Román A., 2022

ANEXO J: DATOS OBTENIDOS EN LA PILA DE COMPOSTAJE

PILA: 70% flores; 15% aserrín; 15% estiércol codorniz					
Fecha	Hora	Tiempo (días)	T Ambiental (°C)	H. Ambiental (%)	Q (kWh/kg)
24-jun-22	10:00 a. m.	0	14	60,5	0,05
25-jun-22	2:00 p.m.	1	15	61,3	0,04
26-jun-22	12:00 p. m.	2	15	60,3	0,03
27-jun-22	11:00 a. m.	3	17	65,5	0,03
28-jun-22	1:00 p.m.	4	17	67,8	0,02
29-jun-22	2:00 p.m.	5	16	58,3	0,02
30-jun-22	11:00 a.m.	6	16	50,1	0,01
1-jul-22	12:40 p.m.	7	17	62,4	0,05
2-jul-22	3:00 p. m.	8	15	55,7	0,05
3-jul-22	3:00 p. m.	9	16	67,9	0,04
4-jul-22	10:00 a.m.	10	17	59,7	0,04
5-jul-22	10:00 a.m.	11	16	71,2	0,04
6-jul-22	12:00 p. m.	12	17	77,6	0,02
7-jul-22	11:00 p. m.	13	16	51,1	0,02
8-jul-22	12:00 a. m.	14	15	63	0,04
9-jul-22	12:00 a. m.	15	15	65,4	0,03
10-jul-22	12:00 a. m.	16	14	61,4	0,03
11-jul-22	12:00 a. m.	17	15	58,1	0,03
12-jul-22	12:00 a. m.	18	16	60,9	0,02
13-jul-22	12:00 a. m.	19	15	74,3	0,05
14-jul-22	11:00 a.m.	20	16	55,7	0,05
15-jul-22	14:00 p.m.	21	16	62,5	0,04
16-jul-22	11:00 a.m.	22	15	66,3	0,03
17-jul-22	10:00 a.m.	23	15	71,2	0,03
18-jul-22	12:00 p.m.	24	15	61,1	0,02
19-jul-22	13:00 p.m.	25	17	54,6	0,03
20-jul-22	13:00 p.m.	26	16	63,4	0,03
21-jul-22	10:00 a. m.	27	17	59,2	0,02
22-jul-22	15:00 p.m.	28	16	66,1	0,03
23-jul-22	13:00 p.m.	29	17	53,6	0,02
24-jul-22	13:00 p.m.	30	16	62,1	0,03

25-jul-22	14:41 p.m.	31	15	74,5	0,02
26-jul-22	13:00 p.m.	32	14	57,1	0,03
27-jul-22	10:00 a. m.	33	15	60,3	0,02
28-jul-22	11:00 a. m.	34	17	62,2	0,03
29-jul-22	10:00 a. m.	35	16	55,9	0,02
30-jul-22	11:00 a. m.	36	15	56,2	0,02
31-jul-22	10:00 a. m.	37	14	70,2	0,02
1-ago-22	11:00 a. m.	38	15	62,4	0,02
2-ago-22	12:0 a.m.	39	15	54,5	0,03
3-ago-22	13:00 p.m.	40	16	58,2	0,03
4-ago-22	13:00 p.m.	41	17	66,2	0,02
5-ago-22	14:00 p.m.	42	16	57,6	0,03
6-ago-22	12:00 p. m.	43	15	50,4	0,03
7-ago-22	1:00 p. m.	44	14	42,2	0,03
8-ago-22	12:0 a.m.	45	15	53,9	0,02
9-ago-22	13:00 p.m.	43	14	66,3	0,02
10-ago-22	13:00 p.m.	47	13	69,1	0,03
11-ago-22	14:00 p.m.	48	15	51,5	0,02
12-ago-22	2:00 p. m.	49	17	58,2	0,02
13-ago-22	13:00 p.m.	50	17	41,6	0,03
14-ago-22	13:00 p.m.	51	16	54,3	0,03
15-ago-22	14:00 p.m.	52	16	43,2	0,02
16-ago-22	3:00 p. m.	53	15	55,1	0,02
17-ago-22	13:00 p.m.	54	16	55,3	0,02
18-ago-22	2:00 p. m.	55	14	57,2	0,02
19-ago-22	3:00 p. m.	56	15	48,2	0,02
20-ago-22	12:0 a.m.	57	12	74,6	0,02
21-ago-22	13:00 p.m.	58	13	57,3	0,02
22-ago-22	13:00 p.m.	59	12	63,8	0,02
23-ago-22	14:00 p.m.	60	13	45,4	0,02
24-ago-22	3:00 p. m.	61	15	54,6	0,02
25-ago-22	13:00 p.m.	62	14	56,2	0,02
26-ago-22	13:00 p.m.	63	14	70,2	0,02
27-ago-22	14:00 p.m.	64	15	62,4	0,02
28-ago-22	4:00 p. m.	65	16	54,5	0,02

29-ago-22	13:00 p.m.	66	15	61,9	0,02
30-ago-22	4:00 p. m.	67	13	66,2	0,02
31-ago-22	5:00 p. m.	68	14	56,7	0,02
1-sep-22	4:00 p. m.	69	15	50,4	0,02
2-sep-22	12:0 a.m.	70	14	42,2	0,02
3-sep-22	13:00 p.m.	71	15	56,1	0,02
4-sep-22	13:00 p.m.	72	14	66,3	0,03
5-sep-22	14:00 p.m.	73	15	69,1	0,02
6-sep-22	4:00 p. m.	74	14	43,9	0,02
7-sep-22	13:00 p.m.	75	13	58,2	0,02
8-sep-22	13:00 p.m.	76	15	30,3	0,03
9-sep-22	14:00 p.m.	77	17	54,3	0,02
10-sep-22	5:00 p. m.	78	17	43,2	0,02
11-sep-22	13:00 p.m.	79	16	55,1	0,02
12-sep-22	6:00 p. m.	80	14	50,7	0,03
13-sep-22	7:00 p. m.	81	15	57,2	0,03
14-sep-22	5:00 p. m.	82	17	51,5	0,02
15-sep-22	12:0 a.m.	83	16	58,2	0,01
16-sep-22	13:00 p.m.	84	15	41,6	0,02
17-sep-22	13:00 p.m.	85	14	54,3	0,02
18-sep-22	14:00 p.m.	86	15	53,9	0,02
19-sep-22	5:00 p. m.	87	15	55,3	0,02
20-sep-22	13:00 p.m.	88	16	52,3	0,02
21-sep-22	13:00 p.m.	89	17	40,3	0,01
22-sep-22	14:00 p.m.	90	16	45,5	0,02
23-sep-22	6:00 p. m.	91	15	41,2	0,03
24-sep-22	13:00 p.m.	92	14	55,3	0,02
25-sep-22	8:00 p. m.	93	15	54,6	0,02
26-sep-22	9:00 p. m.	94	14	60,3	0,02
27-sep-22	6:00 p. m.	95	15	55,7	0,02
28-sep-22	12:0 a.m.	96	14	44,8	0,02
29-sep-22	13:00 p.m.	97	14	49,6	0,02
30-sep-22	13:00 p.m.	98	13	50,2	0,02
1-oct-22	14:00 p.m.	99	14	61,1	0,02
2-oct-22	6:00 p. m.	100	15	54,6	0,02

3-oct-22	13:00 p.m.	101	16	49,6	0,03
4-oct-22	13:00 p.m.	102	14	53,4	0,02
5-oct-22	14:00 p.m.	103	13	40,4	0,02
6-oct-22	7:00 p. m.	104	13	53,6	0,02
7-oct-22	13:00 p.m.	105	14	52,1	0,02
8-oct-22	12:0 a.m.	106	15	43,4	0,02
9-oct-22	13:00 p.m.	107	13	59,8	0,02
10-oct-22	13:00 p.m.	108	16	50,7	0,01
11-oct-22	14:00 p.m.	109	14	51,2	0,02
12-oct-22	7:00 p. m.	110	14	65,0	0,01
13-oct-22	13:00 p.m.	111	14	65,4	0,01
14-oct-22	13:00 p.m.	112	15	65,9	0,01
15-oct-22	14:00 p.m.	113	14	66,4	0,02
16-oct-22	8:00 p. m.	114	13	66,8	0,02
17-oct-22	13:00 p.m.	115	14	51,1	0,02
18-oct-22	12:0 a.m.	116	14	43,4	0,02
19-oct-22	13:00 p.m.	117	15	59,8	0,02
20-oct-22	13:00 p.m.	118	13	50,7	0,03
21-oct-22	14:00 p.m.	119	16	51,2	0,02
22-oct-22	8:00 p. m.	120	14	65,0	0,03
23-oct-22	13:00 p.m.	121	14	65,4	0,03
24-oct-22	13:00 p.m.	122	14	65,9	0,03
25-oct-22	14:00 p.m.	123	15	66,4	0,02
26-oct-22	9:00 p. m.	124	14	66,8	0,02
27-oct-22	13:00 p.m.	125	13	51,1	0,03
28-oct-22	12:0 a.m.	126	14	43,4	0,02
29-oct-22	13:00 p.m.	127	15	59,8	0,02
30-oct-22	13:00 p.m.	128	14	50,7	0,02
31-oct-22	14:00 p.m.	129	13	51,2	0,02
1-nov-22	9:00 p. m.	130	14	65,0	0,02
2-nov-22	13:00 p.m.	131	14	65,4	0,02
3-nov-22	13:00 p.m.	132	15	65,9	0,01
4-nov-22	13:00 p.m.	133	16	66,4	0,01

Realizado por: Mena. S.; & Román A., 2022



esPOCH

Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 07 / 07 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: SAMANTHA BELEN MENA MALDONADO JORGE ANDRÉS ROMÁN HIDALGO
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: CIENCIAS
Carrera: INGENIERÍA QUÍMICA
Título a optar: INGENIERA/O QUÍMICA/O
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. Rafael Inty Salto Hidalgo

1091-DBRA-UPT-2023

