



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

Diseño de una planta de tratamiento de compostaje en pilas estáticas por aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

SILVANA PAOLA OCAÑA COELLO

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo, presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH, como requisito parcial para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA QUÍMICA APLICADA

RIOBAMBA - ECUADOR

JUNIO 2022

©2022, Silvana Paola Ocaña Coello

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



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DE TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, titulado **Diseño de una planta de tratamiento de compostaje en pilas estáticas por aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo**, de responsabilidad de la señora **Silvana Paola Ocaña Coello** ha sido prolijamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Juan Carlos González García; Ph.D.

PRESIDENTE

Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán; Ph. D.

DIRECTOR

Dr. Julio César Idrovo Novillo; Ph. D.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán; Mag.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Riobamba, Junio 2022

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Silvana Paola Ocaña Coello, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

SILVANA PAOLA OCAÑA COELLO

1719312017

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Silvana Paola Ocaña Coello declaro que el presente proyecto de investigación y desarrollo es de mi autoría, los resultados del mismo son auténticos y originales. Además, los textos que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este proyecto de investigación de maestría.

SILVANA PAOLA OCAÑA COELLO

CÉDULA 1719312017

DEDICATORIA

A nuestro padre Dios quien me concede vida, salud y amor para cumplir con mis metas trazadas, a mis padres Jorge y Fabiola por la vida y por su apoyo incondicional; a mi motor de vida mi querida familia Angel, Sebastián, Stefany y Aaron quienes son el pilar fundamental en cada paso que doy. Gracias infinitas por siempre estar presente en mis objetivos, por su apoyo incondicional y su amor sincero.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento sincero a Dios por permitirme cumplir cada objetivo planteado, a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y el Instituto de Posgrado y Educación Continua por permitirme formar parte de la segunda Cohorte de la Maestría en Ingeniería Química Aplicada y de esta manera seguir actualizando mis conocimientos y formarme en el ámbito profesional y científico.

A mis queridos miembros del tribunal Dra. Irene del Carmen Gavilanes Terán; PhD. Directora; Dr. Julio César Idrovo Novillo; PhD y Dra. Lourdes Cumandá Carrera Beltrán; Mag. Miembros; por su apoyo incondicional, por brindarme sus conocimientos y su guía teórica, científica y experimental para el desarrollo eficiente y eficaz de mi trabajo de titulación.

CONTENIDO

RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema de Investigación	1
1.1.1 Situación Problemática	1
1.1.2 Formulación del problema	2
1.1.3 Problemas Específicos	2
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Objetivos de la investigación	4
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos Específicos	5
1.4 Hipótesis	5
1.4.1 Hipótesis General	5
1.4.2 Hipótesis Específicas	5
CAPÍTULO II	6
2 MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la Investigación	6
2.2 Bases teóricas	7
2.2.1 Marco Legal para el uso del compost en la actividad agrícola	7
2.2.2 Alternativas de aprovechamiento	8
2.2.3 El ciclo de materia orgánica	9
2.2.4 Compostaje	9
2.2.5 Parámetros a considerar en las actividades de los microorganismos	10
2.2.6 Cocompostaje	10
2.2.7 Fases del proceso de compostaje	11
2.2.7.1 Etapa de descomposición	11
2.2.7.2 Etapa de maduración	12
2.2.8 Parámetros de seguimiento	13
2.2.8.1 Temperatura	13
2.2.8.2 Humedad	14
2.2.8.3 pH	14
2.2.8.4 Aireación	15

2.2.8.5	Espacio de aire libre	15
2.2.8.6	Relaciones C/N y C/P	16
2.2.8.7	Pautas iniciales de diseño	17
2.2.9	Desarrollo del proceso de compostaje	17
2.2.10	Biorremediación	18
2.2.11	Materia orgánica	19
2.2.12	Medio Ambiente	19
2.2.13	Nutrientes	19
2.2.14	La pila de compostaje	20
2.2.15	Residuo sólido orgánico	20
2.2.16	Tipos de materiales	21
2.2.16.1	Residuos de baja degradabilidad (RBD)	21
2.2.16.2	Residuos de alta degradabilidad (RAD)	21
2.2.17	Reutilización	21
2.2.18	Reciclado	22
2.2.19	Valorización	22
2.2.20	Vectores contaminantes	22
2.2.21	Vermicompostaje	23
2.2.22	Digestión anaeróbica	23
2.2.23	Tratamiento térmico	23
2.2.24	Capacidad biofertilizante del compost: Agentes promotores del crecimiento vegetal	24
2.2.25	Supresividad	24
2.2.26	Definición de sustrato	24
2.2.27	La fertilidad de los composts	26
2.2.28	Materiales complementarios	26
2.2.29	Los estructurantes y sus características	27
2.2.30	Otros materiales complementarios	28
	CAPÍTULO III	30
3	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	30
3.1	Metodología	30
3.1.1	Tipo y Diseño de la Investigación	30
3.1.2	Método de investigación	30
3.2	Enfoque de la investigación	31

3.3	Identificación de las variables	31
3.3.1	Variable dependiente	31
3.3.2	Variable independiente	31
3.3.3	Operacionalización de variables	32
3.3.4	Matriz de consistencia	33
3.4	Población de estudio	34
3.5	Unidad de análisis	34
3.6	Selección de la muestra	34
3.7	Tamaño de la muestra	34
3.8	Técnica de recolección de datos	36
3.9	Datos	36
CAPÍTULO IV		38
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1	Diseño de sistema de tratamiento	38
4.2	Consideraciones generales de diseño	38
4.2.1	Emplazamiento	38
4.2.2	Condiciones de trabajo	38
4.2.3	Vías de acceso	39
4.2.4	Capacidad de la planta	39
4.2.5	Emisión de olores	39
4.2.6	Infraestructura mínima de la instalación	41
4.2.7	Etapas- operaciones	41
4.2.7.1	Recepción y almacenamiento de los materiales	41
4.2.7.2	Alternativas tecnológicas	42
4.2.7.3	Parámetros de diseño que deben concretarse	44
4.2.7.4	Pretratamiento: mezcla u homogeneización	46
4.2.7.5	Etapa de descomposición	48
4.2.7.6	Etapa de maduración	52
4.2.7.7	Postratamiento	53
4.2.7.8	Almacenamiento de compost y operaciones complementarias	54
4.2.7.9	Instalaciones y equipos complementarios	54
4.2.7.10	Edificios	54
4.2.7.11	Zona perimetral	55
4.2.7.12	Los lixiviados	55

4.2.7.13	Sistemas de tratamiento de gases	56
4.2.7.14	Sistemas de eliminación de polvo	57
4.2.7.15	Instalaciones contra incendios	57
4.2.7.16	Estación meteorológica	57
4.3	Cálculos	58
4.3.1	Datos	58
4.3.2	Cálculo de la cantidad de sustrato tratado	58
4.3.3	Cálculo de la cantidad de la cantidad de agua a remover de la mezcla de materiales	58
4.3.4	Cálculo de la cantidad de la cantidad de aire necesario para remover la humedad	59
4.3.5	Cálculo del flujo de aire requerido para remover la humedad	61
4.3.6	Selección del ventilador	62
4.3.7	Determinación del tiempo de operación del ventilador (Top)	63
4.3.8	Cálculo del sistema de tuberías	63
4.3.9	Cálculo del caudal y área de sección transversal de las tuberías 1 y 2	63
4.3.10	Cálculo del caudal en cada rama	66
4.3.11	Determinación de la velocidad de salida en cada rama	67
4.3.12	Cálculo del diámetro y espaciamiento de los orificios en las secciones longitudinales de las tuberías	67
4.3.13	Selección trituradora	68
4.3.14	Selección tamizador	68
4.3.15	Selección máquina de coser sacos	69
4.3.16	Selección balanza	69
	CAPÍTULO V	71
	5 PROPUESTA	71
	CONCLUSIONES	75
	RECOMENDACIONES	76
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clases de compost según el contenido de metales pesados	8
Tabla 2-2:	Lista de materiales compostables, clasificados según su biodegradabilidad	21
Tabla 3-2:	Características de diferentes estructurantes	27
Tabla 4-2:	Proporción volumétrica mínima aceptable de estructurante para el dimensionamiento	28
Tabla 5-2:	Materiales complementarios, los parámetros sobre los que actúan y el sentido de actuación	28
Tabla 1-3:	Operacionalización de variables	32
Tabla 2-3:	Matriz de consistencia	33
Tabla 3-3:	Resultados de la generación de residuos en la ESPOCH destinados al vertedero	35
Tabla 4-3	Resultados de la generación de residuos sólidos orgánicos en la ESPOCH destinados al vertedero	35
Tabla 5-3	Resultados de la generación de residuos sólidos orgánicos en la los bares ESPOCH	35
Tabla 6-3	Análisis de contenido de carbono orgánico total y nitrógeno	36
Tabla 7-3	Parámetros que se analizan en el laboratorio de la ESPOCH	36
Tabla 8-3	Parámetros que se analizan en el laboratorio de la UMH	37
Tabla 1-4	Datos meteorológicos promedio para estudios preliminares de posibles impactos de olor de los últimos seis meses	40
Tabla 2-4	Capacidad de tratamiento nominal	44
Tabla 3-4	Duración y capacidad máximas del almacenamiento temporal	44
Tabla 4-4	Caracterización inicial de los residuos sólidos orgánicos	45
Tabla 5-4	Variables esenciales del proceso de compostaje y rango de características óptimas de los materiales o mezclas que se han de compostar	47
Tabla 6-4	Recomendaciones americanas sobre la temperatura y duración mínima	49
Tabla 7-4	Duración de etapas de descomposición	49
Tabla 8-4	Datos considerados para cálculos	59
Tabla 9-4	Características del ventilador	64
Tabla 10-4	Datos adicionales para cálculos del sistema de tuberías	65
Tabla 11-4	Distribución de los orificios a lo largo de la tubería	69

Tabla 12-4	Características del triturador	70
Tabla 13-4	Características tamiz trommel	70
Tabla 14-4	Características máquina para coser sacos	71
Tabla 15-4	Selección balanza	71
Tabla 1-5	Resultados del dimensionamiento del sistema de aireación	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2:	Parámetros principales	9
Figura 2-2:	Proceso de compostaje	10
Figura 3-2:	Evolución de la temperatura y la proporción de microorganismos a lo largo del proceso de compostaje	12
Figura 1-4:	Etapas del compostaje	42
Figura 2-4:	Formas de apilamiento	51
Figura 3-4:	Sistema de aireación forzada	53
Figura 4-4:	Sistema de tuberías	70
Figura 1-5:	Planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos	73
Figura 2-5:	Diagrama de flujo del proceso de compostaje	74
Figura 3-5:	Plano arquitectónico de la Planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos	75

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A:	Guía de gestión de olores para la planta de tratamientos
ANEXO B:	Clasificación Estadística de Residuos (Códigos CER)
ANEXO C:	Manual de explotación y el plan de seguridad específico
ANEXO D:	Dimensiones de una pila de compostaje
ANEXO E:	Parámetros óptimos de temperatura
ANEXO F:	Parámetros óptimos de pH
ANEXO G:	Relación C: N de algunos materiales usados en el compostaje.
ANEXO H:	Parámetros de estabilidad y madurez del compost
ANEXO I:	Tabla de propiedades del aire a 1 atm de presión
ANEXO J:	Tabla valores típicos de coeficientes de rugosidad
ANEXO K:	Tabla de coeficientes L/D en pérdidas singulares
ANEXO L:	Principales ensayos a realizar en el proceso de compostaje

RESUMEN

El objetivo de esta investigación fue diseñar una planta de tratamiento de compostaje en pilas estáticas por aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Para ello se realizó un diagnóstico de la situación actual en la gestión de residuos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, además, por medio del cálculo ingenieril se estableció los parámetros de diseño y los diferentes análisis de control de las características físico-químicas, químicas, biológicas del proceso de compostaje. Los resultados reflejan cada una de las etapas a implementarse en la planta acorde a los datos iniciales que se reportan de acuerdo al volumen de desechos sólidos orgánicos promedios. Las consideraciones generales de diseño que incluyen el emplazamiento, las vías de acceso, recepción y almacenamiento de los materiales, pretratamiento: mezcla u homogeneización, etapa de descomposición, etapa de maduración, pos tratamiento, almacenamiento de compost. La propuesta indica una alternativa que permite la valorización de los recursos que se considerarían basura y que se pueden reaprovechar en la búsqueda de una alternativa amigable con el ambiente como una solución efectiva para la mejora continua en la producción de alimentos más saludables.

Palabras claves: INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA, RESIDUOS SÓLIDOS, PLANTA DE TRATAMIENTO, COMPOST, PILAS ESTÁTICAS, COMPOSTAJE.

LUIS
ALBERTO
CAMINOS
VARGAS

Firmado digitalmente por
LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Nombre de reconocimiento
(DN): c=EC, l=RIOBAMBA,
serialNumber=0602766974,
cn=LUIS ALBERTO CAMINOS
VARGAS
Fecha: 2022.06.09 15:20:36
-05'00'



0052-DBRA-UPT-IPEC-2022

ABSTRACT

The objective of this research was to design a composting treatment plant in static piles by forced aeration for the management of organic solid waste at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. To this end, a diagnosis of the current situation in waste management was carried out at the Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Additionally, and through engineering calculations, the design parameters and the different control analyzes of the physicochemical, chemical, and biological characteristics of the composting process were established. The results reflect each of the stages to be implemented in the plant according to the initial data that is reported according to the volume of average organic solid waste. The general design considerations that include the location, access routes, reception and storage of materials, pretreatment: mixing or homogenization, decomposition stage, maturation stage, post treatment, compost storage. The proposal indicates an alternative that allows the recovery of resources that would be considered garbage and that can be reused in the search for an environmentally friendly alternative as an effective solution for continuous improvement in the production of healthier foods.

Keywords: CHEMICAL AND TECHNOLOGICAL ENGINEERING, SOLID WASTE, TREATMENT PLANT, COMPOST, STATIC PILES, COMPOSTING.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema de Investigación

1.1.1 *Situación Problemática*

En la actualidad es de suma importancia el cuidado y protección del ambiente, en vista de los problemas evidentes y notorios en estos últimos años, que ponen en riesgo la vida en nuestro planeta. En la academia la búsqueda de alternativas que sustenten soluciones eficientes y eficaces es uno de los pilares básicos como respuesta a las necesidades generadas y como resultado de las actividades de los seres humanos especialmente.

Varios autores describen la importancia de buscar alternativas para potencializar las toneladas de residuos generadas por las actividades humanas como medida mitigadora de la contaminación, los resultados de publicaciones especializadas indican que una disciplina innovadora de la biotecnología del vermicultivo, la cría y propagación de lombrices de tierra se ha convertido en una importante herramienta de reciclaje de residuos en todo el mundo para convertir desechos orgánicos (desechos agrícolas y desechos domésticos) en vermicompost. (Asha, Aalok; et al 2017)

El problema analizado es de interés mundial y se ha establecido un parámetro similar de comportamiento en casi la mayor parte de la población, en el reporte de investigación “Estado, caracterización y cuantificación de residuos sólidos urbanos como medida para la gestión eficaz de los residuos sólidos: el caso de Dilla, sur de Etiopía” se detalla que la generación de residuos sólidos se encuentra en orden decreciente de orgánicos> inertes> diversos> plásticos> papeles. Se resalta entre la problemática: la mala gestión de los residuos sólidos, en los hogares se observa los bajos niveles de conciencia sobre el manejo de desechos sólidos y problemas asociados, no tienen acceso adecuado a la recolección de desechos sólidos puerta a puerta, la baja frecuencia de recolección de desechos sólidos, el vertido ilegal de desechos y la disposición en un relleno sanitario. Se habla de mejorar la conciencia sobre la gestión de residuos sólidos a nivel comunitario, es aconsejable emplear medidas de reducción de residuos como reducir, reutilizar y reciclar. (Fereja & Chemedda 2021)

La Escuela Superior Politécnica de Chimborazo cuenta con procesos de selección de desechos por medio de un sistema de clasificación acorde a la disposición final, por los diferentes tachos recolectores con sus colores distintivos, a pesar de esto la falta de una cultura de conservación y gestión de residuos de la colectividad politécnica no permite esta adecuada clasificación; la recolección y disposición final de residuos sólidos es un proceso simple y su destino final es el botadero de la ciudad.

La ingeniería química es un área del conocimiento encaminado a la resolución de problemas relacionados con el cálculo ingenieril, entender y describir las diferentes etapas que involucran las operaciones unitarias en procesos industriales, químicos, biológicos y biotecnológicos; el buscar alternativas para el manejo técnico de residuos es una solución que involucra el diseño de parámetros para las etapas de generación, puesta en marcha y control en la gestión de residuos sólidos como tema planteado en esta investigación.

1.1.2 Formulación del problema

¿El diseño de una planta de tratamiento a través de un sistema de compostaje en pilas estáticas con aireación forzada permitirá la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo?

1.1.3 Problemas Específicos

¿Cuáles son los parámetros que se deben analizar para el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos?

¿Qué producción de compost se puede procesar como una alternativa rentable en la elaboración de bioproductos?

1.2 Justificación del proyecto

La gestión de residuos sólidos orgánicos, el aprovechamiento de los subproductos para lograr un menor impacto en el medio ambiente debe ser de interés pues representan riesgo para las personas, debiendo ser tratados convenientemente como desechos de acuerdo a la normativa medioambiental correspondiente. Según estudios previos se conocen de formas poco

convencionales para su tratamiento, se puede citar referencias de trabajos de titulación de pregrado que no trabajan en sistemas integrales para el manejo de la materia sólida orgánica, la investigación tiene una relevancia y alcance de gran envergadura, ya que busca mediante la descripción y diseño de un proceso química a escala semi industrial proponer un serie de operaciones que implican la descripción de reacciones químicas y transformaciones físicas, interrelacionadas entre sí, en la que involucra las diferentes operaciones unitarias que formaran parte del proceso como etapas claves del diseño ingenieril, la utilización de balances de masa y energía, dirigidos a la obtención de un producto final de calidad compost.

En Ecuador se generan alrededor de 2,7 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos anualmente, con un 80% ubicado en áreas urbanas. El manejo incorrecto y los problemas higiénicos y ecológicos es responsabilidad de los municipios que deben proporcionar alcantarillado, tratamiento de aguas residuales y gestión de residuos sólidos, según la Constitución de la República (Art. 264). Con solo 7 áreas de relleno sanitario autorizadas de 31 en total (66% mecanizado y 34% clasificado manualmente), se debe desarrollar un modelo de gestión de residuos sostenible para reducir los peligros y también para obtener nuevos bioproductos como compost o fertilizantes. (Jara, Janneth; et al 2015).

Los residuos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo provienen de las múltiples actividades cotidianas de las siete facultades que la integran, la disposición final de estos residuos es tarea de cada uno de los miembros de este colectivo por medio de una correcta gestión desde su clasificación hasta su manejo final, pero es aquí que se evidencian serios problemas, que ponen en riesgo la salud, el ecosistema y la falta de visión para reciclar o reutilizar estos desperdicios.

La química es un área encargada de tratar la materia en su composición, estructura y transformación; además, considerando los diversos aspectos de la vida actual, tan profundamente cambiante y dinámica, y que condicionan su futuro, como los relacionados con la salud, la alimentación, el ambiente, la energía; entre otras muchas, se deben a los avances de la Ciencia y de la Técnica con una fuerte y decisiva contribución de las ciencias e ingeniería química.

Entre las líneas de investigación propuestas en el programa de Maestría Ingeniería Química Aplicada está la remediación del ambiente (tratamiento de residuos y efluentes), en torno a lo

antes expuesto y considerando que la mayoría de los procesos se manejan flujos o corrientes de gases o líquidos, materias en estados sólido por medio de procesos continuos o discontinuos que se rigen por las leyes de conservación de la materia y energía y por ende requieren de un rigor científico de alto grado. El entender, describir, dimensionar parámetros de diseño para la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo supone de una capacitación de alto nivel, por medio de la aplicación de conocimientos científicos- técnicos que a lo largo del programa de posgrado se han ido adquiriendo y es menester inmediato su aplicación en problemas reales y de interés para la academia.

Por lo expuesto, este proyecto de investigación busca plantear una solución viable y amigable con el ambiente sobre un problema práctico en este contexto, a través de conocimientos y metodologías que involucra el campo de la ingeniería química por medio del diseño ingenieril y los cálculos para el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos, conllevando a la implementación futura de la misma por medio de proyectos de investigación. (Flotats, Xavier; et al 2016)

Cabe indicar que los beneficiarios directos e indirectos son toda la colectividad politécnica, ya que una correcta gestión de residuos implica una serie de beneficios que incluyen: salud integral, adecuación y mejoras en espacios destinados a la disposición de los desechos y sobretodo conseguir productos como el compost que puede finalmente ser comercializado o distribuido a las facultades que hacen uso permanente de este, como es el caso de la Facultad de Recursos Naturales.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar de una planta de tratamiento de compostaje en pilas estáticas por aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Diagnosticar la situación actual en la gestión de residuos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Determinar las condiciones de diseño para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos a través de compostaje en pilas estáticas con aireación forzada.
- Dimensionar la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante diagramas de flujo y cálculos de ingeniería.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis General

- A través del diseño de una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos se obtendrá compostaje en pilas estáticas con aireación forzada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

1.4.2 Hipótesis Específicas

- El diagnóstico de la situación actual en la gestión de residuos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo permitirá reconocer la línea base en el diseño del sistema de compostaje por aireación forzada.
- Al determinar los parámetros de diseño se definirá las condiciones para la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos.
- Los diagramas de flujo y cálculos de ingeniería permitirán dimensionar la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos.

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

Hoy en día los proyectos de emprendimiento son vitales para la economía del país, el grupo de investigación GAIBAQ de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ha generado proyectos encaminados a la gestión de residuos, que buscan alternativas innovadoras para la valorización de las materias de desecho, se cuenta con laboratorios y actualmente se construye la planta de acopio, por lo que existe la necesidad de buscar temas de investigación que complementen estas actividades de interés en la comunidad politécnica.

En varios estudios se evidencia las potencialidades de una gestión adecuada de residuos que permitan transformar estos elementos en productos de calidad que aportan a procesos adyacentes, revalorizando y repotenciando lo que comúnmente denotaríamos como basura. Según (Sharma & Yadav 2018) en un reporte de investigación se utilizó desechos de flores generados a partir de diferentes fuentes con desechos sólidos urbanos para convertirse en abono enriquecido con nutrientes, se determinó los cambios físico-químicos y biológicos durante el compostaje de desechos florales mediante la técnica de tambor rotatorio, logrando conseguir compost con diferentes características, pero útiles para una agricultura sostenible..

(Jara, Janneth; et al 2015) otro reporte presentado como resultado de un estudio en la provincia de Chimborazo habla de la importancia de desarrollar un modelo de gestión de residuos sostenible para reducir los peligros ambientales y también para obtener nuevos bioproductos como compost o fertilizantes. La utilización agrícola del compost de residuos sólidos orgánicos (RSU) es la opción de gestión más rentable en comparación con los medios tradicionales como el vertedero o la incineración; se obtuvo información analítica sobre muestras representativas de RSU de diferentes orígenes y ubicaciones dentro de la región de Chimborazo para establecer su potencial para el compostaje; se observaron altos contenidos de nutrientes y bajas concentraciones de metales pesados, mostrando un gran potencial para desarrollar compost de alta calidad.

Valencia en 2016 realizó en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo una investigación titulada “Elaboración y caracterización de compost obtenidos a partir de los residuos sólidos orgánicos” evidenciando la necesidad de elaborar un sistema mucho más amplio que permita

remediar la situación problemática diagnosticada, entre los resultados se puede resaltar: Los residuos sólidos orgánicos que corresponden a los de mayor producción, con un promedio de 49,78 Kg/día, de los cuales el 46,96% de estos residuos son destinados al botadero y una parte son utilizados como alimento de animales (cerdos). En un estudio sobre la materia prima considerada para la producción de compost se caracterizó humedad 80,78%, pH ligeramente ácido (5,8); porcentaje de contenido de carbono 46,67%; porcentaje de nitrógeno 1,89 %; la relación C/N 26,13. (Valencia 2016)

La tesis de posgrado titulada “Proyecto de factibilidad para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la ciudad de Riobamba” concluye indicando los elementos que se requieren dentro de la propuesta, fortaleciendo la importancia de buscar nuevos mecanismos para el tratamiento de desechos sólidos, cumpliendo con las normativas vigentes para poder alcanzar una efectiva gestión, sin embargo hace énfasis de la limitada aplicación y falta de empoderamiento de los actores. (Espín 2018)

En el 2019 se publicó el trabajo “Tratamiento de residuos orgánicos generados en el bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante compostaje” que indica la calidad de compost por medio de indicadores fisicoquímicos, químicos y biológicos pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, nitrógeno, potasio, fósforo e índice de germinación y microbiológicos y concluye que se obtuvieron abonos que cumplen con los criterios de calidad estándar según las normas del US Composting Council y la legislación española para abonos orgánicos. Adicionalmente estos abonos están libres de microorganismos patógenos. (Pullopaxi 20219)

Por los antecedentes planteados es importante el desarrollo del presente tema de investigación como un proyecto sustentable para la conservación del ambiente como alternativa de cambio en el proceso de gestión y manejo de residuos sólidos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y como ente patrocinador de futuros cambios a nivel local, provincial y nacional.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Marco Legal para el uso del compost en la actividad agrícola.

De acuerdo a los artículos que mencionan el manejo y disposición de los residuos sólidos, es importante citar que en Ecuador no existe una normativa vigente para la elaboración de abonos orgánicos, por lo que se recurre a normas internacionales para determinar: metales pesados,

patógenos y vectores. (Jiménez, 2015, p.41).

El Real Decreto 06/2013 que refiere a fertilizantes, clasifica en tres grupos a los compost con relación a la concentración máxima permisible de metales pesados y ciertos parámetros que determinan lo siguiente:

Compost clase A: Fertilizante obtenido por un proceso de humificación de alta calidad y puede ser aplicado directamente sobre el suelo. (INN, 2003, p.7).

Compost clase B: Fertilizante obtenido por proceso de humificación pero que a pesar de esto presenta limitaciones para su uso directo, por lo que para su aplicación se requiere de mezclas con otros elementos. (INN, 2003, p.7).

Compost clase C: Fertilizante con concentración de metales pesados que no superan los valores que se reflejan en la tabla siguiente. (INN, 2003, p.7).

Tabla 1-2: Clases de compost según el contenido de metales pesados.

Cantidad de metales pesados (ppm kg/mg)	Límites máximos de concentración de metales pesados		
	Clase A	Clase B	Clase C
Cadmio (Cd)	0,7	2	3
Cobre (Cu)	70	300	400
Níquel (Ni)	25	90	100
Plomo (Pb)	45	150	200
Cinc (Zn)	200	500	1000
Mercurio (Hg)	0,4	1,5	2,5
Cromo (Cr) Total	70	250	300
Cromo (Cr) (VI)	0	0	0

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

2.2.2 Alternativas de aprovechamiento.

Los residuos orgánicos presentan una fuente importante de fibras, energía y nutrientes para plantas, incluso cuando se comparan con las fuentes comerciales de dichos productos papel, combustibles fósiles y fertilizantes sintéticos. Por lo que se deben considerar como fuentes

renovables que deben ser aprovechadas.

Existen diversas opciones en función del tratamiento aplicado para obtener productos de interés (físico, químico o biológico) que está orientado al tratamiento (fertilizantes, energía, etc.) Sin embargo, la mayoría requiere la utilización combinada de tratamientos y puede generar más de un producto de interés.

2.2.3 El ciclo de materia orgánica.

En el sector agropecuario y ganadero mayoritariamente se busca reutilizar los productos de desecho orgánico, en el sector urbano la gestión de residuos orgánicos buscan un mecanismo de recogida selectiva para convertirlos en compost, devolver los fitonutrientes al suelo y reiniciar el ciclo. (Agencia de residuos de Cataluña, 2016)

2.2.4 Compostaje.

Compostaje se define con un proceso de descomposición biológica y estabilización de sustrato orgánico, con características que permiten temperaturas en el rango termófilo en respuesta a un proceso biológico aerobio exotérmico como resultado un producto final estable, libre de patógenos y semillas utilizado de forma beneficiosa como fertilizante para el suelo. Puede ser aplicado a residuos sólidos (compostaje) o residuos de consistencia líquida en la descomposición aerobia. En cualquiera de los casos el fin es mantener las temperaturas que garanticen higienización, y el reaprovechamiento del calor con propósitos de ahorro energético. (García 2019)

La gestión de residuos sólidos orgánicos radica en buscar soluciones recuperando los recursos en forma de compost, se define como un producto que tienen varias ventajas entre las que podemos considerar la protección contra la erosión del suelo, aumentar los niveles de materia orgánica y ayuda a la retención de agua. Entre los beneficios que destacan tenemos:

- Reducir el volumen de residuos orgánicos, por medio de una disposición adecuada y con fines de aprovechamiento agrícola, logrando un manejo flexible, controlando el riesgo sanitario.
- Su mecanismo de producción es sencillo y versátil, su aplicación es amplia en función de diferentes residuos y mezclas, a escalas de trabajo múltiple y con requerimientos tecnológicos mucho o poco satisfactorios. (Agencia de residuos de Cataluña, 2016)

2.2.5 Parámetros a considerar en las actividades de los microorganismos

Se recomienda favorecer las condiciones de trabajo:

- Porosidad suficiente para la circulación de aire por medio de una mezcla de residuos esponjosos para una correcta retención de agua.
- Aire suficiente (oxígeno).
- Humedad apropiada.
- Temperatura apropiada.
- Relación adecuada de carbono respecto al nitrógeno para un óptimo equilibrio de nutrientes ($C_{\text{disponible}}/N$). (Agencia de residuos de Cataluña, 2016)

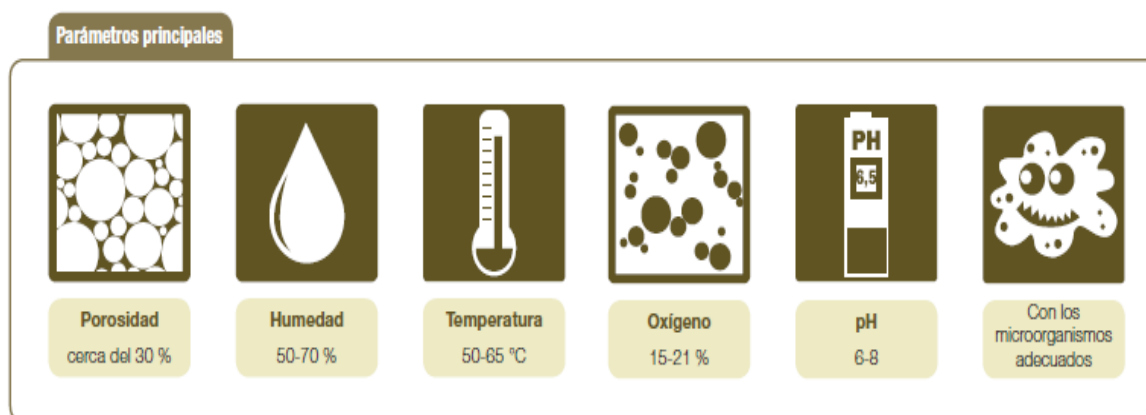


Figura 1-2: Parámetros principales
Realizado por: Agencia de residuos de Cataluña, 2016

2.2.6 Cocompostaje

En el proceso de compostaje las elevadas temperaturas tienen una gran interés desde el punto de vista higiénico, pues a partir de los 55 °C se puede eliminar patógenos, semillas y propágulos de malas hierbas. En el proceso de higienización son importantes las bacterias, los actinomicetos y los hongos, que producen productos antibióticos.

Para lograr las condiciones favorables de partida se debe realizar un análisis de la mezcla de residuos orgánicos a lo que se conoce como compostaje.

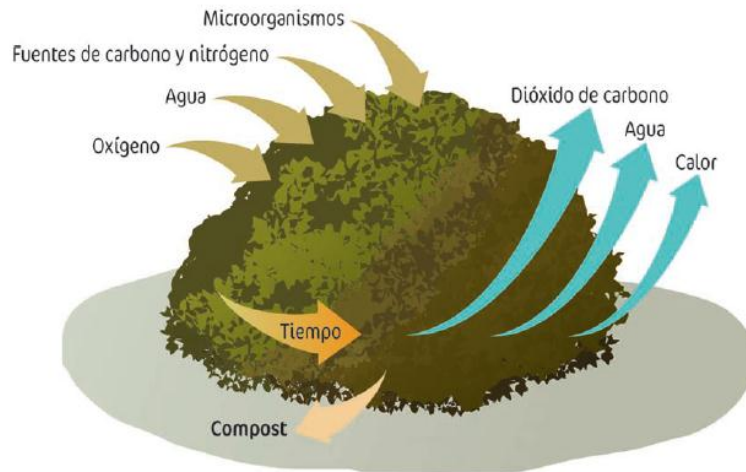


Figura 2-2: Proceso de compostaje
 Realizado por: Agencia de residuos de Cataluña, 2016

2.2.7 Fases del proceso de compostaje.

El sistema de tratamiento de residuos sólidos orgánicos propone real interés en la actividad microbiológica que es muy compleja, bajo parámetros controlados (condiciones aerobias y termófilas) que garantizan un producto estable, fácil de almacenarse y que se higieniza sanitariamente.

En el proceso de compostaje se identifican las siguientes fases consecutivas:

2.2.7.1 Etapa de descomposición: En esta primera etapa las poblaciones de bacterias, actinomicetes y hongos descomponen la materia orgánica de manera consecutiva y simultánea, carbohidratos, grasas y aminoácidos; en una sinergia en algunos casos y competencia por el sustrato en otros. En presencia de oxígeno las reacciones liberan energía (exotérmica), proporcionando condiciones físicas adecuadas, aumentado la temperatura de la masa en descomposición llegando a temperaturas superiores a los 70 °C en un día. (Balamurugan; Arun; & Sudagar 2020)

Estas temperaturas garantiza el crecimiento de microorganismos termófilos, la constancia de este factor físico por tiempo prologando favorece la destrucción de semillas, malas hierbas, huevos y larvas de insectos, así como microorganismos patógenos. Esto implica el proceso de higienización. La etapa de descomposición implica tres fases:

Fase mesofílica en donde los microorganismos mesófilos inician la descomposición de elementos de fácil degradación, aumentando la temperatura y notando un ligero descenso de pH por la formación de ácidos orgánicos. La segunda fase termofílica los microorganismos

termófilos superan los 40 °C. Cuando se llega a los 60 °C, los hongos se inactivan y la descomposición tiene lugar debido a los actinomicetes y bacterias formadoras de esporas. Las biomoléculas de fácil degradación Hidratos de carbono, proteínas y grasas son consumidas y la gran cantidad de patógenos eliminados. En este momento el pH se recupera y se alcaliniza debido al consumo de los ácidos orgánicos y al aumento de la concentración de amonio por descomposición de proteínas. La concentración de compuestos orgánicos resistentes aumenta y la velocidad de descomposición y el consumo de oxígeno decrecen. (Valencia 2016)

Posterior a esto la temperatura en la fase tres de descomposición empieza a disminuir, los hongos termofílicos reinvasan el material a compostar y empieza la descomposición de la celulosa y hemicelulosa. Esta etapa es muy importante y garantiza su continuidad. El tiempo de duración de estas tres etapas puede durar entre dos semanas y algunos meses, dependiendo de la composición inicial y del control de las condiciones de operación. En esta fase, biopolímeros como la celulosa y la lignina quedan parcialmente alterados, y pasan a ser, en la fase de maduración, las estructuras básicas para la formación de nuevas macromoléculas, que incluirán el amonio liberado durante la primera fase.

En esta etapa todos los materiales tienen mucha materia orgánica a compostar, por lo que se debe asegurar un suministro de oxígeno al interior suficiente para cubrir las demandas de los microorganismos, es imprescindible la aireación para no incurrir en anoxia. Optimizando la actividad microbiana y minimizando la emisión de sustancias malolientes, de gran impacto sobre el entorno. (Agencia de residuos de Cataluña 2016)

2.2.7.2 Etapa de maduración: La evaporación del agua en la fase de maduración se debe al incremento de la temperatura y es necesario para una adecuada concentración de oxígeno en la renovación del aire que produce a la vez enfriamiento, para la obtención de un producto seco y libre de compuestos volátiles, como el amoníaco.

Se debe controlar el proceso y esta etapa por medio del descenso de temperatura y el secado hasta la etapa de descomposición e higienización se hayan completado. Evitar además temperaturas altas que puedan producir una esterilización del medio que implicaría la pérdida de la actividad biológica. La fase de maduración implica biopolimerización de moléculas complejas y estables, y microorganismos mesófilos y diversa microfauna y en un tiempo de pocos meses, obtener un compost estabilizado y parcialmente húmedo. El éxito en el proceso es buscar parámetros de diseño y operación que garanticen un mínimo tiempo en las reacciones en esta fase.

La materia a compostar debe contar con tecnologías que permitan el control de aireación, humedad y temperatura por medio de recintos cerrados para disminuir el tiempo de descomposición a unas pocas semanas. (Castells 2015).

En la etapa de maduración ya no queda tanta materia orgánica biodegradable (no hay tanto requerimiento de oxígeno).

La duración de las distintas etapas depende de la riqueza de la materia orgánica, del control que se lleva a cabo en el proceso, de la calidad de la mezcla, de los tecnológicos utilizados, etc. (Castells 2015).

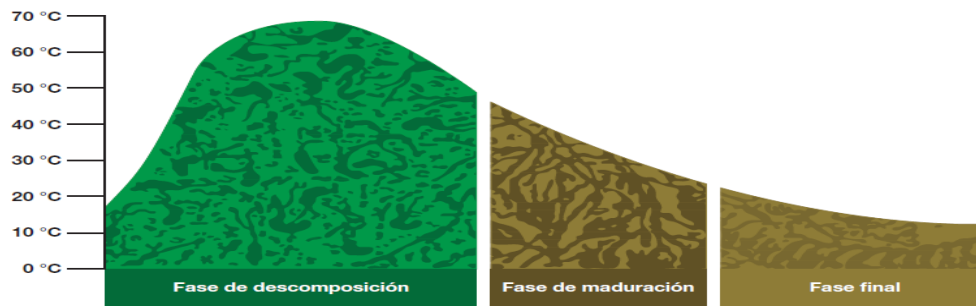


Figura 3-2: Evolución de la temperatura y la proporción de microorganismos a lo largo del proceso de compostaje.

Realizado por: Agencia de residuos de Cataluña, 2016

2.2.8 Parámetros de seguimiento

2.2.8.1 Temperatura

Al disponerse del material que se va a compostar en pilas, se debe garantizar las condiciones adecuadas para una actividad microbiana óptima. Al inicio del proceso el material está sujeto a la misma temperatura, conforme crecen los microorganismos por las reacciones generadas el calor aumenta la temperatura del material, que se evidencia por el incremento de la temperatura en la masa que se está compostando. Por lo que en varias fuentes bibliográficas se considera la temperatura como un parámetro de diseño clave en el proceso. Esto se puede corroborar, pues en varios ensayos se demuestra que variaciones de temperatura afectan la actividad microbiana que leves cambios en la humedad, pH o la relación carbono- nitrógeno. Por la evaluación de la temperatura se puede controlar la eficiencia y el grado de estabilización que toma el proceso, por la relación directa entre la temperatura y el grado de degradación de la materia orgánica. Además existe una relación directa entre la degradación y el tiempo durante el cual la temperatura ha sido alta.

En ocasiones si no se controla adecuadamente la temperatura puede llegar alcanzar valores muy altas que impiden el crecimiento microbiano (suicidio microbiano). Se han identificado tres fases en el proceso aerobio:

Fase mesófila inicial ($T < 45^{\circ}\text{C}$) con la producción de ácidos orgánicos; fase termófila ($T > 45^{\circ}\text{C}$) y fase mesófila final cuando finaliza el proceso y alcanza la temperatura inicial. Cabe recalcar que cada microorganismo tiene un intervalo de temperatura óptima en la cual su actividad es mayor y más efectiva: $15\text{-}40^{\circ}\text{C}$ para organismos mesófilos y $40\text{-}70^{\circ}\text{C}$ para microorganismos termófilos. (Bohórquez 2019)

2.2.8.2 Humedad

El compostaje se caracteriza por ser un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, por lo que el agua es vital para satisfacer los requerimientos fisiológicos del medio, ya que posibilita el transporte de las sustancias solubles que sirven de sustrato a las células y los productos de desecho a consecuencia de las reacciones que se realizan durante el mismo. La humedad es un parámetro físico que varía en función de la naturaleza de los materiales a compostar y se considera un factor de optimización del proceso. Mínimos cambios en la humedad se evidencian en la variación de la temperatura. La humedad debe contralarse de forma tal que los poros no sean ocupados en su totalidad para permitir una aireación correcta por la circulación de oxígeno por ser un mecanismo aerobio, así como los demás gases producidos en el proceso.

El crecimiento microbiano se garantiza bajo un humedad que fluctúa entre el 50-70%; un descenso por debajo del 30 % disminuye la actividad biológica y por encima de 70% el agua desplaza el oxígeno de los poros desarrollándose un proceso de anaerobiosis. Cuando escasea el oxígeno provienen malos olores y notablemente disminuye la efectividad y velocidad del proceso. (Bohórquez 2019)

2.2.8.3 El pH

Es un factor físico de importancia pues influye directamente en la dinámica de los procesos microbianos. Diversas citas refieren su estudio como factor predominante en el entendimiento de la evolución del compostaje. El pH es un indicador indirecto de control en la aireación de la mezcla, debido a las formación de ácidos orgánicos que provocan un descenso de mismo y por ende condiciones anaerobias. En la fase mesófila inicial se puede notar descenso de pH por los microorganismos presentes en el material más lábil, que por naturaleza origina ácidos orgánicos que se liberan y se asocian a este cambio. Inicialmente puede ser muy marcado si

existen condiciones anaerobias y a consecuencia la liberación de más ácidos orgánicos. Seguidamente se produce la alcalinización progresiva a consecuencia de la pérdida drástica de ácidos orgánicos y la degradación de proteínas que liberan amoníaco. Finalmente en la tercera etapa el pH se neutraliza por la formación de compuestos húmicos con características amortiguadoras, lo que implica que el proceso de compostaje con una aireación adecuada garantiza un producto maduro con pH entre 7-8. Los valores inferiores a esta referencia son signo de procesos anaerobios y que no existe un etapa de madurez concluida. (Bohórquez 2019)

2.2.8.4 Aireación

El adecuado proceso de compostaje depende en gran medida de la cantidad de oxígeno básicamente por los microorganismos aerobios que intervienen. Los poros de aireación en las pilas presentan concentraciones diferentes de oxígeno, la capa externa contiene tanto oxígeno como en el aire (18-20 %); en el interior de la pila de compostaje el contenido de oxígeno disminuye e incrementa el dióxido de carbono, aproximadamente en el punto de profundidad de 60 cm puede variar entre 0,5 y 2 % de contenido en oxígeno. Si el flujo de oxígeno es insuficiente se puede llegar a una sustitución de microorganismos aerobios por anaerobios, lo que involucra un retardo en la descomposición, formación de sulfuro de hidrógeno y la aparición de malos olores. Pero si la tasa de aireación aumenta produce un enfriamiento de la masa y alta desecación con la evidente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos. Por lo que la aireación se convierte en una variable de control en el proceso e indicativo en los costes de operación, se considera que el 32-46% de los costes totales involucra los sistemas de aireación. Los sensores que permiten tomar la concentración de oxígeno requieren de valores elevados que pueden suplirse con medidores de temperatura y humedad. (Mashiur, Mohammad; et al 2021)

2.2.8.5 Espacio de aire libre

El compostaje se caracteriza por ser un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, por lo que el agua es vital para satisfacer los requerimientos fisiológicos del medio, ya que posibilita el transporte de las sustancias solubles que sirven de sustrato a las células y los productos de desecho a consecuencia de las reacciones que se realizan durante el mismo. La humedad que se conceptualiza como el contenido de agua de la masa a compostar debe equiparar de forma tal que el agua no llegue a ocupar todos los poros de la masa y permita también la circulación de aire, debido a que el proceso debe desarrollarse en condiciones

aerobias. Espacio de Aire Libre (Free Air Space, FAS), adoptado de la ciencia del suelo, que relaciona los contenidos de humedad (H), la densidad aparente (D_a), la densidad real (D_r) y la porosidad (P), es decir, que tiene en cuenta la estructura física de los residuos. (Mashiur, Mohammad; et al 2021)

2.2.8.6 Relaciones C/N y C/P

Para un correcto compostaje en el que se aproveche y retenga la mayor parte del C y del N, la relación C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de N; por esta razón se considera que el intervalo de C/N teóricamente óptimo para el compostaje de un producto es de 25-35. La relación entre el carbono y el nitrógeno es un limitante que influye en la velocidad de descomposición y en la pérdida de amonio durante el compostaje. Si en esta relación $C/N > 40$ la actividad biológica disminuye y los microorganismos pueden oxidarse debido al exceso de carbono volviendo lento el proceso, esto por la escasa disponibilidad de nitrógeno para la síntesis proteica de los microorganismos. El modo de eliminar el carbono sobrante es la formación de anhídrido carbónico importante para la formación en etapas posteriores de especies microbianas. Cuando estos microorganismos cumplen su ciclo en nitrógeno contenido en la biomasa se recicla y la C/N disminuye. Si existe una alta relación C/N, pero la materia orgánica es poco biodegradable, la relación C/N disponible será menor para los microorganismos y el proceso se acelera, pero esto solo afecta a una porción de la masa total. Si la relación C/N es muy baja el proceso de compostaje se acelera, pero el exceso de nitrógeno se desprende en forma de amoníaco, lo que permite la autorregulación del proceso. La relación C/N ideal para un compost totalmente maduro es cercana a 10, similar a la del humus. En la práctica, se suele considerar que un compost es suficientemente estable o maduro cuando $C/N < 20$, aunque esta es una condición necesaria pero no suficiente. Si los productos que se compostan poseen una relación C/N baja (inferior a 18-19), el compostaje se lleva a cabo con mayor rapidez, pero se desprende como amoníaco el exceso de N, produciéndose una autorregulación de la relación C/N. Estas pérdidas, si bien no afectan negativamente al compostaje, suponen un derroche, porque el N es el nutriente fundamental para los cultivos, así como un problema medioambiental ya que el amoníaco es un gas con un considerable efecto invernadero. Al tener la relación C/N una gran dependencia de la riqueza inicial de N, un valor concreto de C/N no refleja el estado de madurez de un compost, por lo que es más indicado seguir la evolución de C/N del proceso o calcular la diferencia entre los valores iniciales y finales. La relación C/N decrece durante el compostaje, en la figura 3 se muestra la evolución

característica de la relación C/N durante y después del compostaje. Por otra parte, el fósforo es el nutriente más importante, tras el C y el N, por lo que también debe estar presente en unas cantidades mínimas para que el proceso se lleve a cabo correctamente. Una buena relación entre los principales nutrientes provoca una adecuada capacidad para la proliferación microbiana, al tener todos los nutrientes principales en unas cantidades óptimas y en la forma más disponible para la síntesis microbiana. La relación C/P para el compostaje es óptima entre 75 y 150, mientras que la relación N/P debe estar entre 5 y 20. (Mashiur, Mohammad; et al 2021)

2.2.8.7 Pautas iniciales de diseño

Las plantas de tratamiento de residuos sólidos deben diseñarse de forma tal que se garantice en todo momento el desarrollo correcto del proceso con el fin de:

- Disminuir los impactos generados por emisiones, lixiviados, polvo, etc. En el área destinada para estos fines.
- En los núcleos habitados evitar:
 - Emisión de malos olores.
 - Un adecuado sistema de transporte.
 - Control de contaminación acústica.

Si existe un déficit de oxígeno en el proceso de compostaje se puede generar en el ambiente malos olores, por ello la planta de tratamiento debe garantizar el control adecuado en las siguientes factores:

- Emplazamiento.
- Vías de acceso.
- Núcleos habitados y control de posibles malos olores que puedan originarse en el proceso de compostaje.
- Servicios básicos disponibles agua, suministro de energía eléctrica y alcantarillado. (Agencia de residuos de Cataluña, 2016)

2.2.9 Desarrollo del proceso de compostaje

Una instalación de compostaje es, en esencia, un conjunto de operaciones diferentes que

producen compost y una serie de subproductos a partir de distintas materias primas. El sistema de compostaje es únicamente una parte del sistema, aunque sea la principal de la instalación. Debido a la heterogeneidad de las materias primas a tratar; a la necesidad de reducir la presencia de potenciales contaminantes, que mermarían la calidad del producto final; a la necesidad de proporcionar al sistema de compostaje, propiamente dicho, una materia suficientemente homogénea, porosa, con la humedad correcta, y con un tamaño de partícula adecuado; se hacen necesarios unos pretratamientos (normalmente Tratamientos Mecánicos) que favorezcan el adecuado desarrollo del Proceso. Asimismo, al final del proceso de compostaje es necesario un nuevo tratamiento mecánico (afino) que permita separar los restos de fracciones indeseables que puedan acompañar al compost maduro y obtener así un compost de calidad que cumpla con las especificaciones deseadas. La etapa de mezclado, reseñada en dicha figura, representa la posibilidad, presente en muchas instalaciones de compostaje, de mezclar la materia que se va a compostar con otros residuos, bien porque se reciban corrientes de diferentes tipos de material en la Planta, o bien porque se reutilice parte del rechazo que se produce en el afino final, como material estructurante o cobertura antiolor de las pilas o hileras. La etapa de maduración es una fase posterior del proceso fermentativo del compostaje en el que la velocidad de descomposición decrece y la temperatura disminuye hasta valores cercanos a los ambientales. La maduración no tiene que ser una operación separada, sino más bien una parte integrada del sistema principal de compostaje. Sin embargo, normalmente se suele separar esta etapa de la del compostaje activo. A medida que el compost madura, la generación de calor y la demanda de O₂ disminuyen sustancialmente, permitiendo un nivel menor de gestión. La frontera entre el compostaje activo y la maduración es, en muchas ocasiones, difícil de determinar. En sistemas de compostaje continuos, la operación de maduración empieza simplemente cuando el compost debe moverse del reactor o la pila para hacer sitio a los materiales que llegan. (Perazzini, Hugo; et al 2016)

2.2.10 Biorremediación

La elevada diversidad, cantidad y actividad de los microorganismos durante el compostaje como resultado del ambiente en continuo cambio, las altas temperaturas que se alcanzan en algunas fases, y la disponibilidad de nutrientes orgánicos metabolizables, favorecen el desarrollo de actividades microbianas específicas tales como la degradación de compuestos orgánicos contaminantes y la transformación de metales pesados. Estos procesos conducen a la eliminación o a la reducción del poder contaminante de tales compuestos. Por ello, constituyen un elemento positivo durante el compostaje de cualquier sustrato orgánico originalmente

contaminado, ya que permiten obtener un producto seguro ambiental y sanitariamente. (Perazzini, Hugo; et al 2016)

2.2.11 Materia orgánica

El conocimiento del contenido de la materia orgánica en los compost es de suma importancia, pues es un factor que determina la calidad agronómica del producto final. En el proceso de compostaje debido a la reacciones de descomposición que se realizan la materia orgánica tiende a disminuir por su mineralización y la pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico, lo que significa un pérdida aproximada del 20 % de la masa. Inicialmente en un primera etapa se consumen rápidamente los hidratos de carbono, cuyas cadenas carbonadas largas polihidratadas se acortan con la producción de compuestos más simples, muchos de ellos se vuelven a reagrupar para formar moléculas más complejas que dan lugar a compuestos húmicos. En la segunda etapa, una vez consumidos los compuestos lábiles, otros materiales más resistentes como las ligninas se van degradando lentamente y/o transformando en compuestos húmicos. Algunos compuestos procedentes de la materia orgánica son utilizados por los microorganismos para formar sus tejidos y otros son transformados en anhídrido carbónico y agua. Los nuevos materiales formados poseen unas propiedades distintas a las de los materiales originales, confiriéndole a la masa unas características físicas y químicas distintas. La velocidad de transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones físico-químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH). (Ganesan 2017)

2.2.12 Medio Ambiente

El medio ambiente podría definirse como el conjunto de sistemas físicos y biológicos que aparecen como resultado de la interacción del hombre moderno con el hábitat que le rodea. (Ganesan 2017)

2.2.13 Nutrientes

El producto final del proceso de compostaje debe garantizar a nivel del sustrato una composición elemental con fines de aplicación agronómica que bajo condiciones adecuadas en función de la disponibilidad de nutrientes. Los microorganismos para su desarrollo aprovechan compuestos simples, lo que involucra que en la descomposición las moléculas más complejas se desintegren un ejemplo de esto son las proteínas rompen sus enlaces peptídicos y liberan aminoácidos y amoniaco, de forma tal que se garantiza su asimilación. Los elementos que podemos encontrar son el carbono, nitrógeno y fosforo que se consideran macronutrientes

vitales para el crecimiento microbiano. La importancia del carbono es su utilidad en la síntesis celular para la formación de protoplasma, grasas e hidratos de carbono; el proceso metabólico involucra la degradación de estos elementos y su aprovechamiento en forma de energía con la liberación de anhídrido carbónico; constituye el 50% de las células de los microorganismos y un 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. Se cita también el nitrógeno como elemento básico en la reproducción celular por la naturaleza proteica del protoplasma, la calidad de compost depende del contenido de nitrógeno. El fósforo es de suma importancia en la formación de compuestos celulares ricos en energía imprescindibles para el metabolismo celular. Al final y el inicio de la incubación se observa un aumento en la concentración de nutrientes por la pérdida de la materia orgánica de la masa a compostar. (Ganesan 2017)

2.2.14 La pila de compostaje

Constituye un ecosistema en el que diversas poblaciones microbianas constituidas por bacterias, hongos y actinomicetos, degradan secuencialmente la materia orgánica en presencia de oxígeno generando un producto estable humificado junto con gases, agua y calor como residuos del metabolismo microbiano (figura 1). El tipo predominante de microorganismo depende de las condiciones nutricionales y ambientales, en cuyas variaciones intervienen sus propias actividades. El compostaje es, pues, una compleja interacción entre los restos orgánicos, los microorganismos, la aireación y la producción de calor. Es importante entender cómo influyen estos parámetros en el ecosistema microbiano para mejorar la eficiencia del proceso y permitir su control. Este control debe dirigirse tanto a la aceleración de la transformación de la materia orgánica, como a la minimización de cualquier riesgo medioambiental. (Raghab, Safaa; et al 2016)

2.2.15 Residuo sólido orgánico

Actúan como vectores de todo tipo, siendo el último eslabón de cualquier actividad, ya sea doméstica, industrial, agrícola, etc. Por ejemplo, el agua residual, una vez depurada deja un residuo denominado fango. La finalidad básica de toda depuración consiste en transferir el contaminante de un medio muy difundible, como es el agua, a otro más controlable como es el fango. Lo mismo acontece con los gases. El gas es el medio más fácilmente expandible y, por tanto, contaminante. La instalación de un filtro, o un equipo de tratamiento de la corriente gaseosa, retiran los elementos de la corriente gaseosa y los transfiere a un medio sólido o líquido. (Castells 2014).

2.2.16 Tipos de materiales

2.2.16.1 Residuos de baja degradabilidad (RBD)

Se caracteriza por residuos orgánicos con una actividad microbiana de descomposición muy baja, debido a falta de agua, materia orgánica, nitrógeno u otro elemento esencial; además, pueden presentar una acidez o basicidad extrema. Pueden ser en su mayoría residuos vegetales con subcategorías de fracción vegetal que incluye componentes leñosos: madera de poda, restos florales y cortezas. No se considera en este tipo restos de verduras o césped.

2.2.16.2 Residuos de alta degradabilidad (RAD)

Elementos susceptibles a ser biodegradables con gran facilidad:

- Los residuos de alta degradabilidad preestabilizados: siempre que la materia haya experimentado algún tratamiento biológico.
- Los residuos de alta degradabilidad no preestabilizados sin previo tratamiento.

Tabla 2-2: Lista de materiales compostables, clasificados según su biodegradabilidad

MATERIALES	EJEMPLOS
Residuos de baja degradabilidad	
Fracción vegetal	Madera de poda con menos del 30 % en volumen de césped
	Restos florales
	Palés de madera natural (*)
	Cajas de verduras (*)
	Corteza
Otros Residuos de baja degradabilidad	Poso de café
	Paja
	Serrín
Residuos de alta degradabilidad	
Preestabilizados	Compost fresco
	Estiércol viejo
No preestabilizados	Restos de verduras
	Estiercol fresco
	Gallinazo
	Madera de poda con más del 30% en volumen de césped
	Césped

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

2.2.17 Reutilización

A consecuencia de la valorización que incluye comprobación, limpieza o reparación de productos o componentes de productos que se consideren como residuos se preparan para ser

usados con fines para lo cual se concibieron. Para promover la reutilización (también la prevención y el reciclado de alta calidad). (Raghab, Safaa; et al 2016)

2.2.18 Reciclado

Consiste en transformar los residuos para que vuelvan a utilizarse con su fin inicial o para otros fines. Como principales ventajas están el aprovechamiento de materias primas, la economía energética, el uso racional de recursos naturales y la devolución a la tierra de su riqueza orgánica (fracción orgánica de los residuos domiciliarios). La clasificación de los residuos en el origen y la deposición en los contenedores específicos facilita su posterior reciclaje, con lo que se consigue el ahorro de energía y materias primas. El envasado para la evacuación de las basuras en los lugares de generación se denomina prerecogida. Consiste en depositar en bolsas de plástico u otros recipientes las basuras generadas de forma individual o familiar, cerrándose a continuación para evitar los olores y la dispersión. Esta operación puede efectuarse bajo dos modalidades diferentes tal y como se muestra en la figura siguiente, es decir recogida tradicional (todo en uno) y prerecogida selectiva, fundamental para un correcto reciclado. En la pre-recogida tradicional se deposita toda la basura para su recogida conjunta y tiene una clara desventaja, ya que no se potencia su separación en origen para su posterior reciclado y reutilización como sucede con la prerecogida selectiva. En cualquiera de los dos casos es muy importante la colaboración ciudadana. El sistema de prerecogida está directamente relacionado con el sistema de recogida que se aplicará posteriormente. (Sadhvani 2015)

2.2.19 Valorización

Todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios para el medio ambiente. (Raghab, Safaa; et al 2016)

2.2.20 Vectores contaminantes

De las primeras facetas que deberían abordarse para el estudio del problema, consiste en analizar las vías por las que se produce la afectación del medio ambiente. Los diversos impactos ambientales, es decir, los posibles efectos negativos provocados sobre el medio ocasionados por el flujo de materias primas, energía o emisiones, se ha convenido estructurarlos en varios factores, denominados vectores contaminantes el aire, el agua, los residuos, la utilización de energía, los ruidos y los olores (Rajkumar & Sirajuddin 2016)

2.2.21 Vermicompostaje

El compostaje aeróbico se define como el material de desecho bajo el cual conversión de materia orgánica en presencia de aire en ambiente húmedo y cálido. El producto final del compostaje tiene un alto valor nutritivo. El trabajo de compostaje es un trabajo intensivo o mecánico. (Rajendiran, Balamurugan; et al 2020)

Vermicompost es un material orgánico estabilizado mediante vermicompostaje que se puede utilizar, al igual que el compost, para enmienda orgánica del suelo y como sustrato o componente de sustrato de cultivos sin suelo. Entre el composts y vermicomposts procedentes de materiales de origen diferentes. Se observa que la relación carbono/nitrógeno, que es indicativa del grado de estabilidad y madurez de estos materiales da valores óptimos en la mayoría de los casos. El pH suele ser ligeramente alcalino. La conductividad eléctrica sí que marca diferencias: los materiales procedentes de procesos de compostaje suelen ser más salinos que los que proceden de procesos de vermicompostaje.

Al igual que el compostaje el vermicompostaje consiste en un proceso bio-oxidativo en el que intervienen, además de los microorganismos nativos del material de origen, lombrices. Mientras que los microorganismos que habitan el residuo orgánico (bacterias, hongos y actinomicetos mesófilos) y los que se encuentran en el aparato digestivo de las lombrices se encargan de la degradación bioquímica de la materia orgánica, las lombrices fragmentan el sustrato incrementando la superficie expuesta a los microorganismos. (Red Española de Compostaje, 2015)

2.2.22 Digestión anaeróbica

La descomposición anaeróbica de los desechos también se conoce como proceso de biometano. Es uno de las técnicas importantes y sostenibles para el tratamiento de la parte biodegradable de los Residuos sólidos urbanos (RSU) en climas subtropicales. En este proceso, se produce la estabilización y el biogás es liberado por conversión de materia orgánica, que a su vez puede utilizarse como energía. El biogás tiene 55–60% metano y se puede utilizar como combustible para la generación de energía. (Rajendiran, Balamurugan; et al 2020)

2.2.23 Tratamiento térmico

El proceso de tratamiento térmico puede realizarse mediante incineración, pirólisis y gasificación. Según los tipos de RSU, varía una técnica térmica de composición. (López,

Juana; et al 2020)

2.2.24 Capacidad biofertilizante del compost: Agentes promotores del crecimiento vegetal

A los beneficios derivados de la aplicación de compost como abono hay que añadirle sin duda el efecto supresivo que éste ejerce sobre ciertos patógenos vegetales, así como el aumento en la producción de sustancias favorables para las plantas. Teniendo en cuenta ambos factores, un compost de calidad puede convertirse en la solución perfecta frente a los principales problemas derivados de la agricultura intensiva. La actual problemática ambiental ha generado la necesidad de poner a punto nuevos métodos que permitan incrementar la productividad agrícola junto con el desarrollo de una agricultura sostenible. La tendencia actual hacia este tipo de prácticas agrícolas está en concordancia con el avance en los métodos de búsqueda de microorganismos capaces de proteger un determinado cultivo o bien de promover el crecimiento vegetal. Tales microorganismos tienen diferentes fuentes de origen y el compost es una de ellas. En la actualidad, son incorporados a los suelos de cultivo, así como a la propia planta, para potenciar los fenómenos de control biológico y para favorecer los procesos de biofertilización y fitoestimulación. Si desde un punto de vista fisiológico, existen una serie de factores físico-químicos que afectan al crecimiento de la planta (la luz, el agua, la humedad, la temperatura, la radiación, el tipo de suelo, la aireación y los nutrientes) así como otros factores microbiológicos (filosfera y rizosfera), es lógico, por tanto, considerar la importancia de la triple interacción entre suelo-planta-microorganismo denominada como “trilogía del suelo”. (Red Española de Compostaje, 2014)

2.2.25 Supresividad

Según diversos autores, es la capacidad que manifiesta, en este caso el compost, para minimizar o incluso eliminar los daños producidos por enfermedades causadas por microorganismos patógenos. En los suelos supresivos naturales la reducción de la enfermedad respecto a la esperada puede deberse bien a que los patógenos no son capaces de instalarse, bien a que su presencia no determina el desarrollo de la enfermedad, o bien a que ésta comienza a manifestarse, pero tiende a desaparecer aun cuando el patógeno quede establecido en el suelo.

2.2.26 Definición de sustrato

El término ‘sustrato’ se aplica en horticultura a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo in situ, que, colocado en un contenedor, puro o en forma de mezcla, permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un

papel de soporte para la planta. Los sustratos pueden intervenir o no en el proceso de nutrición mineral de la planta, por lo que se pueden clasificar como químicamente activos (turbas, cortezas de pino, etc.) o químicamente inertes (perlita, lana de roca, roca volcánica, etc.). También se podría mencionar la utilización de compost biológicamente activo como sustrato para el control biológico de algunas de las principales enfermedades.

El suelo natural es el medio de cultivo universal para el crecimiento vegetal. Además de servir de soporte o anclaje para la planta, tiene que suministrar a las raíces unas cantidades equilibradas de aire, agua y nutrientes minerales. Pero cuando el material del suelo es extraído del perfil, organización vertical de los horizontes y se dispone en un contenedor, las proporciones de sus componentes ya no son las adecuadas debido fundamentalmente a la limitación del espacio, por ello el crecimiento de la planta podrá verse afectado por:

- Asfixia debida a la falta de oxígeno por compactación.
- Deshidratación por falta de retención de agua.
- Exceso o carencia de nutrientes minerales o desequilibrio en sus concentraciones.
- Enfermedades producidas indirectamente por las causas anteriores.

El sustrato de cultivo requiere estar constituido por un material poroso, en el que se desarrolla el sistema radicular de la planta, y del que ésta toma el agua, los nutrientes que necesita para su desarrollo y el oxígeno necesario para el funcionamiento correcto del sistema radicular. Desde el punto de vista físico, son dos los factores principales que diferencian a los sustratos de los suelos naturales y los hacen adecuados para el cultivo en contenedor:

- Los sustratos poseen generalmente mayor porosidad, ya que tienen poros dentro de sus partículas, además de los interparticulares, que son los que permiten aumentar el espacio poroso respecto del suelo natural.
- Los sustratos tienen un porcentaje más elevado de poros de gran tamaño.
- Por las dos indicaciones anteriores, los sustratos retienen el agua con menor fuerza. Por ello las tensiones a las que se considera agua disponible son mucho menores.

En concreto en los sustratos orgánicos la proporción de la fracción sólida es inferior respecto del suelo como consecuencia de su elevada porosidad. Esto nos indica que en un volumen de sustrato habrá más espacio disponible para el agua y el aire que en el mismo volumen de suelo. (Red Española de Compostaje, 2015)

2.2.27 La fertilidad del compost

Puede ser muy diversa. Algunos presentan una fertilidad muy baja, como por ejemplo los compost de cortezas de diferentes especies arbóreas. Otros tienen unos niveles de fertilidad elevados como por ejemplo los compost de RSU o los estiércoles y otros tienen un nivel de fertilidad media a baja, como por ejemplo algunos compost de restos de poda. Habitualmente altos niveles de fertilidad van asociados a salinidad elevada y contenido alto o medio de sodios y cloruros. (Red Española de Compostaje, 2015)

2.2.28 Materiales complementarios

Se considera material complementario aquellos elementos que deben incluir en el dimensionamiento de la instalación, son importantes para el desarrollo del proceso de compostaje.

Son todos aquellos materiales que sean o no residuos se deben añadir al material a compostar con los siguientes propósitos:

- Proceso de compostaje más rápido, con nutrientes esenciales permitiendo la consecución de la fase termófila.
- Productos final de calidad
- Mayor porosidad.
- Lograr una relación C/N para evitar pérdidas innecesarias de nitrógeno, o a la baja, para acelerar el proceso.
- Mejorar el pH. Lo más habitual es tener que aumentar el pH porque el residuo destinado a compostaje es excesivamente ácido para permitir la actividad microbiana en general o la de los microorganismos termófilos en particular.

2.2.29 Los estructurantes y sus características

Se define como todo material que mejora la porosidad e la estructura del residuo destinado a compostar.

Incluye materiales vegetales con porciones elevadas de componentes leñosos (poda triturada, astillas, corteza) se las identifica como fracción vegetal (FV).

Tabla 3-2: Características de diferentes estructurantes

TIPO		% MATERIA SECA	% MATERIA ORGÁNICA	DENSIDAD APARENTE (kg/L)	DENSIDAD REAL (kg/L)	% POROSIDAD
Corteza 8-15 mm	Media	67,06	88,87	0,29	1,32	78,69
	Máximo	80,10	96,89	0,58	1,45	84,41
	Mínimo	52,43	56,30	0,21	1,25	55,68
	Casos	20	20	20	20	19
Corteza 8-15 mm recirculada	Media	59,42	61,85	0,49	1,35	63,22
	Máximo	72,60	65,30	0,58	1,45	77,29
	Mínimo	52,43	56,30	0,33	1,29	55,68
	Casos	3	3	3	3	3
Astilla	Media	82,61	87,50	0,27	1,43	81,04
	Máximo	88,90	90,00	0,32	1,47	85,31
	Mínimo	79,20	85,00	0,22	1,42	77,67
	Casos	4	4	4	4	4
Madera de poda nueva	Media	69,75	86,16	0,25	1,36	81,60
	Máximo	90,89	95,37	0,33	1,58	89,24
	Mínimo	51,65	73,13	0,15	1,22	74,98
	Casos	14	14	13	14	13

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Las combinaciones en el proceso de compostaje incluyen residuos orgánicos con material estructurante con proporción volumétrica mínima para su homogenización.

La relación estructurante/residuo inferior a 1 solo se posibilitan previo a una porosidad adecuada del residuo, la función de esto es mejorar al estructurante. Cuando al residuo le falta porosidad la proporción volumétrica es superior a 1.

Tabla 4-2: Proporción volumétrica mínima aceptable de estructurante para el dimensionamiento.

RESIDUO	Proporción volumétrica estructurante ^a / residuo Volumen _{estructurante} /Volumen _{residuo}	
	Etapa de descomposición	
	Estática	Dinámica
Fracción orgánica de los residuos municipales	1/2	1/3
Lodos u otros materiales pastosos	4/1	2/1

^aEstructurante: astilla, corteza o madera de poda.

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

2.2.30 Otros materiales complementarios

Todos aquellos que materiales que permiten mejorar las características de la mezcla (porosidad y estructura).

Tabla 5-2: Materiales complementarios, los parámetros sobre los que actúan y el sentido de actuación.

MATERIAL	RESIDUO	POROSIDAD ESTRUCTURA	RELACIÓN C/N	pH	HUMEDAD	MATERIA ORGÁNICA FÁCILMENTE BIODEGRADABLE
Agua	No	No	No	No	↑	No
Lixiviado del mismo proceso	Sí	No	No	No	↑	↑ (poco)
Lodos de papelería	Sí	No	↑	No	↓	No
Poso de café	Sí	No	↑	No	No	↑
Paja	No	↑	↑	No	↓	↑
Purín	Sí	No	↓	No	↑	↑ (poco)
Urea	No	No	↓	↑	No	No

Sulfato ferroso	No	No	No	↓	No	No
Carbonato cálcico o cal	No	No	No	↑	Sí (cal)	No

↑ Incrementa el valor del parámetro/ ↓ Disminuye el valor del parámetro

Realizado por: Ocaña Paola, 2021

Finalmente, cabe señalar que algunos de estos materiales complementarios no son residuos, sino materias primas. (Agencia de residuos de Cataluña 2016)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Metodología

3.1.1 *Tipo y Diseño de la Investigación*

El presente trabajo de investigación es de tipo cuasiexperimental en base a las condiciones de diseño que se requieren para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos, las cuales son susceptibles a variar y a ser medibles, pero como se enmarca en un diseño y no en la implementación no se requiere de grupo control o blanco, además es de tipo transversal pues las condiciones de diseño se establecerán en un solo momento.

3.1.2 *Método de investigación*

El método a utilizarse en la investigación es analítico o sistemático ya que se pretende descomponer en sus partes o elementos para observar las causas y efectos y su relación con cada reacción mediante la elaboración de una síntesis general del fenómeno estudiado, por medio del análisis de los parámetros de diseño a establecer y generar un sistema de tratamiento de residuos sólidos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Método deductivo

El tema de investigación propuesto se centra en un método deductivo pues pretende establecer a partir de una teoría definida por medio de la revisión bibliográfica un sistema de premisas, protocolos y procedimiento que permitan el dimensionamiento para el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos. Es decir, ir acoplado una generalidad hacia particularidades definidas según el contexto definido en el área de estudio.

Método experimental

El diseño experimental implica una situación de control en la cual se manipulan, de manera

intencional, una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efectos). Busca establecer un control y validez por medio de una asignación de grupos iguales y el contar con varios grupos de experimentación. (Hernández, Roberto; et al 2018)

3.2 Enfoque de la investigación

El enfoque es de tipo mixto ya que para la ejecución se necesitará el análisis de datos cualitativos (utiliza la recolección y análisis de los datos para afinar las preguntas de investigación o revelar nuevas interrogantes en el proceso de interpretación - diagnóstico de la situación actual) y cuantitativos (utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías - diseño y dimensionamiento de la planta de tratamiento). (Hernández, Roberto; et al 2018)

3.3 Identificación de las variables

3.3.1 *Variable dependiente*

- Cantidad de compost obtenida mensualmente

3.3.2 *Variable independiente*

- Flujo de alimentación de desechos orgánicos
- Tasa de aireación
- Humedad
- Temperatura

3.3.3 Operacionalización de variables

Tabla 1-3: Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO	CONCEPTUALIZACIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
Flujo de alimentación de desechos orgánicos	Variable independiente	Sustrato orgánico o residuo orgánico biodegradable proveniente de diferentes actividades.	Peso (kg)	Balanza
Tasa de aireación	Variable independiente	Requerimientos estequiométricos de oxígeno para las reacciones de descomposición de la materia orgánica, requerimientos de aire para la evacuación de humedad excedentaria (secado), requerimientos de aire para la evacuación del calor restante del proceso.	Tasa de consumo de oxígeno (Miligramos de oxígeno molecular/ gramo de sólidos volátiles por hora)	Sensores de oxígeno
Humedad	Variable independiente	Un medio muy húmedo no permite la circulación del oxígeno y por tanto se pueden crear condiciones anaerobias; un medio muy seco no permite la solubilización de la materia orgánica y por tanto se disminuye la actividad de los microorganismos. Condiciona la porosidad del medio.	Porcentaje en peso	Sensor de humedad
Temperatura	Variable independiente	La actividad biológica se incrementa con la temperatura, debe evitarse una evacuación excesiva que baje la temperatura y ralentice el proceso antes de completarse la degradación del material.	Centígrados (C)	Termómetro
Cantidad de compost obtenida	Variable independiente	Descomposición biológica y estabilización de un sustrato orgánico, bajo condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas en el rango termófilo como resultado del proceso biológico aerobio exotérmico, para producir un producto final estable, libre de patógenos y semillas, y que pueda ser aplicado al suelo de forma beneficiosa	Peso (kg)	Balanza

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

3.3.4 *Matriz de consistencia*

Tabla 2-3: Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL		OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	
¿El diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos para la producción de compost como una alternativa rentable que reduzca los problemas higiénicos, sanitarios y ambientales generados por la incorrecta gestión y manejo de la basura?		Diseñar de una planta de tratamiento de compostaje en pilas estáticas por aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.	A través del diseño de una planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos se obtendrá compostaje en pilas estáticas con aireación forzada en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	VARIABLES ESPECÍFICAS	VALORACIONES
<p>1.- ¿Cuál es la gestión de residuos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo?</p> <p>2.- ¿Cuáles son los parámetros que deben analizarse para el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos?</p> <p>3.- ¿Qué producción de compost se puede procesar como una alternativa rentable en la elaboración de bioproductos?</p>	<p>1.- Diagnosticar la situación actual en la gestión de residuos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.</p> <p>2.- Determinar las condiciones de diseño para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos a través de compostaje en pilas estáticas con aireación forzada.</p> <p>3.- Dimensionar la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante diagramas de flujo y balances de masa y energía.</p>	<p>1.- El diagnóstico de la situación actual en la gestión de residuos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo permitirá reconocer la línea base para el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos.</p> <p>2.- Al determinar las condiciones de diseño se diseñará la planta tratamiento de residuos sólidos orgánicos a través de compostaje en pilas estáticas con aireación forzada.</p> <p>3.- Los diagramas de flujo y cálculos de ingeniería permitirán dimensionar la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos.</p>	<p>Flujo de alimentación de desechos orgánicos</p> <p>Tasa de aireación</p> <p>Humedad</p> <p>Temperatura</p> <p>Cantidad de compost obtenida</p>	<p>Kg</p> <p>Entre 45-65 °C entre 4-14 mg O₂/g SV.h</p> <p>Humedad máxima 40-60%</p> <p>Alrededor de 55 °C temperatura de operación</p> <p>kg</p>

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

3.4 Población de estudio

La población de estudio de la investigación son los residuos sólidos orgánicos generados de las diferentes actividades desarrolladas en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la Panamericana Sur km 1 ½ en la ciudad de Riobamba- Ecuador.

3.5 Unidad de análisis

La unidad de análisis son los residuos sólidos orgánicos que se producen en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

3.6 Selección de la muestra

La selección de la muestra para el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos es por medio de un muestreo por identificación mediante la investigación de la existencia de residuos sólidos orgánicos, y considerando datos existentes en bases que se reportan en investigaciones previas.

3.7 Tamaño de la muestra

Para el tamaño de la muestra no se realizaron cálculos ya que se pretende un muestreo no probabilístico o dirigido, con un procedimiento de selección orientado por las características de la investigación, más que por un criterio estadísticos de generalización.

Por la situación mundial que se vive no es posible cuantificar in situ los residuos sólidos orgánicos, para lo cual se realizó una revisión bibliográfica minuciosa y se encuentran los siguientes datos:

En la recolección de residuos realizados por tres días a la semana (lunes, miércoles y viernes) durante cinco meses desde la ESPOCH hasta el botadero de basura de Porlón se tiene un peso neto promedio de los residuos sólidos generados en la institución que se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 3-3: Resultados de la generación de residuos en la ESPOCH destinados al vertedero

N°	MES	PESO NETO PROMEDIO (kg/día)
1	ABRIL	458,75
2	MAYO	586,25
3	JUNIO	469,00
4	JULIO	447,50
5	AGOSTO	443,83
PROMEDIO		481,07

Fuente: Valencia Washington, 2016

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

En la clasificación y cuantificación de residuos sólidos orgánicos durante tres semanas y tres días se tiene los siguientes resultados:

Tabla 4-3: Resultados de la generación de residuos sólidos orgánicos en la ESPOCH destinados al vertedero

N°	TIPO DE RESIDUO	PESO PROMEDIO (kg/día)
1	ORGÁNICO	53,00
2	ORGÁNICO	49,33
3	ORGÁNICO	47,00
PROMEDIO		49,78

Fuente: Valencia Washington, 2016

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Cuantificación de los residuos sólidos orgánicos procedentes de los bares de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo que se realizó en trabajo de campo durante tres meses:

Tabla 5-3: Resultados de la generación de residuos sólidos orgánicos en la los bares ESPOCH

N°	BARES ESPOCH	PESO PROMEDIO (kg/día) MES 1	PESO PROMEDIO (kg/día) MES 2	PESO PROMEDIO (kg/día) MES 3
1	Recursos Naturales	9,20	10,40	12,40
2	Ciencias Pecuarias	8,70	8,10	9,90
3	Ciencias	4,70	6,10	5,80
4	Medicina	3,00	3,40	3,70
5	Mecánica	6,20	7,40	7,60
6	FADE	4,40	5,00	4,90

7	Asociación de profesores	7,80	5,90	2,80
8	Comedor	62,10	61,60	56,90
TOTAL		64,70	107,80	104,10
PROMEDIO		92,20		

Fuente: Valencia Washington, 2016

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

3.8 Técnica de recolección de datos

La presente investigación se utilizará técnicas de recolección de datos como:

- Análisis de contenido cuantitativo con el objetivo de cuantificar contenidos en categoría o subcategorías y someterlos a análisis estadísticos.
- La observación como método de recolección de datos como un registro sistemático válido y confiable de situaciones observables.
- Datos secundarios revisión de documentos, registros públicos y archivos físicos y electrónicos.

3.9 Datos

3.9.1 Análisis de las características físico-químicas, químicas, biológicas del proceso de compostaje.

Tabla 6-3: Análisis de contenido de carbono orgánico total y nitrógeno.

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD
Nitrógeno Total	Kjeldhal	%
Carbono Orgánico Total	Oxidación Húmeda/ Walkley & Black	%

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Fuente: CESTTA, 2018

Tabla 7-3: Parámetros que se analizan en el laboratorio de la ESPOCH

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD
% Materia Orgánica	Gravimétrico	%
pH	Potenciómetro	Unidades

Conductividad eléctrica	Potenciómetro	ds/m
Cloruros	Volumétrico	mg/kg
Nitratos	Colorimétrico	mg/kg
Sulfatos	Colorimétrico	mg/kg
Pruebas hidráulicas	Gravimétrico	%

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Tabla 8-3: Parámetros que se analizan en el laboratorio de la UMH

PARÁMETROS	MÉTODO/NORMA	UNIDAD
Polifenoles	Espectrofotometría	g/kg
Índice de germinación	Método de Zucchini	%
Fósforo	Espectrofotometría	g/kg
Sodio	Espectrofotometría	g/kg
Potasio	Espectrofotometría	g/kg
Hierro	Espectrofotometría	mg/kg
Cobre	Espectrofotometría	mg/kg
Manganeso	Espectrofotometría	mg/kg
Zinc	Espectrofotometría	mg/kg
Niquel	Espectrofotometría	mg/kg

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Diseño del sistema de tratamiento

En el diseño de la planta de tratamiento por aireación forzada para el tratamiento de residuos sólidos orgánicos se deben considerar parámetros iniciales básicos que aseguren en todo momento minimizar los impactos ambientales (emisiones, lixiviados, polvo, etc.); así como, malos olores y ruidos.

4.2 Consideraciones generales de diseño

4.2.1 *Emplazamiento*

En el diseño respetar una distancia mínima de unos 500 m de núcleos habitados, las instalaciones deben cumplir con (zonas confinadas o tratamiento de gases), además, considerar:

- Alejadas de núcleos familiares.
- Evadir zonas rurales o semirurales.
- Evitar cauces de ríos.
- Evadir zonas inundables.
- Evitar zonas con freáticos muy superficiales.

Por tales consideraciones la localización de la planta de residuos sólidos orgánicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ubicada en la ciudad de Riobamba, provincia de Chimborazo se decide está ubicación por contar con terrenos disponibles, minimizando las distancias de la recogida de residuos.

4.2.2 *Condiciones de trabajo*

- Días totales al año: 365 días
- Domingos y sábados al año: 104 días
- Días festivos al año: 29 días
- Días laborables al año: 232 días

Se trabajará 5 días a la semana.

- Número de turnos al día: Un turno, en todas las zonas de instalación.
- Número de horas en cada turno: 8 horas/turno (8:30 a 16:30).

4.2.3 Vías de acceso

Una correcta disposición de las vías de acceso asegurar un proceso controlado por lo que se considera:

- Capacidad de carga a transportar.
- Poblaciones.
- Número de vehículos que accederán a la planta.

Se establece una sola vía de acceso por el volumen de residuos generados que no es considerable.

4.2.4 Capacidad de la planta

Como dato de partida y según el diagnóstico realizado se recolectan promedio 100 kg/ día de residuos sólidos orgánicos; por lo que el flujo másico: 23,2 Tm/ año.

Por tanto, dadas las condiciones de trabajo:

$$\frac{\left(23,2 \frac{Tm}{año}\right)}{\left(232 \frac{días}{año}\right) * \left(8 \frac{horas}{día}\right)} = 0,013 \text{ ton/hora}$$

Se tomó una capacidad de diseño de los equipos de 0,05 ton/hora.

El área total de la planta es de 800 m² que se irán distribuyendo según las necesidades en las zonas de la planta. (Ver propuesta)

4.2.5 Emisión de olores

Es imprescindible para evitar generar olores considerar:

- Morfología del terreno, zonas elevadas o deprimidas.
- Tipos de residuos a tratar.
- Capacidad de instalación.
- Número de operaciones y zonas a operar.

- Sistemas de aireación (Recirculación).
- Biofiltros o lavadores de gases y su eficiencia.

Tabla 1-4: Datos meteorológicos promedio a considerar para estudios preliminares de posibles impactos de olor de los últimos seis meses

DATOS METEOROLÓGICO		MARZO 2021	ABRIL 2021	MAYO 2021	JUNIO 2021	JULIO 2021	AGOSTO 2021
TEMPERATURA (°C)	Max.	20,10	20,40	20,00	19,50	19,80	20,50
	Min.	8,30	8,40	8,30	7,40	7,80	8,10
	Media	12,90	13,50	13,50	12,80	12,50	12,80
HUMEDAD RELATIVA %	Max.	94,70	97,00	95,00	96,40	95,10	95,50
	Min.	42,30	60,00	44,10	44,30	37,60	35,90
	Media	77,50	85,80	75,80	76,30	71,60	70,30
PRECIPITACIÓN (mm H ₂ O)		25,60	21,8	12,60	16,90	1,80	3,70
EVAPORACIÓN (mm)		3,00	3,90	3,50	3,80	4,00	4,30
VIENTO	Dirección	SE	SE	SE	SE	SE	SE
	Velocidad m/s	1,40	1,70	1,60	1,60	1,90	2,00
PRESIÓN ATMOSFÉRICA (mm Hg)		543,90	544,10	544,80	545,00	545,10	545,10

Fuente: Estación Agrometeorológica de la Facultad de Recursos Naturales. ESPOCH

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Con el fin de realizar una adecuada estimación inicial de la emisión y la gestión de olores de la planta de compostaje se anexa una guía de gestión de olores. (Anexo A)

4.2.6 Infraestructura mínima de la instalación

- Señalética.
- Delimitación de áreas de trabajo, zonas de almacenamiento, tipos de residuos y productos obtenidos.
- Identificación de tipo de residuos y almacenamiento.
- Identificación de material estructurante.
- Tiempo de operación.
- Equipos, maquinaria y tecnología a emplear.
- Zonas de procesamiento y almacenamiento.
- Adecuación de vías de acceso.
- Diferenciación de zonas de entrada de residuos orgánicos, almacenamiento y distribución de compost.
- Áreas de limpieza.
- Zonas de pesaje.
- Manejo de lixiviados, aguas sucias, pluviales
- Reducción de impacto ambiental.

4.2.7 Etapas – operaciones

En una planta de compostaje se pueden distinguir las siguientes operaciones:

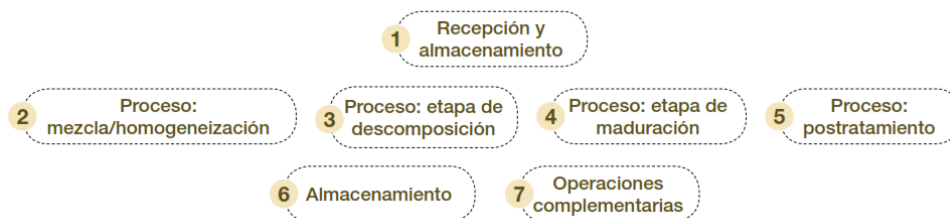


Figura 1-4: Etapas de compostaje

Realizado por: Agencia de residuos de Cataluña, 2016

4.2.7.1 Recepción y almacenamiento de los materiales

Esta etapa engloba todas las operaciones que tienen lugar entre la llegada de los materiales a la

planta y el inicio de su pretratamiento.

1) Ingreso de la materia a comportar.

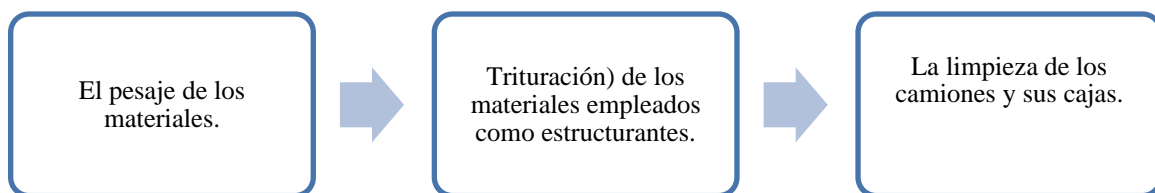
2) Zona de descarga de materiales en el área de almacenamiento o para zonas intermedias por la ayuda de palas mecánicas.

3) Identificación de materiales, registro de entrada y salida (día, hora, productor, código CER-Clasificación Estadística de Residuos, cantidad, etc.). (Anexo B)

4) Zona de almacenamiento temporal de material aún no tratado, en caso de que la descarga del material no sea inmediata a su tratamiento.

5) Zona de salida de vehículos.

FASES:

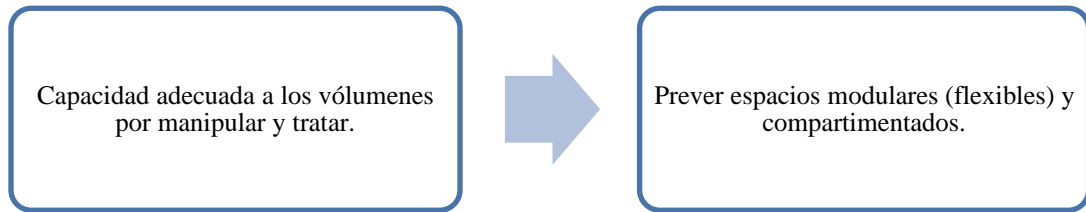


4.2.7.2 Alternativas tecnológicas

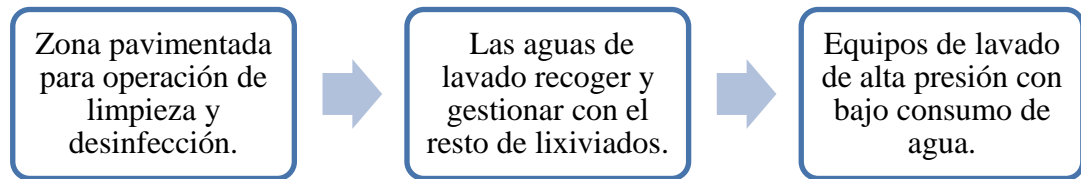
Zonas de descarga y de almacenamiento temporal y equipos de vaciado de este almacenamiento

- Control de parámetros físicos: humedad, pastosidad y granulometría.
- Recepción de volumen según la capacidad de trabajo en la planta.
- Garantizar etapas de operación y mantenimiento.
- Considerar condiciones climáticas del medio que podrían alterar las características del material. (lluvia).
- Zonas de confinamiento de residuos que generan malos olores.

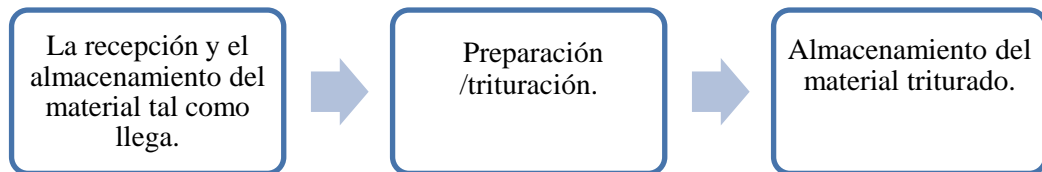
ZONA DE DESCARGA



LIMPIEZA DE LOS VEHÍCULOS



ZONA DE DESCARGA Y DE ALMACENAMIENTO DE LA FRACCIÓN VEGETAL



PESAJE

Necesidad de báscula en las instalaciones de compostaje:

Tabla 2-4: Capacidad de tratamiento nominal

MATERIAL PARA COMPOSTAR	Capacidad de tratamiento nominal		
	< 1000 t/año	1000-6000 t/año	> 6000 t/año
Fracción vegetal	Exenta	Exenta	Exenta
Estiércol	Exenta	Exenta	Báscula
Resto de residuos de baja y alta degradabilidad	Exenta	Báscula	Báscula

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

SOLERA

Las áreas de recepción y almacenamiento de residuos deben disponerse en soleras pavimentadas

(hormigón) que además dispongan de inclinaciones que faciliten la conducción de lixiviados hacia sistemas de tratamiento.

ZONA DE ALMACENAMIENTO TEMPORAL

- Las zonas de almacenamiento temporal dependen de la naturaleza de los residuos para aquellos de baja degradabilidad no se requiere de estas áreas.
- Para residuos de alta degradabilidad se puede confinar al aire libre, siempre que se cumpla con los parámetros establecidos en el emplazamiento, especialmente factores asociados a la salud laboral, control de malos olores, en estos casos utilizar balsas que permitan un sistema de aireación superficial.
- Para todos los demás casos se recomienda almacenamiento por naves, silos o depósitos cerrados con sistemas de extracción y tratamiento de gases.

Tabla 3-4: Duración y capacidad máximas del almacenamiento temporal

Almacenamiento residuos baja degradabilidad	No superar los noventa días cuando, por efecto de la actividad microbiana, haya riesgo de autoencendido.
	Puede tener duración limitada si existen estos riesgos.
Almacenamiento residuos alta degradabilidad	No puede superar más de tres días en caso de que más de un 80% de su peso sean residuos de alta degradabilidad preestabilizados, y por veinticuatro horas en los otros casos deben pretratarse el mismo día en que llegue a la instalación.
	La capacidad de almacenamiento no puede superar el triple de la cantidad diaria de tratamiento previsto para la instalación.

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

4.2.7.3 Parámetros de diseño que deben concretarse

La caracterización físico-química, química y biológica de los materiales iniciales a ser utilizados en la pila de compostaje con el fin de conocer sus características.

Los resultados de los parámetros presentados a continuación se realizaron en los laboratorios de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH y en los laboratorios de Agrocalidad.

Tabla 4-4: Caracterización inicial de los residuos sólidos orgánicos.

N°	PARÁMETROS ANALIZADOS	RESULTADO MUESTRA			UNIDAD	MÉTODO
		KIKUYO	RSO ESPOCH	PALMA		
1	Cenizas	51,11	13,69	32,21	%	Gravimétrico
2	Materia orgánica	48,89	86,31	67,79	%	Gravimétrico
3	Nitrógeno	1,48	1,86	0,85	%	Dumas
4	Fósforo	0,09	0,20	0,10	%	Colorimétricos
5	Potasio	0,53	2,07	0,80	%	Absorción atómica
6	Calcio	1,52	2,65	1,62	%	Absorción atómica
7	Magnesio	0,055	0,13	0,39	%	Absorción atómica
8	Hierro	5786,53	568,50	4400,90	Ppm	Absorción atómica
9	Manganeso	102,84	21,10	66,15	Ppm	Absorción atómica
10	Cobre	24,99	7,00	28,08	Ppm	Absorción atómica
11	Zinc	39,18	23,80	52,66	Ppm	Absorción atómica
12	Conductividad eléctrica*	2,06	9,05	4,02	μS	Potenciométrico
13	Humedad*	5,30	80,78	13,37	%	Gravimétrico
14	pH*	7,94	8,80	5,80	Unidades	Potenciométrico
15	Carbono*	26,57	46,91	36,84	%	

*Análisis realizados en la ESPOCH

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Fuente: Agrocalidad

Según las características identificadas en los residuos sólidos orgánicos se ve la necesidad de una sola fase que incluye la descarga y almacenamiento con cuatro operaciones complementarias (pesaje en la instalación, identificación y control de parámetros iniciales, preparación estructurante y lavado de camiones).

Se deberá realizar un inventario del material que se recibe:

- El tipo de descarga.

- La duración máxima de almacenamiento.

La ubicación del material se realizará al aire libre en nave cerrada con las siguientes dimensiones:

20m x 40 m (800 m²). El plano de la planta se anexa en la propuesta indicada en el capítulo siguiente.

Modo de operar: Manual de explotación y el plan de seguridad específico (Anexo C).

4.2.7.4 Pretratamiento: mezcla u homogeneización

En la etapa inicial de recepción de los materiales a compostar se verifica que sus características no son las adecuadas para el proceso por lo que se recurre a mezclas para valores ideales.

Esta etapa consiste en la operación de mezclar diferentes materiales con el fin de afinar los materiales gruesos, para aumentar la superficie microbiana y como ello garantizar la efectividad del proceso:

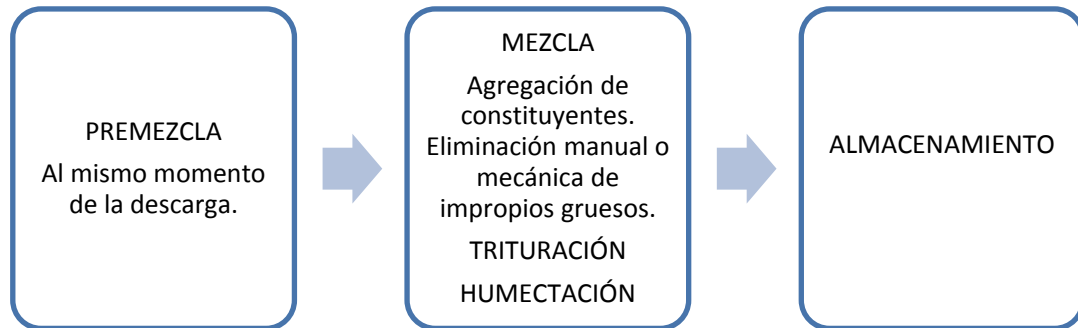
- Porosidad (Circulación de aire al interior y retención de agua).
- Estructura (Mantenga porosidad en el apilamiento).
- Alcanzar humedad y pH para garantizar actividad microbiana.
- Cantidad de adecuada materia orgánica para completar el ciclo de compostaje.
- La relación Carbono/Nitrógeno baja para evitar pérdidas de nitrógeno.
- Contenido mínimo de otros materiales esenciales para los microorganismos.

Tabla 5-4: Variables esenciales del proceso de compostaje y rango de características óptimas de los materiales o mezclas que se han de compostar.

VARIABLE	RANGO	UNIDADES
Humedad	50-70	%
Porosidad	25-35	%
C/N	25-35	Tanto por uno
N/P	<10	Tanto por uno
pH	6,00-8,00	--
Materia orgánica	>40	%

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

FASES



Alternativas tecnológicas

Equipos de preparación del estructurante

Se debe considerar materiales vegetales: madera de poda, restos florales, cortezas:

- Capacidad de trabajo según el volumen a preparar y el tamaño de la fracción vegetal.
- Granulometría adecuada del producto.
- Versatilidad en el tamaño.
- Capacidad de eliminar metales (por ejemplo, clavos en páles).
- Resistencia ante materiales que no forman parte del proceso.
- Considerar ramas largas, delgadas y material fibroso.

Equipos para la dosificación y la preparación de la premezcla.

Pala mecánica versátil a la hora de manipular materiales considerando el número de constituyentes.

Equipos de mezcla u homogeneización

- Capacidad de tratamiento.
- Tipo de alimentación.
- Control de la humedad.
- Trituración de residuos gruesos.
- Equipo móvil.
- Acometidas eléctricas.

- Facilidad de limpiar el equipo.

Incorporación de líquidos

En la fase inicial de incorporación de materiales la humedad es un factor a considerar, pues debe estar en los valores deseables, si esta no alcanza el porcentaje requerido se debe incorporar agua o residuos acuosos (lixiviados producidos del propio compostaje). Pero para residuos orgánicos líquidos se puede aceptar máximo una cantidad del 10% con respecto a la capacidad de tratamiento.

Consideraciones:

- Caracterización analítica.
- Al incorporar líquidos no debe conducir a la generación de lixiviados, sino al control de la humedad.
- Zona de almacenamiento hasta su procesamiento.
- No provocar desencajes en las proporciones de nutrientes esenciales requeridos para la actividad microbiana.

4.2.7.5 Etapa de descomposición

Es la etapa de descomposición biológica de las moléculas con la liberación de energía y evaporación del agua contenida en el material, la formación de ácidos orgánicos permite la disminución del pH, se evidencia además reducción de peso y volumen y estabilidad parcial e higienización del material.

- Es esta etapa se requiere evitar incremento de temperatura, por aireación o incorporación de líquidos.
- Requerimiento de oxígeno evitando condiciones anaeróbicas.
- Cuidar las pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco.

Recirculación forzada

Proceso que permite un aporte de aire (O₂) adecuado para garantizar las actividades microbianas, minimizando olores desagradables. La aireación forzada puede ser por impulso o aspiración; puede complementarse con el volteo. Requiere además un período de higienización para la masa de material biodegradable a compostar.

El requerimiento de oxígeno y el tiempo requerido calculados que se muestra en la Tabla 1-5 resultados del dimensionamiento del sistema de aireación:

Flujo de aire: 92.14 m³/día

Operación del ventilador: 1min/h

Tabla 6-4: Recomendaciones americanas sobre la temperatura y duración mínima.

TEMPERATURA	DURACIÓN MÍNIMA
55 ° C	3 días
60 ° C	1 día
65 ° C	3 horas
70 ° C	1 hora

Fuente: EPA 1999

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Tabla 7-4: Duración de etapas de descomposición.

Residuos de baja degradabilidad	Se considera conjuntamente etapa de descomposición y maduración.
Más del 80 % de la masa de los Residuos de alta degradabilidad preestabilizados	2 semanas
Más del 20 % de la masa de los Residuos de alta degradabilidad no preestabilizados	4 semanas

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

El tiempo de descomposición varía acorde a lo siguiente:

- Escasa ventilación de aire caliente o que no exista control de temperatura.
- No contar con cubiertas transpirables.
- Sin fase de homogenización.

Cálculo de la superficie necesaria

Considerar el volumen de residuos por tratar semanalmente, la duración del proceso, la proporción de estructurante y los espacios necesarios (espacio entre pilas, espacio de maniobra). No se incluye la superficie del movimiento de maquinaria o equipos complementarios.

$$Sd = Qd \times \left(\frac{Vm}{Mr}\right) \times \left(\frac{1 \text{ año}}{52 \text{ semanas}}\right) \times td \times \left(\frac{1}{CCd}\right)$$

Dónde:

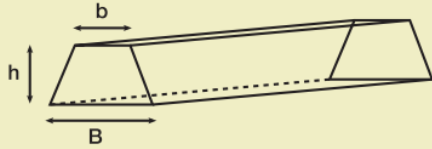


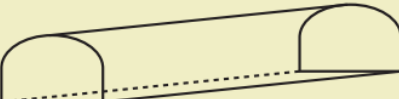
Sd= superficie necesaria para la etapa de descomposición

Qd= capacidad de diseño de la instalación, equivalente a la capacidad nominal de la instalación Qn (toneladas de residuo que se prevé tratar anualmente), multiplicado por el factor de seguridad 1,10.

Vm/Mr= volumen en metros cúbicos que resulta de la mezcla del residuo con los diferentes estructurantes y otros materiales complementarios en las proporciones definidas, referido a cada tonelada de residuo por tratar.

td= duración, en semanas, que requiere la etapa de descomposición.

CCd= capacidad de carga o volumen en metros cúbicos del material o mezcla para compostar que es posible acumular por cada metro cuadrado de superficie, de acuerdo con la opción tecnológica elegida para esta etapa.

SECCIÓN	FORMA DEL APILAMIENTO	SUPERFICIE DE LA SECCIÓN
Trapezoidal		$S = (B + b)/2 \cdot h$
Triangular		$S = (B \cdot h)/2$
Rectangular		$S = (B \cdot h)$
Semicircular		$S = \lambda \cdot (B/2)^2/2$

$CCd = S/B^3$

Figura 2-4: Formas de apilamiento

Realizado por: Agencia de residuos de Cataluña, 2016

Dimensionamiento:

Para el cálculo de la pila consideramos una forma de apilamiento triangular donde:

Superficie de sección

$$S = \frac{B \times h}{2}$$

$$S = \frac{2 \text{ m} \times 2 \text{ m}}{2}$$

$$S = 2 \text{ m}^2$$

Dónde:

S= Superficie de la sección

Base (B): 2 m

Altura (h): 2 m (ANEXO D)

Capacidad de carga

$$CCd = \frac{S}{B^3}$$

$$CCd = \frac{2 \text{ m}^2}{8 \text{ m}^3}$$

$$CCd = 0,25 \text{ m}$$

Superficie necesaria para la etapa de descomposición

$$Sd = Qd \times \left(\frac{Vm}{Mr}\right) \times \left(\frac{1 \text{ año}}{52 \text{ semanas}}\right) \times td \times \left(\frac{1}{CCd}\right)$$

$$Sd = 19,71 \frac{\text{Ton}}{\text{año}} \times (1 \text{ m}^3) \times \left(\frac{1 \text{ año}}{52 \text{ semanas}}\right) \times 4 \text{ semanas} \times \left(\frac{1}{0,25 \text{ m}}\right)$$

$$Sd = 6.06 \text{ m}^2$$

La superficie requerida para cada pila es de 6.06 m², con una capacidad de procesar 100 Kg/día de residuos que se generan en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; para la planta se requiere de cuatro pilas para procesar una lote semanal, considerando 4-6 semanas de descomposición para cada pila se utilizará una pila para cada semana, según bibliografía consultada combinar aireación forzada y volteos manuales ayudan a obtener abonos tipo A ya que existe una mayor oxigenación, lo cual intensifica la acción de los microorganismos termofílicos, favoreciendo

las altas temperaturas en las pilas de compostaje, lo que a su vez, permite la degradación de las fracciones orgánicas más resistentes; por lo que, se considerada un espacio para la pila volteada.

Ventilación forzada

Permite el paso del aire por tuberías diseñadas en el suelo, que garanticen cantidad óptima de oxígeno, se lo realizará según las condiciones de diseño con recirculación continua y con variación de caudal considerando según bibliografía una aireación adecuada mantiene la aerobividad; controla olores, temperatura, remoción de humedad, permite una tasa alta de degradación y la obtención de un compost seco y estabilizado. En general, en procesos de aireación forzada, se recomienda un flujo de aire promedio de 23 m³/h por tonelada de lodo seco para una estabilización rápida de lodos; sin embargo, la literatura no es concluyente sobre la tasa óptima de aireación.

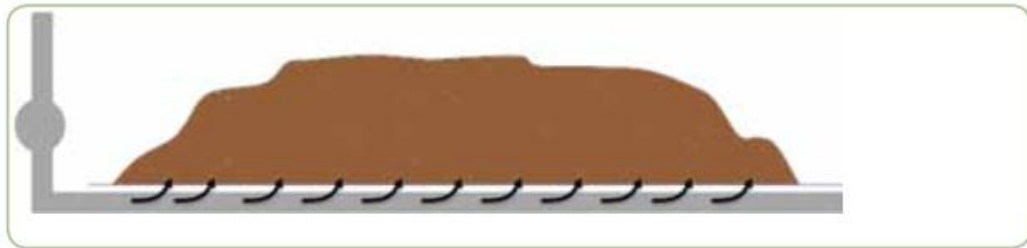


Figura 3-4: Sistema de aireación forzada.

Realizado por: P. Roman. FAO

4.2.7.6 Etapa de maduración

En la etapa de maduración, aunque existe descomposición de materia orgánica, tiene menos importancia, no hay consumo de energía ni liberación de energía. Por esto en esta etapa la temperatura debe ir disminuyendo gradualmente. No requiere de control exhaustivo, pero se debe evitar:

- Temperaturas demasiado elevadas (Puede ralentizar o inhibir la actividad microbiana).
- Sequedad excesiva.

Aireación forzada

Cuando disminuya la porosidad del material que entra en la maduración, cuando los apilamientos sean muy grandes y de alturas elevadas es recomendable un sistema de aireación forzada.

Duración de la etapa

Residuos de baja degradabilidad (Considerar conjuntamente etapas de descomposición y maduración con un promedio de seis semanas en función de las características del material).

Residuos de alta degradabilidad la duración mínima es de seis semanas. (ANEXO H)

Incorporación de líquidos

- Poca humedad que no permita actividad microbiana.
- Por la propia actividad microbiana se seque demasiado.

Considerar equipos que aporten agua:

- Uso de agua de calidad.
- NO uso de lixiviados.
- Puede usarse aguas pluviales sucias.

Sistemas tecnológicos

Se puede emplear pilas extendidas, la oxigenación de manera espontánea.

4.2.7.7 Postratamiento

Conjunto de operaciones para finalizar con la maduración de compost:

- Recuperar estructurante.
- En el caso de existir material que no sea compost tratar de eliminarlo.
- Gestionar estructurante recuperado.
- Determinar granulometría requerida.

Fases

- Cribado.
- Eliminación de material inservible.
- Mejorar características del estructurante.
- Análisis de compost para comercializar.
- Comercialización.

Materiales

- Compost (De diferentes granulometrías, así como fertilizantes)
- Estructurante (La totalidad o fracción del estructurante recuperado).
- Rechazos (son impropios no utilizados y que se envían fuera de las instalaciones).

Operaciones

Cribado

Como objetivo eliminar impropios de tamaño grande y recuperar estructurante, en la fase final de descomposición o maduración.

Considerar:

- Volumen a tratar.
- Posibilidad de cambiar luz de criba.
- Humedad variable en materiales.
- Limpieza de equipos.
- Acoplar sistemas para retención o eliminación de polvos.

Para equipos de mezcla considerar:

- Capacidad de tratamiento.

- Variabilidad de preparación de productos.
- Limpieza.

Equipos de envasado

- Ensacadoras.

4.2.7.8 Almacenamiento de compost y operaciones complementarias

Comprende la disposición final del compost y su salida.

Considerar:

- Producto estable.
- Emergencias.
- Trazabilidad.
- Reducción de contaminación.

Fases

- Transporte
- Almacenamiento.
- Comercialización de compost.

Duración

- Dos meses para producto maduro para uso agrícola y de jardinería.
- Dos semanas compost fresco para agricultura.
- Menos de dos semanas compost no apto para uso agrícola.

Características del almacén

- No se necesita confinamiento, pues el compost no genera malos olores.
- El área de almacenamiento puede ser de tierra.
- Debe existir una zona techada que garantice la calidad del producto.
- El compost debe ser ensacado pues sus partículas son muy finas y pueden arrastrarse por el viento.

4.2.7.9 Instalaciones y equipos complementarios

En el diseño y dimensionamiento básicos de la planta de tratamiento de residuos sólidos es imprescindible considerar:

- Zonas de procesamiento de material, almacenamiento, laboratorio, oficinas y servicios higiénicos.
- Zonas de pesaje.
- Depósitos de lixiviados.
- Control de partículas contaminantes (polvo).
- Áreas de seguridad.

- Zonas destinadas al almacenamiento de combustibles.
- Equipos, materiales e insumos de limpieza.
- Equipos contra incendio.
- Estación meteorológica.

4.2.7.10 Edificios

Los procesos de compostaje requieren de zonas de equipamiento e infraestructura básica como las siguientes:

- Zonas de servicio de trabajadores.
- Laboratorios y oficinas.
- Áreas de control de entrada y salida de material.
- Estacionamiento de montacargas.
- Zonas de mantenimiento.
- Estacionamiento de vehículos particulares.

4.2.7.11 Zona perimetral

Es importante que el proceso de compostaje se considere una delimitación adecuada de las zonas de operación, control y mantenimiento, considerando el tipo de residuo y los productos finales obtenidos:

- Controlar el ingreso de personal no autorizado y animal.
- Control en entrada y salida de material.
- Control vehicular.

4.2.7.12 Los lixiviados

Material líquido que se produce a consecuencia de los residuos del alta degradabilidad y de baja degradabilidad sin incluir estructurantes en el proceso de compostaje en cada una de las etapas incluido la descomposición y maduración.

Además se incluye las aguas pluviales que se recogen en los diferentes puntos o fases del proceso cuando este se desarrolle en zonas descubiertas:

- Estructurarte recuperado.
- Zonas de descarga y almacenamiento de residuos del alta degradabilidad y de baja degradabilidad.
- Áreas destinadas a la descomposición y maduración.
- De áreas de servicio paralelas como lavado de vehículos.
- Bioflitros.

Gestión

Los lixiviados generados en cada etapa del proceso de compostaje deben recogerse y almacenarse

adecuadamente:

- Utilizar en etapas de descomposición para incorporación de líquidos y garantizar fase termófila de higienización.
- Planta de tratamiento de lixiviados.
- Deben ubicarse en zonas externas.
- Incluir todos los lixiviados generados (agua de lavado de camiones).
- Efluentes de servicios de sanitarios.

4.2.7.13 Sistemas de tratamiento de gases

A consecuencia de las reacciones, el proceso microbiano y la naturaleza del compostaje se puede generar gases de olor desagradable e incluso nocivo para la salud de las personas en relación directa con esta actividad. Para controlar este foco de contaminación se debe disponer de un sistema de recogida y tratamiento, que permitan la evacuación de estos gases de la planta de compostar por múltiples razones de salud y medioambientales.

Considerar:

- Naturaleza del gas contaminante emitido a la atmósfera, para prever su existencia y abundancia según la concentración de los siguientes tipos de compuestos:
- Por las bajas relaciones C/N se puede generar amoníaco.
- Ácidos orgánicos, sulfuro de hidrógeno y sulfuros orgánicos, por reacciones o fases anaeróbicas.
- Compuestos volátiles (compuestos azufrados, compuestos aromáticos, terpenos, aldehídos, cetonas, alcoholes, ésteres, etc.).

Lavadores húmedos (scrubbers)

Consisten en purificar el aire por el contacto directo con agua o sustancias químicas disueltas.

Lavadores secos

Tratar el aire por medio de cámaras que contienen un relleno inorgánico con productos químicos reacciones con gases de olor desagradable y los inactivan.

Biofiltro

Reactores de dos cámaras que consisten en:

- Cámara uno es un distribuidor de aire a tratar.
- La segunda contiene material poroso con microorganismos muy variados que destruyen los gases de mal olor contenidos en el aire que puede ser:
- Material biodegradable (cortezas, madera de poda, astillas)
- Sintético o inorgánico costosos pero con vida útil más larga.

Biofiltro percolador

Es un biofiltro convencional relleno de material no biodegradable que contiene una solución acuosa.

Oxidación térmica

Hornos de alta temperatura —entre 350 y 400 °C con la ayuda de catalizadores y entre 650 y 800 °C sin catalizadores—de los compuestos orgánicos presentes en el aire por tratar, que se convierten en CO₂, H₂O, SO₂ y NO.

Adsorción

Utiliza material sólido adsorbente —carbón activo, gel de sílice, zeolitas, óxidos metálicos— que retiene en su superficie las sustancias olorosas.

Modificadores de olores

Utilizan agua o aire como vehículo, anulan los efectos de los compuestos que generan malos olores.

Condensación

Trata gases de olores desagradables enfriándolos con intercambiadores de calor bajo temperaturas de condensación.

4.2.7.14 Sistemas de eliminación de polvo

Evitar la generación de polvo garantiza la seguridad y salud laboral:

- Control de humedad.
- Mantenimiento adecuado de equipos.
- Se recomienda zonas de operación cubiertas.

Hay procesos que por su naturaleza generan polvo (cribado), por lo que se recomienda aspiración inmediatas a través de ciclones o filtros de manga con vaciado continuo.

4.2.7.15 Instalaciones contra incendios

Considerar el riesgo de incendios por:

- Materiales orgánicos y secos: fracción vegetal es importante corregir adecuadamente la humedad, el compost y los rechazos.
- Controlar temperaturas altas que podrían generarse hasta inflamar determinados materiales.
- Determinar medidas contra incendios, protocolos materiales e insumos.

4.2.7.16 Estación meteorológica

Considerar los siguientes datos para el control del proceso de compostaje:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Dirección del viento
- Velocidad del viento
- Presión

- Lluvia

4.3 Cálculos

4.3.1 Datos:

Tabla 8-4 Datos considerados para cálculos

Cantidad de materiales a tratar	2000 kg
Humedad de los materiales	70%
Humedad deseada	60%
Temperatura del aire que entra a la pila T_e	13° C
Temperatura de salida del aire de la pila T_s	60° C
Humedad relativa del aire de entrada (13° C)	77%
Humedad relativa del aire de salida (60° C)	99%
Presión atmosférica total (Pt)	545.10 mmHg
Densidad del aire de entrada (13° C)	1.2334 kg/m ³

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

4.3.2 Cálculo de la cantidad de sustrato tratado

Se determina la razón de sustrato tratado por día:

$$C_s = \left(\frac{2000 \text{ kg}}{20 \text{ días}} \right) = 100 \frac{\text{kg residuo}}{\text{día}}$$

4.3.3 Cálculo de la cantidad de la cantidad de agua a remover de la mezcla de materiales

$$m_{\text{arem}} = \frac{m_{h1} (H_1 - H_2)}{100 - H_2}$$

Dónde:

m_{arem} es la masa de agua a remover (kg)

H_1 es la humedad inicial de la mezcla a compostar

H_2 es la humedad deseada del material

m_{h1} es la masa del material de la mezcla a compostar (kg)

Para extraer la humedad excesiva del material en el proceso

$$m_{arem} = \frac{100(70 - 60)}{100 - 60}$$

$$m_{arem} = 25 \text{ kg agua} = 55.12 \text{ lb agua}$$

La cantidad de agua que se deberá remover será 25 kg.

4.3.4 Cálculo de la cantidad de la cantidad de aire necesario para remover la humedad

$$\log PVS = \left(\frac{a}{T_a} \right) + b$$

Dónde:

PVS es la presión de vapor de agua saturado (mmHg)

a es una constante, 2238 para vapor de agua.

b es una constante, 8.896 para vapor de agua.

T_a es la temperatura (K)

Aire de entrada:

$$\log PVS = \left(\frac{-2238}{286.15} \right) + 8.896$$

$$PVS_e = 11.88 \text{ mmHg}$$

Aire de salida:

$$\log PVS = \left(\frac{-2238}{333.15} \right) + 8.896$$

$$PVS_e = 150.77 \text{ mmHg}$$

La presión de vapor se calcula por:

$$PV = (HR)PVS$$

Dónde:

PV es la presión de vapor de agua.

HR es la humedad relativa del ambiente.

Cálculo de la presión de vapor de agua del aire de entrada y salida:

Presión de vapor de agua en el aire de entrada:

$$PV = (0.77)11.88mmHg$$

$$PV_e = 9.1476 mmHg$$

Presión de vapor de agua en el aire de salida:

$$PV = (0.99)150.77mmHg$$

$$PV_s = 149.26 mmHg$$

Cálculo de la humedad específica del aire de entrada y salida:

$$W = 0.622 \left(\frac{P_v}{P_t - P_v} \right)$$

Dónde:

W es la humedad específica (lb agua/ lb aire seco)

P_v es la presión de vapor de agua, mmHg

P_t es la presión atmosférica total, mmHg

Humedad específica del aire de entrada:

$$W = 0.622 \left(\frac{9.1476}{544.58 - 9.1476} \right)$$

$$W = 0.01 \left(\frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire seco}} \right)$$

Humedad específica del aire de salida:

$$W = 0.23 \left(\frac{\text{lb agua}}{\text{lb aire seco}} \right)$$

Cálculo de la cantidad de aire requerida para remover el agua:

$$m_{\text{aire}} = \frac{\text{masa de agua a remover (lb)}}{W_s - W_e}$$

$$m_{\text{aire}} = \frac{55.12 \text{ (lb)}}{0.23 - 0.01}$$

$$m_{\text{aire}} = 250.54 \text{ lb aire seco} = 113.64 \text{ kg aire seco}$$

4.3.5 Cálculo del flujo de aire requerido para remover la humedad

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{m_{\text{aire}}}{\rho_{\text{aire}} t}$$

Dónde:

Q es el flujo de aire, m³/min

ρ_{aire} es la densidad del aire kg/m³

m_{aire} es la masa de aire (kg)

t es el tiempo (minuto, hora o día dependiendo de la tasa de aireación establecida)

La densidad del aire a 13 °C se calcula usando la tabla de propiedades del aire Anexo I interpolando valores:

$$\frac{(15 - 10)}{(1.225 - 1.246)} = \frac{(13 - 10)}{x - 1.246}$$

$$x = 1.2334$$

Cálculo del requerimiento de aireación para remover la humedad:

$$Q = \frac{113.64}{1.2334 \text{ día}}$$

$$Q = 92.14 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 3.84 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Para que el material cuente con humedad óptima de 60 % se estima un requerimiento de aireación de 92.14 m³/día para la mezcla de materiales.

4.3.6 Selección del ventilador

Para la selección del ventilador se debe considerar los requerimientos de aireación para atravesar el sustrato, se recomienda el uso de un dispositivo de aireación de 4'' de salida, como una alternativa más adecuada en los sistemas de aireación para pilas estáticas, por razones de vencer la tendencia a la compactación de la materia en contacto con los orificios de salida del aire, y taponamiento de los mismos.

Por los cálculos anteriores se selecciona un ventilador de ¾ Hp.

Tabla 9-4 Características del ventilador

MARCA	Century Tools
POTENCIA	550W ¾ Hp
VOLTAJE	110 V
CORRIENTE	5 Amps
FRECUENCIA	60 Hz
R.P.M.	3600
DIMENSIONES	4400*350*390 mm
DIÁMETRO DEL CONDUCTO DE SALIDA	4'' / 0.105 m

PRESIÓN ESTÁTICA	780 Pa / 3.13 Wc
------------------	------------------

Fuente: Century Tools Inc.
Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

4.3.7 Determinación del tiempo de operación del ventilador (Top)

La demanda de aireación para oxigenar la mezcla de materiales se establece para pilas con capacidad de tratamiento de 200 Kg en intervalos de aireación de 1 minuto por cada hora.

4.3.8 Cálculo del sistema de tuberías

$$h_{L1} = h_{L2}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

Datos:

Sistema de tuberías PVC 4'' Cédula 80, diámetro interno 0.1015 m, longitud 2.35 m L1=L2.

4.3.9 Cálculo del caudal y área de sección transversal de las tuberías 1 y 2:

$$A = \pi \left(\frac{D^2}{4} \right)$$

$$A = \pi \left(\frac{0.1015^2}{4} \right)$$

$$A = 8.09 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$Q = 26 * 8.09 \times 10^{-3}$$

$$Q = 0.21 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} = 757.35 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Tabla 10-4 Datos adicionales para cálculos del sistema de tuberías

DATOS ADICIONALES		FUENTE
Densidad del aire a 13 °C ρ	1.2334 kg/m ³	Tabla de propiedades del aire a 1 atm de presión (interpolación)
Viscosidad Cinemática del aire a 13 °C ν	1.425x10 ⁻⁵ m ² /s	Tabla de propiedades del aire a 1 atm de presión (interpolación)
Coefficiente de rugosidad absoluta ϵ	1.5x10 ⁻⁶ m	Valores típicos de coeficientes de rugosidad (Anexo K)
CONSTANTE DE ACCESORIOS		
Accesorio	L/D	Fuente

T	67	Coefficientes L/D en pérdidas singulares
Codo 90 radio corto	32	Coefficiente L/D en pérdidas singulares (Anexo J)

Fuente: Víctor Valverde, 2015

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Reemplazando: $V = \frac{Q}{A}$

Dónde:

Q es el caudal del aire (m³/s)

A es el área de sección transversal de la tubería (m²)

En las ecuaciones para:

Cálculo de pérdidas por fricción en la tubería:

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} = f \frac{L Q^2}{D 2g * A^2}$$

H_f es la carga debida a la fricción (m)

f es el factor de fricción de Darcy (adimensional)

L es la longitud de la tubería (m)

V es la velocidad media del fluido (m/s)

g es la aceleración de la gravedad ≈ 9.80665 m/s²

Cálculo de pérdidas por accesorios:

$$h_{acc} = \frac{k V^2}{2g} = \frac{k Q^2}{2g * A^2}$$

Dónde:

K es la constante para cada accesorio

V es la velocidad del fluido

g es la aceleración de la gravedad

Para T: $L/D=67 \rightarrow k=67f_T$

Para T: $L/D=32 \rightarrow k=32f_T$

Para la T:

$$h_t = \frac{67f_T Q^2}{2g * A^2}$$

Para codo de 90°:

$$h_{cod} = \frac{32f_T Q^2}{2g * A^2}$$

Pérdidas totales:

$$h_L = h_{f1} + h_{acc1}$$

$$h_L = h_{f1} + h_T + h_{cod}$$

$$h_L = \left[\left(f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2g * A^2} \right) + \left(\frac{67f_T Q^2}{2g * A^2} \right) + \left(\frac{32f_T Q^2}{2g * A^2} \right) \right]$$

Sacando factor común: $\frac{Q_1^2}{2g * A_1^2}$

$$h_L = \left(\frac{Q^2}{2g * A^2} \right) \left[\left(f \frac{L}{D} \right) + 67 f_T + 32 f_T \right]$$

Para el tramo de tubería 1:

$$h_{L1} = \left(\frac{Q_1^2}{2g * A_1^2} \right) \left[\left(f_1 \frac{L_1}{D_1} \right) + 99 f_T \right]$$

Para el tramo de tubería 2:

$$h_{L2} = \left(\frac{Q_2^2}{2g * A_2^2} \right) \left[\left(f_2 \frac{L_2}{D_2} \right) + 99 f_T \right]$$

Iguando las pérdidas:

$$\left(\frac{Q_1^2}{2g * A_1^2}\right) \left[\left(f_1 \frac{L_1}{D_1}\right) + 99 f_T\right] = \left(\frac{Q_2^2}{2g * A_2^2}\right) \left[\left(f_2 \frac{L_2}{D_2}\right) + 99 f_T\right]$$

$$\frac{Q_1}{A_1} \sqrt{\left[\left(f_1 \frac{L_1}{D_1}\right) + 99 f_T\right]} = \frac{Q_2}{A_2} \sqrt{\left[\left(f_2 \frac{L_2}{D_2}\right) + 99 f_T\right]}$$

$$Q_1 = \left[\frac{\left(f_2 \frac{L_2}{D_2}\right) + 99 f_T}{\left(f_1 \frac{L_1}{D_1}\right) + 99 f_T} \right] \frac{A_1 Q_2}{A_2}$$

$$Q_t = Q_1 + Q_2$$

$$Q_2 = Q_T - Q_1$$

$$Q_1 = \left[\frac{\left(f_2 \frac{L_2}{D_2}\right) + 99 f_T}{\left(f_1 \frac{L_1}{D_1}\right) + 99 f_T} \right] \frac{A_1 (Q_T - Q_1)}{A_2}$$

Haciendo:

$$B = \left[\frac{\left(f_2 \frac{L_2}{D_2}\right) + 99 f_T}{\left(f_1 \frac{L_1}{D_1}\right) + 99 f_T} \right] \frac{A_1}{A_2}$$

Entonces:

$$Q_1 = B(Q_T - Q_1)$$

Despejando:

$$Q_1 = \frac{BQ}{B + 1}$$

$$Q_t = 0.21 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como las dos secciones de tubería son iguales, entonces: B=1

4.3.10 Cálculo del caudal en cada rama.

$$Q_1 = \frac{Q_t}{2}$$

$$Q_1 = Q_2 = 0.105 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.3.11 Determinación de la velocidad de salida en cada rama.

$$V_1 = V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{0.105}{8.09 \times 10^{-3} \text{ m}^2}$$

$$v = 12.97 \text{ m/s}$$

4.3.12 Cálculo del diámetro y espaciamiento de los orificios en las secciones longitudinales de las tuberías.

Tomado del trabajo de titulación “Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el co-compostaje de residuos hortícolas en la comunidad Gatazo Cantón Colta” en base a la simulación de la trayectoria del fluido a través de las líneas de conducción, en un software de análisis y aplicación de elementos finitos y dinámica de fluidos computacional denominado ANSYS. (Valverde 2015).

Tabla 11-4 Distribución de los orificios a lo largo de la tubería

DISTRIBUCIÓN ORIFICIOS	
Sección longitudinal (m)	2
Orificios por sección	9
Longitud entre orificios (m)	0.2 m
Número orificio	Dimensión (m)
1	0.020
2	0.020
3	0.020
4	0.020
5	0.025
6	0.025
7	0.0275
8	0.0275
9	0.0275

Fuente: Víctor Valverde, 2015

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021



Figura 4-4: Sistema de tuberías
Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

4.3.13 Selección trituradora


Tabla 12-4 Características del triturador

MARCA	Martillo molino	
POTENCIA DEL MOTOR	18.5 kW	
MODELO	PC600 x 400	
CAPACIDAD	10 t / h	
DIMENSIONES	1.2*1.05*1.2 m	

Fuente: Martillo molino Inc.
Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

4.3.14 Selección tamizador


Tabla 13-4 Características tamiz trommel

MARCA	DAZHEN	
POTENCIA DEL MOTOR	3 kW	
MODELO	GTS830	
CAPACIDAD	10 t / h	
DIMENSIONES	1.15*1*1.2 m	
Malla	(20 mm)	
Voltaje	110 V	

Fuente: Dazhen Inc.
Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

4.3.15 Selección máquina de coser sacos

Tabla 14-4 Características máquina para coser sacos


MARCA	HENKEL	
POTENCIA DEL MOTOR	90 WATTS	
MODELO	GK261A	
DIMENSIONES	0.57*0.23*0.510 m	

Fuente: Henkel Inc.

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

4.3.16 Selección balanza

Tabla 15-4 Características máquina para pesar

MARCA	Prométalicos plataforma industrial	
MATERIAL	Lámina de alfajor	
CAPACIDAD	1-4 toneladas	
DIMENSIONES	1.5*2*0.2 m	

Fuente: Henkel Inc.

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

En base a propuesta inicial de diseño y el cálculo ingenieril realizados para el diseño de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos a través de un sistema de aireación forzada para la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo tenemos los siguientes datos de dimensionamiento:

Para el diseño del sistema de aireación forzada, primero se identificó las variables de proceso: humedad de la mezcla de materiales, temperatura máxima en el proceso y concentración de oxígeno necesaria. En la relación a la humedad que se presenta en la mezcla de materiales, el diseño pretende remover el exceso (mayor al 60 %), el equipo mantiene la concentración de oxígeno de la mezcla de materiales a compostar en rangos aceptables (5-15 %).

La planta se diseñó para tratar una cantidad aproximada de 100 kg de residuos sólidos orgánicos por día.

La planta está diseñada en un área total de 800 m², con una sección de acopio inicial, que se planea reciba el material a comportar con una capa de aserrín; la misma que posibilitará el manejo de lixiviados; además un área de compostaje con ocho pilas de dimensión 2 x 2 y un área de maduración de descomposición de 4.59 m², que posee un sistema de conducción de fluidos que se fabricará en PVC de 4 pulgadas de diámetro nominal, cuyas medidas serán de 2.35 m de longitud en cada rama, con sus respectivos accesorios un T que divide en dos ramas al sistema, y un codo que cambia la trayectoria de la línea de tubería en cada una de las ramas y las pilas, siendo ambos accesorios de PVC, la sección útil para la transferencia del aire hacia la pila de compostaje es de 2 m de tubería de sección recta, misma que posee 9 orificios de diferentes diámetros a lo largo de la misma.

La aireación para este sistema de tuberías está provista por un ventilador centrífugo de paletas radiales con una potencia de 0.75 Hp, que entrega un caudal máximo de 810 m³/h de aire ambiente con una velocidad promedio de 26 m/s a través de una sección de salida de 4 pulgadas, el sistema ventilador-tuberías debe contar con uniones herméticas que garanticen el paso de fluidos hacia los orificios de salida del mismo, disminuyendo las pérdidas por fugas.

Una zona destinada para la molienda y tamizaje del compost obtenido, y su posterior almacenamiento en sacos de 50 kg.

Se propone además un área administrativa con oficinas para los operarios y administrativos, un laboratorio que permita la realización del control de proceso y un área de servicios higiénicos; áreas verdes como zonas de ambientación estética y urbanística.

El proyecto asciende a un valor estimativo de \$ 200.000,00 (DOSCIENTOS MIL DÓLARES CON 00/100 CENTAVOS) NO INCLUYE IVA, un área de galpón para tratamiento residuos de

vegetación 400 m², un laboratorio con batería sanitarias y bodega de 76.34 m² de construcción, aceras, instalaciones eléctricas, transformador, extensión red de media tensión, instalaciones hidrosanitarias, cisterna, sistema hidroneumático, sistema de recirculación aguas residuales, áreas exteriores.

Tabla 1-5 Resultados del dimensionamiento del sistema de aireación

CALCULO	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Cantidad diario de sustrato a tratar	C_s	100	kg/día
Cantidad de agua a remover de la mezcla	m_{arem}	25	kg agua
Cantidad de aire necesario para remover la humedad de la mezcla	m_{aire}	113.64	kg aire
Flujo de aire requerido para remover la humedad de la mezcla	Q	92.14	m ³ /día
Tiempo de operación del ventilador centrifugo (solo para remover el exceso de humedad)	T_{op}	1	min/h
Caudal en cada línea de tubería	Q_1, Q_2	0.21	m ³ /s
Velocidad en cada líneas de tubería	V_1, V_2	12.79	m/s

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

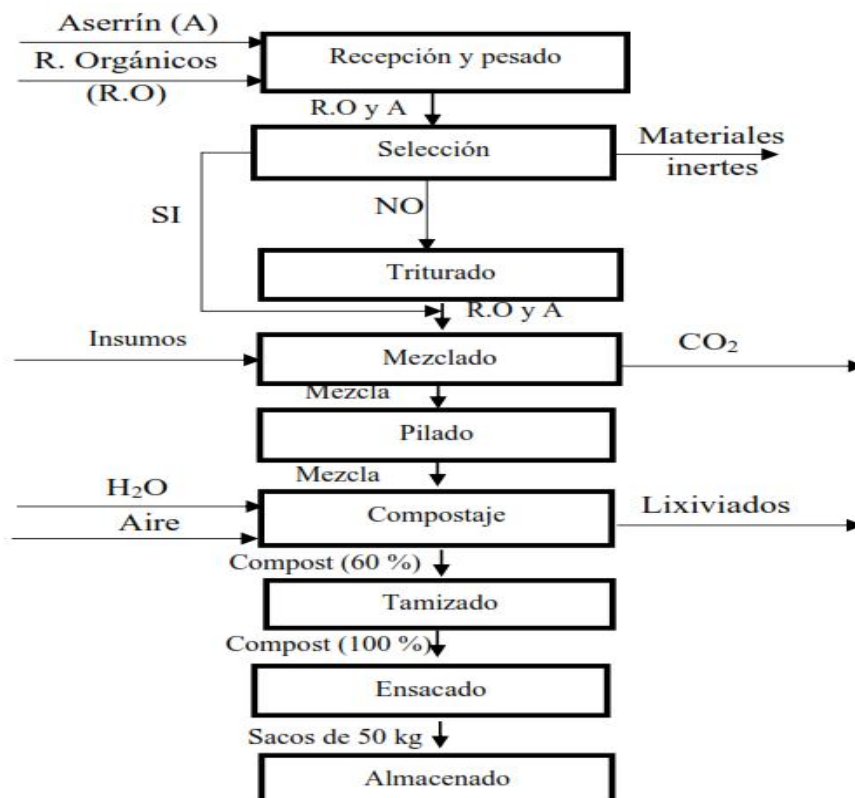


Figura 2-5: Diagrama de flujo del proceso de compostaje

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

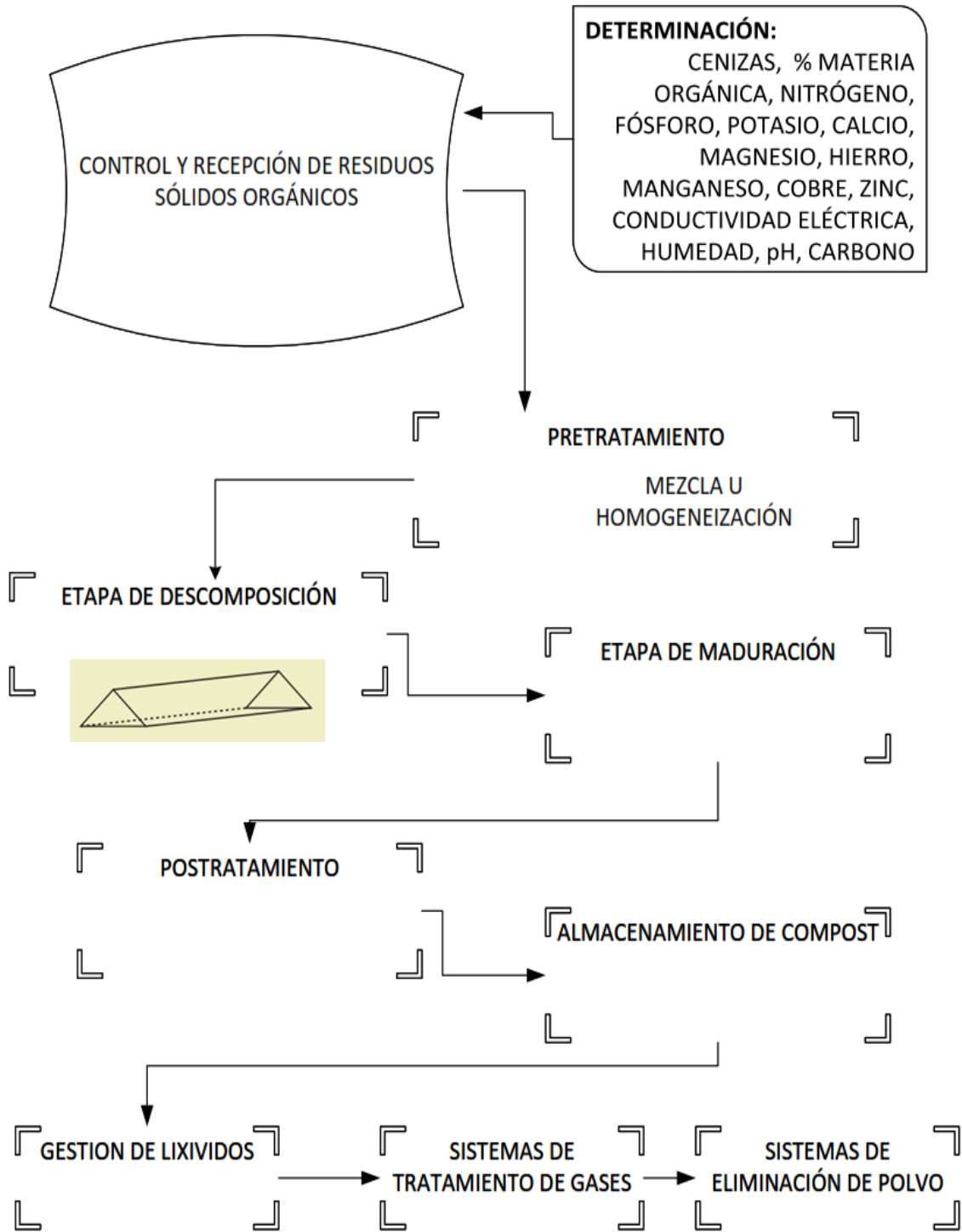
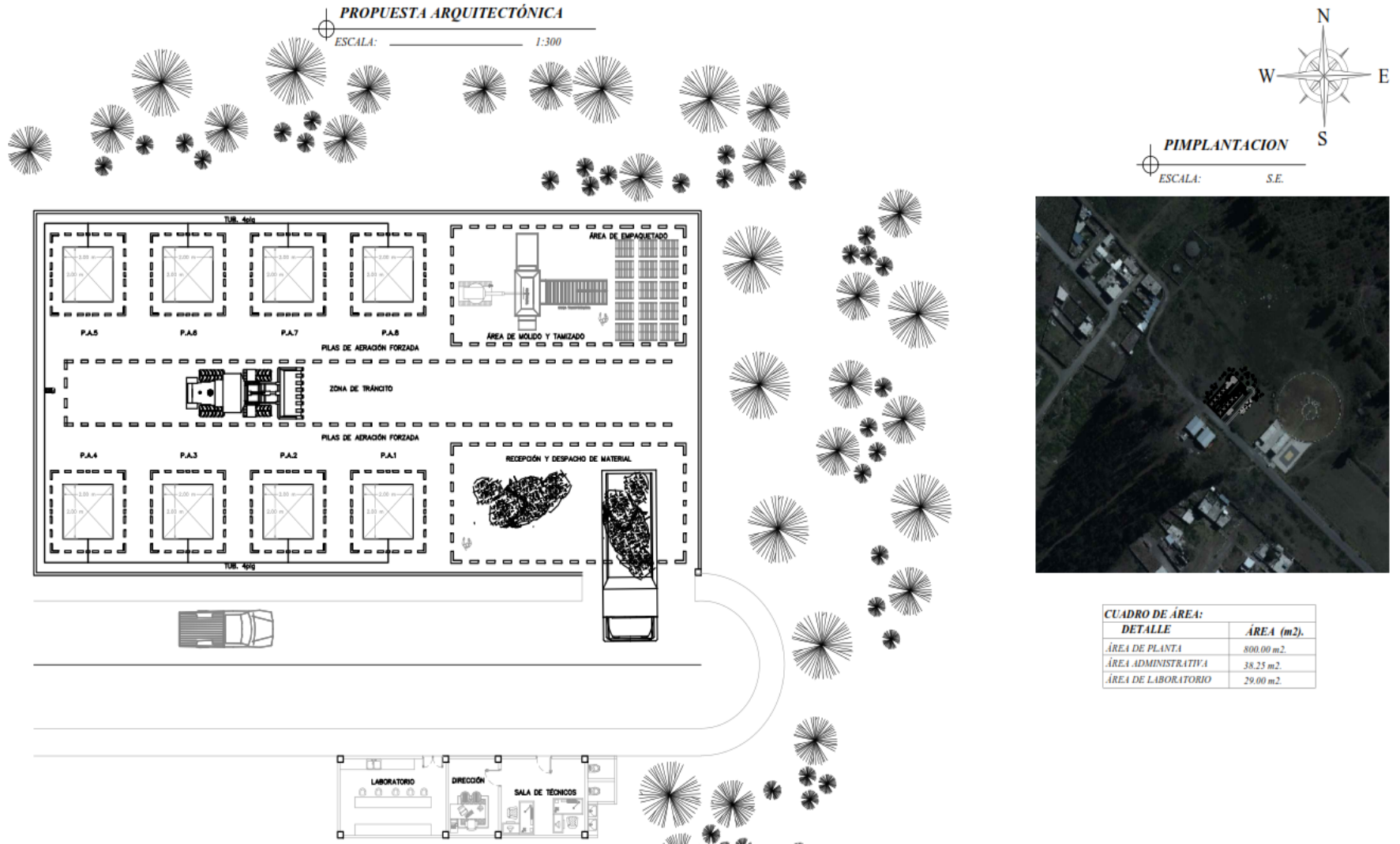


Figura 1-5: Planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

Figura 2-5: Propuesta arquitectónica de la Planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos



CUADRO DE ÁREA:

DETALLE	ÁREA (m ²).
ÁREA DE PLANTA	800.00 m ² .
ÁREA ADMINISTRATIVA	38.25 m ² .
ÁREA DE LABORATORIO	29.00 m ² .

Realizado por: Ocaña Silvana, 2021

CONCLUSIONES

- Se diseñó una planta de tratamiento de compostaje en pilas estáticas por aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por medios de la determinación de las principales condiciones de diseño.
- A través de una revisión bibliográfica minuciosa se logró obtener los datos necesarios de la situación más reciente en la gestión de residuos sólidos orgánicos, por medio de cifras tales como la producción, recolección y almacenamiento final de los residuos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo; considerando para la base de cálculo un promedio de 100 Kg/día tomando en cuenta los bares y todos los sitios que generan este tipo de residuo.
- Se dimensionó la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos mediante la representación de etapas y procesos en diagramas de flujo, así como fijar los parámetros de control del proceso por medio de una guía detallada que indica los análisis de las características físico-químicas, químicas, biológicas del proceso de compostaje.
- Por medio de cálculos de ingeniería se estableció las consideraciones de diseño generales, a partir de las cuales se detalló las etapas y procesos que se establecieron como bases en el dimensionamiento de la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos, con los detalles específicos que involucran cada criterio y base de diseño que permita cumplir con el objetivo de la investigación que pretende al mejorar la gestión y optimización de residuos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda la implementación de la planta de tratamiento de planta de tratamiento a través de un sistema de compostaje en pilas estáticas con aireación forzada para la gestión de residuos sólidos orgánicos en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por medio de proyectos de investigación que permitan la solución oportuna, eficiente y eficaz al problema diagnosticado.
- Llevar a cabo investigaciones más profundas con soluciones reales y que permitan revalorizar los recursos disponibles, como base para remediar problemas ambientales y generar fuentes de ingreso económicas y amigables para mejorar los cultivos por medio de técnicas orgánicas y amigables con la tierra.
- Es necesario que la academia se vincule con la sociedad a través de la búsqueda continua y oportuna de soluciones a problemas identificados por medio de los procesos investigativos, que permiten la inserción de profesionales en los campos de formación acordes a su perfil de egreso y que ejerzan su trabajo en sus zonas de procedencia.

BIBLIOGRAFÍA

- AGENCIA DE RESIDUOS DE CATALUÑA.** *Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje.* Barcelona-España: Agencia de residuos de Cataluña, 2016, pp. 5-95.
- Andrade, A. P.** (2019). *Caracterización de residuos sólidos y propuesta técnica para transporte y rutas de recolección en la Parroquia San Luis, Cantón Riobamba.* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Asha, A., Tripathi, A. & Soni, P.** (2017). Vermicomposting: A Better Option for Organic Solid Waste. *Management Journal of Human Ecology.* 24(1), 59-64. Recuperado el 27 julio, 2021. de <https://doi.org/10.1080/09709274.2008.11906100>.
- Balamurugan, R., Arun, A. & Sudagar, S.** (2020). Challenges in municipal solid waste management: a key. *International Journal of Ambient Energy.* Recuperado el 27 septiembre, 2020 de <https://doi.org/10.1080/01430750.2020.1784275>
- Barreros, E. I.** (2017). *Efecto de la relación carbono/nitrógeno en el tiempo de descomposición del abono del cuy (Cavia porcellus), enriquecido.* (Tesis de Pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato.
- Basantes, C. E.** (2018). *Co-compostaje de residuos vegetales provenientes de la finca agropecuaria La Inmaculada con estiércol de cuy, vaca y gallinaza.* (Tesis de Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Bohórquez, W.** (2019). EL proceso de compostaje. Recuperado el 18 Agosto, 2021, de https://books.google.com.ec/books?id=X_1DwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=compostaje&hl=es&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=compostaje&f=false.
- Capitelli, P.** (2014). Compostaje: obtención de abonos de calidad para las plantas. Recuperado el 01 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/78144>, 2014.
- Castells, E.** (2014). Reciclaje de residuos industriales: residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora. Recuperado el 01 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/ereader/epoch/62618?page=28>.
- Castells, E.** (2015). Tratamiento y valorización energética de residuos. Recuperado el 01 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/ereader/epoch/62549?page=683>.
- Espín, E. R.** (2018). *Proyecto de factibilidad para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos generados en la ciudad de Riobamba.* (Tesis de Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Fereja, W. y Chemedá, D.** (2021). Status, characterization, and quantification of municipal solid

waste as a measure towards effective solid waste management: The case of Dilla Town, Southern Ethiopia. *Journal of the Air & Waste Management Association*. Recuperado el 27 julio, 2021, de DOI: 10.1080/10962247.2021.1923585.

- Flotats, X. [et al.]** (2016). *De residuo a recursos. Un camino a la sostenibilidad*. Recuperado el 01 octubre de 2020, de <https://elibro.net/es/ereader/epoch/55257?>
- Ganesan, P.** (2017). Landfill sites, solid waste management and people's resistance: a study of two municipal corporations in Kerala. *International Journal of Environmental Studies*. (74-6), 958-978. Recuperado el 27 septiembre, 2020, de DOI: 10.1080/00207233.2017.1374076
- García, L.** (2019). *Tratamiento de residuos urbanos o municipales*. Recuperado de 01 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/111573>
- Gavilanes, I.** (2016). Sostenibilidad del sector agroindustrial de Ecuador mediante el compostaje de sus residuos y el uso agrícola de los materiales obtenidos. *Dialnet*. Recuperado de 27 septiembre, 2020, de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=60918>
- Hernández, R., Fernández C., & Baptista L.,** (2018). *Metodología de la Investigación*. (6^a ed). Madrid-España: McGraw Hill.
- Jara, J. [et al.]** (2015). "Urban Waste Management and Potential Agricultural Use in South American Developing Countries: A Case Study of Chimborazo Region (Ecuador)". *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. (46-1), 157-169. Recuperado el 27 septiembre, 2020, de <https://doi.org/10.1080/00103624.2014.988587>
- Jiménez, S. O.** (2015) Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el mercado. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- López, J., Navarro, M., & Rad, C.** (2014). *Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medioambiental*. Recuperado de 01 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/59486>
- Mashiur, M., Bohara, A., & Vázquez, J.** (2021). Geospatial analysis of health risks and solid waste management behavior. *Journal of Environmental Economics and Policy*. Recuperado el 04 agosto, 2021, de DOI: 10.1080/21606544.2021.1903560
- Mejía, E. F.** (2019). Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de la empresa Mancomunada de aseo de los cantones Colta, Alausi y Guamote, mediante tratamientos biológicos, compostaje, co-compostaje, vermicompostaje y Takakura. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Perazzini, H., Bentes, F., & Teixeira, J.** (2016). Thermal Treatment of Solid Wastes Using Drying Technologies: A Review. *Drying Technology*. (34-1), 39-52, Recuperado el 27 septiembre, 2020, de DOI: 10.1080/07373937.2014.995803

- Prieto, B.** (2016). *Optimización de la gestión de los residuos sólidos urbanos en la mancomunidad de San Markos mediante herramientas multicriterio*. Recuperado el 01 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/53235>
- Pullopaxi, A. J.** (2019) Tratamiento de residuos orgánicos generados en el bioterio de la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo mediante compostaje. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Raghab, S., Ahmed, A., & Hala, H.** (2016). Treatment of leachate from municipal solid waste landfill". *HBRC Journal*. (9-2), 187-192. Recuperado el 27 septiembre, 2020, de DOI: 10.1016/j.hbrj.2013.05.007
- Rajendiran, B., Arumugam, A., & Sudagar, S.** (2020). Challenges in municipal solid waste management: A Key. *International Journal of Ambient Energy*. (1-32). Recuperado el 27 septiembre, 2020, de Doi:10.1080/01430750.2020.1784275
- Rajkumar, J., & Sirajuddin, A.** (2016). Status and challenges of municipal solid waste management in India: A review. *Cogent Environmental Science*. (2-1)- Recuperado el 04 octubre, 2020; de <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1139434>
- RED ESPAÑOLA DE COMPOSTAJE.** (2014). *Compost y control biológico de las enfermedades de las plantas*. Recuperado el 04 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/ereader/epoch/55259?page=1>
- RED ESPAÑOLA DE COMPOSTAJE.** (2015). *Uso del compost en sustratos para cultivo en contenedor*. Recuperado el 04 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/55270>
- RED ESPAÑOLA DE COMPOSTAJE.** (2015). *Vermicompostaje: procesos, productos y aplicaciones*. Recuperado el 04 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/55262>
- RED ESPAÑOLA DE COMPOSTAJE.** (2015). *Aspectos biológicos de la estabilización*. Recuperado el 04 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/55256>
- RED ESPAÑOLA DE COMPOSTAJE.** (2015). *Valoración de la fracción orgánica de residuos municipales: materia prima, proceso y producto*. Recuperado el 04 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/55263>
- Rivadeneira, J. M.** (2018). Compostaje de residuos sólidos orgánicos provenientes de los mercados municipales de la ciudad de Macas, mediante la técnica de takakura. (Tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Román, P., Martínez, M., & Pantoja, A.** (2013) *Manual de compostaje del agricultor*.

Experiencias en América Latina. Recuperado el 04 octubre, 2020, de <http://www.fao.org/3/i3388s/I3388S.pdf>

- Ruiz, A.** (2010). Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos. (Tesis de doctorado). Universitat Ramon Llull, Lima.
- Sharma, D., & Yadad, K.** (2018). Application of rotary in-vessel composting and analytical hierarchy process for the selection of a suitable combination of flower waste. *Geology, Ecology, and Landscapes*. (2-2), 137-147. Recuperado el 27 septiembre, 2020, de <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1456851>
- Sadhwani, A.** (2020). *Gestión y tratamiento de residuos I*. Recuperado el 01 octubre, 2020, de <https://elibro.net/es/ereader/epoch/57223?page=38>.
- Tixe, M. V.** (2018). Efecto del porcentaje de poda sobre el proceso de compostaje de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (FORSU) del Relleno Sanitario de Porlón. (Trabajo de pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Valencia, W. S.** (2016). Elaboración y caracterización de compost obtenido a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH). (Trabajo de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.
- Valverde, V. H.** (2015). Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el co-compostaje de residuos hortícolas en la Comunidad de Gatazo Cantón Colta. (ESPOCH). (Trabajo de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba.

ANEXOS

ANEXO A: Guía de gestión de olores para la planta de tratamientos.

DEFINICIÓN	Permite establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de los olores. Define las pautas de comportamiento a seguir para una gestión correcta de los olores, estableciendo cuidadosamente los responsables de la gestión de los olores, los procedimientos y los correspondientes registros adoptados para prevenir, reducir y controlar los olores.		
CONSIDERACIONES PREVIAS	<p>Identificación de todos los procesos o fuentes potenciales de emisión de olor. Por cada proceso definir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Localización. - Caracterización: dimensiones, tipo (irregular / regular; continua / discontinua; estable / con fluctuaciones, etc.) - Ciclos de operación - Parámetros que regulan el proceso - Prácticas relacionadas con las emisiones de olor del proceso (medidas de control) - Comentarios a nivel de emisiones olorosas, incidentes, etc. - Analíticas, si existen, de medidas realizadas (concentración de olor, concentración de contaminantes, etc. 	<p>Riesgos de impacto asociados a las emisiones derivadas de las actividades normales de operación de la instalación. Se pueden utilizar, según el caso de estudio:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Técnicas de evaluación de impacto indicativas (mediante nomogramas específicos, el análisis del riesgo cualitativo) - Técnicas avanzadas (modelos de simulación de dispersión de los olores, impacto en base a la valoración de los efectos) 	<p>Riesgos de impacto asociados a las emisiones derivadas de posibles incidentes o mal funcionamiento de la instalación y magnitud de estas emisiones.</p>

	<p>5) Revisión de los episodios de olor detectados, detallando el ámbito territorial afectado, las fechas y las horas de ocurrencia.</p>	<p>6) Riesgo de impacto asociado a las características de los receptores sensibles</p> <p>Hay que analizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si se han registrado quejas y, si se han registrado, análisis de quejas, por ejemplo, definir en qué zonas se han registrado quejas, qué frecuencia, si se pueden asociar a emisiones accidentales o procesos de la instalación, etc. - ¿Qué tipo de relaciones existen entre la instalación y la población del entorno? - ¿Existen indicaciones de un aumento o disminución de la sensibilidad de los receptores para con los olores? 	<p>7) Análisis de la normativa ambiental aplicable y el grado de cumplimiento de esta hacia la contaminación odorífera. Identificación del estado actual y de los requisitos legales aplicables a la instalación en relación a la contaminación odorífera.</p>
<p>CRITERIOS GENERALES</p>	<p>El mecanismo que conduce a las emisiones de olor presentes en la atmósfera a producir una molestia de olor es complejo y no directo. Este mecanismo depende de:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Las características del olor que libera (detección, tono hedónico, potencial de molestia); - Dilución variable en la atmósfera a 	<p>Los motivos que llevan a realizar un estudio de impacto por olores pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Prever el nivel de exposición de los receptores sensibles a olores emitidos por una actividad nueva o existente. - Indicar el nivel reducción de olores necesario para proteger los receptores sensibles. 	<p>El caso más simple de estudio de impacto por olores consiste en estimar cualitativamente el riesgo de impacto, es decir, un operador o autoridad ambiental debe contestar a las siguientes 3 preguntas básicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Es posible detectar olor en las áreas donde hay vecinos? - ¿Existen quejas en relación a los

	<ul style="list-style-type: none"> - partir de una dispersión turbulenta (estabilidad de la atmósfera, - dirección del viento, velocidad del viento, etc.); - Exposición de los receptores de la población localización de la residencia, movimiento de la gente, tiempo dedicado en actividades al aire libre, etc.); - Contexto de percepción (por ejemplo, otros olores, antecedentes en olores, actividad y estado de la mente en la percepción del contexto); - Características del receptor (historia de la exposición, asociación con riesgos, actividades durante los episodios de exposición, factores psicológicos tales como percepción de la salud, y percepción de amenazas para la salud) 	<ul style="list-style-type: none"> - Determinar el cumplimiento de las condiciones de una licencia de operación. - Determinar las tendencias en el ejercicio de una planta en el tiempo, es decir, para comprobar si la situación mejora o empeora a través del tiempo. - Investigar las quejas de la población. 	<p>olores?</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Es razonable plantear la existencia de molestias por olores? - Generalmente, cuando el riesgo de impacto es bajo, con la respuesta de estas preguntas es suficiente para evaluar la situación y justificar la baja probabilidad de que existan molestias por olores.
--	--	---	---

ANEXO B: Clasificación Estadística de Residuos (Códigos CER)

Código CER-Stat	No peligrosos	Peligrosos
01.1	Disolventes usados	Clorofluorocarburos, HCFC, HFC Disolventes, líquidos de limpieza y licores madre orgánicos y halogenados Lodos o residuos sólidos que contienen disolventes halogenados u otros disolventes. Mezcla de disolventes
01.2	Residuos ácidos, alcalinos o salinos	Residuos sin cianuro que no contienen cromo Ácidos no considerados como peligrosos Residuos alcalinos no peligrosos Residuos que contienen azufre Soluciones salinas que contienen: sulfatos, sulfitos, cloruros, fluoruros, fosfatos, nitratos...
01.3	Aceites usados	Ácidos: clorhídrico, nítrico y nitroso, fosfórico y fosforoso, sulfúrico y sulfuroso, fluorhídrico... Residuos de soluciones corrosivas como Amoníaco, sosa, hidróxido cálcico... Residuos que contienen arsénico, mercurio, cianuro y otros metales pesados Lodos de fosfatación Óxidos metálicos que contienen metales pesados Electrolitos de pilas y acumuladores recogidos selectivamente (no incluye las pilas ni acumuladores enteros sino sólo los electrolitos ya separados)
01.4	Catalizadores químicos usados	Aceites de motor, de transmisión mecánica y lubricantes (clorados, no clorados, sintéticos, biodegradables...) Aceites hidráulicos (que contengan aceite minerales, sintéticos...) Aceites procedentes de separadores de agua/sustancias aceitosas Aceites de aislamiento y transmisión de calor Ceras y grasas usadas
01.11	Residuos de productos agroquímicos	Catalizadores usados de metales preciosos (oro, plata, renio, rodio, platino...) Catalizadores usados que contienen metales de transición o compuestos de metales de transición peligrosos Catalizadores usados que contienen ácido fosfórico Catalizadores usados contaminados con sustancias peligrosas
02.11	Residuos de productos agroquímicos	Residuos agroquímicos que no contienen sustancias peligrosas
02.12	Medicamentos no utilizados	Residuos agroquímicos que contienen sustancias peligrosas (Ej. Plaguicidas y fertilizantes que contienen sustancias peligrosas,) Productos fitosanitarios inorgánicos, biocidas y conservantes de madera
02.12	Medicamentos no utilizados	Residuos de la fabricación, distribución y utilización de medicamentos que no contienen sustancias peligrosas Residuos de medicamentos no peligrosos procedentes de servicios médicos, veterinarios o de investigación asociada a los mismos.
		Medicamentos citotóxicos y citoestáticos Residuos de la fabricación, distribución y utilización de medicamentos que sí contienen sustancias peligrosas Residuos de medicamentos peligrosos procedentes de servicios médicos, veterinarios o de investigación asociada a los mismos

Código CER-Stat	No peligrosos	Peligrosos
02.13	Pinturas, barnices, tintas y residuos adhesivos	Colorantes y pigmentos que contienen sustancias peligrosas Pinturas, tintes, resinas y pegamentos que contienen sustancias peligrosas Lodos o residuos de tinta, pinturas, barnices, pegamentos y sellantes que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas Residuos de tóner de impresión que contengan sustancias peligrosas (No contienen sustancias peligrosas)
02	Otros residuos de preparados químicos y residuos químicos mezclados (incluye envases contaminados)	Envases que contienen restos de sustancias peligrosas o están contaminados por ellas Residuos mezclados, compuestos por al menos un residuo peligroso
03.1	Depósitos y residuos químicos	Gasolina, fuel oil, gasóleo y otros combustibles (incluidas mezclas) Lodos o emulsiones de desalación Lodos de separadores de agua/sustancias aceitosas Absorbentes, materiales de filtración, trapos de limpieza y ropas protectoras contaminados con sustancias peligrosas. También arcillas de filtración usadas Líquidos acuosos de enjuague distintos que no contienen sustancias peligrosas Lodos de lejías verdes (procedentes de la recuperación de lejías de cocción) Alquitrans y residuos carbonosos no peligrosos, como asfalto y betunes
03.2	Lodos efluentes industriales	Lodos de tratamiento in situ de efluentes industriales que contienen sustancias peligrosas Lodos de recuperación de suelos o de aguas subterráneas que contienen sustancias peligrosas Residuos de tratamiento del agua de refrigeración que contienen aceites Lodos acuosos que contienen sustancias peligrosas procedentes de la limpieza de calderas Lodos o residuos que contienen hidrocarburos

Código CER-Stat	No peligrosos	Peligrosos	
03.3	Lodos y residuos líquidos procedentes del tratamiento de residuos	Licores y lodos de digestión del tratamiento de residuos animales y vegetales Licores y lodos de digestión del tratamiento de residuos municipales Lixiviados de vertedero que no contienen sustancias peligrosas	Lixiviados de vertedero que contienen sustancias peligrosas Licores y lodos de digestión del tratamiento de residuos municipales que contienen sustancias peligrosas Residuos de combustibles líquidos que contienen sustancias peligrosas, procedentes de la incineración de residuos
05	Residuos sanitarios y biológicos	Residuos de animales no infecciosos Objetos cortantes y punzantes Residuos cuya recogida y eliminación no es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones	Residuos cuya recogida y eliminación es objeto de requisitos especiales para prevenir infecciones (Incluye los residuos infecciosos, tanto los de tipo humanos como los de origen animal)
06.1	Residuos metálicos féreos	Desperdicios y residuos de metales féreos (hierro y acero) Cascarilla de laminación Limaduras y virutas de metales féreos Cables de metales féreos que no contienen sustancias peligrosas	
06.2	Residuos metálicos no féreos	Desperdicios y residuos de metales no féreos (aluminio, cobre, bronce, plomo, latón, zinc, estaño...) Limaduras y virutas de metales no féreos Cables de metales no féreos que no contienen sustancias peligrosas	
06.3	Residuos metálicos, féreos y no féreos, mezclados (incluye envases)	Envases metálicos. Desperdicios y residuos de metales féreos y no féreos mezclados Limaduras y virutas de metales féreos y no féreos mezclados	
07.1	Residuos de vidrio (incluye envases)	Vidrio Vidrio en polvo y partículas finas de producción de productos de vidrio Envases de vidrio (Ej.: botellas de cristal)	Residuos de pequeñas partículas de vidrio y de polvo de vidrio que contienen metales pesados (Ej.: tubos catódicos)
07.2	Residuos de papel y cartón (incluye envases)	Residuos de papel y cartón Envases de papel y cartón	
07.3	Residuos de caucho	Neumáticos usados	
07.4	Residuos de plástico (incluye envases)	Residuos de plástico Envases de plástico no contaminados	
07.5	Residuos de madera	Serrín, virutas, recortes, madera, tableros de partículas y chapas que no contienen sustancias peligrosas Envases o embalajes de madera	Madera, serrín, virutas, recortes, tableros de partículas y chapas que contienen sustancias peligrosas
07.6	Residuos textiles	Ropa usada y residuos de fibras textiles Envases textiles Residuos del curtido de piel que contienen cromo	

Código CER-Stat	No peligrosos	Peligrosos
07.7	Residuos que contienen PCB	Aceites hidráulicos que contienen PCB Componentes, transformadores, condensadores y otros equipos desechados que contienen PCB Residuos de construcción y demolición que contienen PCB
08	Equipos desechados (excepto 08.1 y 08.41)	Equipos eléctricos y electrónicos que no contienen componentes peligrosos Zapatas de freno Componentes no peligrosos retirados de equipos desechados
		Filtros de aceite Tubos fluorescentes y otros residuos que contienen mercurio Grandes electrodomésticos que contienen clorofluorocarburos, HCFC, HFC (Ej.: lavadoras, frigoríficos) Equipos eléctricos y electrónicos desechados que contienen componentes peligrosos Componentes peligrosos retirados de equipos desechados
08.1	Vehículos desechados	Vehículos desechados que no contengan líquidos ni otros componentes peligrosos
		Vehículos al final de su vida útil
08.41	Residuos de pilas y acumuladores	Pilas alcalinas sin mercurio Pilas, baterías y acumuladores que no contienen sustancias peligrosas
		Baterías de plomo Pilas que contienen mercurio Acumuladores de Ni-Cd
09.1	Residuos animales y de productos alimenticios mezclados	Residuos de tejidos de animales Materiales de la preparación y elaboración de carne, pescado y otros alimentos de origen animal que sean inadecuados para el consumo. También los lodos de lavado y limpieza de estos procesos Residuos mezclados de productos alimenticios y de la preparación de alimentos (Ej.: Residuos de conservantes, residuos biodegradables de cocinas y restaurantes) Aceites, grasas comestibles y mezclas de grasas y aceites procedentes de la separación de agua / sustancias aceitosas
09.2	Residuos vegetales	Residuos verdes biodegradables Residuos de tejidos de vegetales Lodos de lavado, limpieza, pelado, centrifugado y separación en la preparación y elaboración de frutas, hortalizas, cereales, cacao, tabaco... y de la producción de conservas y levadura Residuos de lavado, limpieza y reducción mecánica de materias primas en la producción de bebidas Materiales inadecuados para el consumo o la elaboración de todas las actividades anteriores y de la industria de panadería y pastelería
09.3	Heces animales, orina y estiércol	Heces de animales, orina y estiércol y efluentes recogidos selectivamente y tratados fuera del lugar donde se generan

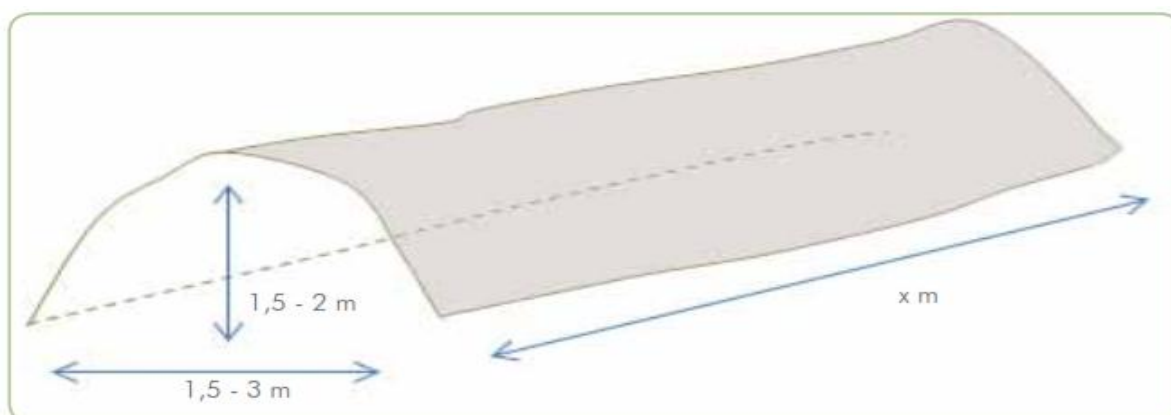
Código CER-Stat	No peligrosos	Peligrosos
10.1	Residuos domésticos y similares	
	<p>Mezclas de residuos municipales similares a los generados en hogares (no separados en fracciones diferenciadas para su recogida selectiva)</p> <p>Residuos voluminosos</p> <p>Residuos mezclados de comedores y de mercados</p> <p>Residuos de limpieza viaria</p>	
10.2	Materiales mezclados e indiferenciados	Residuos inorgánicos y orgánicos que contienen residuos peligrosos
	<p>Envases y embalajes compuestos y mixtos (Ej.: los depositados en contenedores de recogida selectiva municipal de envases)</p> <p>Desechos separados mecánicamente, de pasta elaborada a partir de residuos de papel y cartón</p> <p>Residuos procedentes de la clasificación de papel y cartón destinados al reciclado</p> <p>Otros materiales mezclados, que no contienen residuos peligrosos (no incluidos residuos del epígrafe 10.3)</p>	<p>Residuos metálicos contaminados con sustancias peligrosas</p> <p>Cables que contienen hidrocarburos, alquitrán de hulla y otras sustancias peligrosas</p>
10.3	Residuos de separación	Fracción rechazo y residuos combustibles (peligrosos) generados en el tratamiento fisicoquímico de residuos
	<p>Fracción rechazo y residuos combustibles (no peligrosos) generados en el tratamiento fisicoquímico de residuos</p> <p>Fracción rechazo de residuos municipales, animales o vegetales generados en el tratamiento aerobio de residuos sólidos</p> <p>Residuos para combustible u otros restos (mezclas de materiales) procedentes del tratamiento mecánico de residuos</p> <p>Fracciones ligeras de fragmentación (<i>fluff-light</i>) y polvo</p>	<p>Residuos para combustible u otros restos (mezclas de materiales) que contienen sustancias peligrosas procedentes del tratamiento mecánico de residuos</p> <p>Fracciones ligeras de fragmentación (<i>fluff-light</i>) y polvo</p>
11	Lodos comunes	
	<p>Lodos biodegradables del tratamiento de aguas residuales generados en la preparación y elaboración de productos animales, vegetales y bebidas</p> <p>Lodos de purificación de agua potable y de transformación</p> <p>Lodos de tratamiento de aguas residuales urbanas</p> <p>Residuos de limpieza de alcantarillas</p>	
12.1	Residuos de construcción y demolición	Residuos de hormigón, ladrillos, yesos... generados en actividades de construcción y demolición que contienen sustancias peligrosas
	<p>Residuos de la construcción mezclados</p> <p>Residuos de materiales hidrocarbonizados para el afirmado de carreteras (Ej.: mezclas bituminosas no peligrosas)</p>	<p>Residuos de materiales hidrocarbonizados para el afirmado de carreteras (Ej.: mezclas bituminosas peligrosas, alquitrán de hulla y productos alquitranados)</p> <p>Vidrio, plástico, madera u otros residuos de la construcción y demolición que contienen sustancias peligrosas o están contaminados por ellas</p>

Código CER-Stat	No peligrosos	Peligrosos
12.2	Residuos de amianto	<p>Envases metálicos, incluidos los recipientes a presión vacíos, que contienen una matriz sólida y porosa peligrosa (amianto)</p> <p>Residuos que contienen amianto, tales como: Residuos de electrólisis, zapatas de freno, residuos de la fabricación de fibrocemento, equipos desechados que contienen amianto libre...</p> <p>Materiales de construcción o aislamiento que contienen amianto.</p>
12.3	Residuos de minerales naturales	<p>Estériles que generan ácido procedentes de la transformación de sulfuros</p> <p>Estériles y otros residuos que contienen sustancias peligrosas procedentes de la transformación física y química de minerales no metálicos y metálicos</p> <p>Lodos y otros residuos de perforaciones que contienen sustancias peligrosas</p>
12.3	Residuos de minerales naturales	<p>Residuos de la extracción de minerales metálicos y no metálicos</p> <p>Residuos minerales generados en la transformación física y química de minerales metálicos y no metálicos (Ej.: Estériles, polvo, arenilla, lodos rojos de la producción de alúmina y otros residuos de lavado y limpieza de minerales; grava y rocas trituradas; arena, arcillas, polvo; Residuos del corte y serrado de piedra)</p> <p>Lodos y otros residuos (sin hidrocarburos) procedentes de perforaciones</p> <p>Tierra procedente de la limpieza y lavado de la remolacha</p> <p>Lodos acuosos que contienen materiales cerámicos</p> <p>Residuos de la preparación de mezclas antes del proceso de cocción en la fabricación de vidrio</p> <p>(Todos ellos no contienen sustancias peligrosas)</p>
12.4	Residuos de combustión	<p>Residuos sólidos del tratamiento de gases; Lodos y tortas de filtración del tratamiento de gases: Partículas procedentes de efluentes de gases... que contienen sustancias peligrosas</p> <p>Escorias, cenizas volantes y polvo de caldera procedentes del tratamiento térmico y de la combustión, que contienen sustancias peligrosas.</p>
12.5	Residuos minerales diversos	<p>Residuos minerales artificiales que contienen residuos peligrosos (Ej. lodos procedentes del pulido y esmerilado del vidrio, lodos de la hidrometalurgia del zinc, muelas y materiales de esmerilado usados...)</p> <p>Residuos de materiales refractarios (machos y moldes de fundición que contienen sustancias peligrosas)</p>
12.6	Suelos	<p>Derrames de hidrocarburos</p> <p>Otros suelos que contienen sustancias peligrosas</p>

ANEXO C: Manual de explotación y el plan de seguridad específico.

DEFINICIÓN	Permite establecer, implementar, mantener y mejorar un sistema de gestión de residuos sólidos orgánicos. Define las pautas de comportamiento a seguir para una gestión correcta.		
CONSIDERACIONES PREVIAS	<p>Identificación de todos los procesos o fuentes potenciales de generación de residuos sólidos. Por cada proceso definir:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Localización. - Caracterización: dimensiones, tipo (irregular / regular; continua / discontinua; estable / con fluctuaciones, etc.) - Gestión adecuada de residuos, plan de capacitación en bares y centros que generan residuos sólidos orgánicos. - Clasificación correcta por medio de tachos recolectores con colores distintivos que permitan la disposición adecuada de los residuos. 	PROCEDIMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> - La clasificación de los residuos sólidos está a cargo de los responsables de bares y centros. - El personal encargado de recoger los residuos lo realizarán tres veces por semana lunes, miércoles y viernes. - Deben pesar y etiquetar correctamente los residuos. - Transportar al centro de acopio ubicado en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos. - Disponer correctamente los residuos en su lugar de destino. - Lavado de camiones. - El personal de la responsable de la caracterización de la materia inicial tomará muestras para su análisis.
EQUIPOS	<ul style="list-style-type: none"> - Camión recolector de basura. - Balanza 	MATERIALES	<ul style="list-style-type: none"> - Tachos recolectores. - Guantes - Fundas industriales de sellado.

ANEXO D: Dimensiones de una pila de compostaje.



En el caso del compostaje en pilas, el tamaño de la pila, en especial la altura, afecta directamente al contenido de humedad, de oxígeno y la temperatura. Pilas de baja altura y de base ancha, a pesar de tener buena humedad inicial y buena relación C:N, hacen que el calor generado por los microorganismos se pierda fácilmente, de tal forma que los pocos grados de temperatura que se logran, no se conservan. El tamaño de una pila viene definido por la cantidad de material a compostar y el área disponible para realizar el proceso. Normalmente, se hacen pilas de entre 1,5 y 2 metros de alto para facilitar las tareas de volteo, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros. La longitud de la pila dependerá del área y del manejo. (Román, Pilar; et al 2013).

ANEXO E: Parámetros óptimos de temperatura.

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente.	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material Insuficiente.	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N.	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura mas de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T ambiente > 70°C)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesofílicos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

Realizado por: Román, Pilar, 2013.

ANEXO F: Parámetros óptimos de pH.

pH	Causas asociadas		Soluciones
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N.
4,5 – 8,5 Rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.	Adición de material mas seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Realizado por: Román, Pilar, 2013.

ANEXO G: Relación C:N de algunos materiales usados en el compostaje.

Nivel alto de nitrógeno 1:1 – 24:1		C:N equilibrado 25:1 – 40:1		Nivel alto de carbono 41:1 – 1000:1	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Estiércol vacuno	25:1	Hierba recién cortada	43:1
Gallinaza pura	7:1	Hojas de frijol	27:1	Hojas de árbol	47:1
Estiércol porcino	10:1	Crotalaria	27:1	Paja de caña de azúcar	49:1
Desperdicios de cocina	14:1	Pulpa de café	29:1	Basura urbana fresca	61:1
Gallinaza camada	18:1	Estiércol ovino/caprino	32:1	Cascarilla de arroz	66:1
		Hojas de plátano	32:1	Paja de arroz	77:1
		Restos de hortalizas	37:1	Hierba seca (gramíneas)	81:1
		Hojas de café	38:1	Bagazo de caña de azúcar	104:1
		Restos de poda	44:1	Mazorca de maíz	117:1
				Paja de maíz	312:1
				Aserrín	638:1

Realizado por: Román, Pilar, 2013.

ANEXO H: Parámetros de estabilidad y madurez del compost

Cuali- dad	Parámetros	Metodologías	Unidades
Estabili- dad	Medición de T	Test de autocalentamiento	... y formas de expresión...
	Consumo de O ₂	IRD	
		IRE	
		SOUR	
	Generación de CO ₂	TMC	
		TMG	
MOR-MOD, NnH	GE		

Cuali- dad	Parámetros	Metodologías	Unidades
Madurez	Grado de humificación	Ácidos húmicos	... y formas de expresión...
		Ácidos fúlvicos	
		Relaciones	
	Fitotoxicidad	N. amoniacal	
		Índice de germinación	

LEYENDA

GE: grado de estabilidad
 IRD: índice respirométrico dinámico
 IRE: índice respirométrico estático
 SOUR: tasa de consumo específico de oxígeno
 TMC: tasa de mineralización complementaria
 TMG: tasa de mineralización global
 MOR: materia orgánica resistente
 MOD: materia orgánica degradable

ANEXO I: Tabla de propiedades del aire a 1 atm de presión

Propiedades del aire a 1 atm de presión							
Temp. $T, ^\circ\text{C}$	Densidad $\rho, \text{kg/m}^3$	Calor específico c_p $\text{J/kg} \cdot \text{K}$	Conductividad térmica $k, \text{W/m} \cdot \text{K}$	Difusividad térmica $\alpha, \text{m}^2/\text{s}$	Viscosidad dinámica $\mu, \text{kg/m} \cdot \text{s}$	Viscosidad cinemática $\nu, \text{m}^2/\text{s}$	Número de Prandtl Pr
-150	2.866	983	0.01171	4.158×10^{-6}	8.636×10^{-6}	3.013×10^{-6}	0.7246
-100	2.038	966	0.01582	8.036×10^{-6}	1.189×10^{-5}	5.837×10^{-6}	0.7263
-50	1.582	999	0.01979	1.252×10^{-5}	1.474×10^{-5}	9.319×10^{-6}	0.7440
-40	1.514	1002	0.02057	1.356×10^{-5}	1.527×10^{-5}	1.008×10^{-5}	0.7436
-30	1.451	1004	0.02134	1.465×10^{-5}	1.579×10^{-5}	1.087×10^{-5}	0.7425
-20	1.394	1005	0.02211	1.578×10^{-5}	1.630×10^{-5}	1.169×10^{-5}	0.7408
-10	1.341	1006	0.02288	1.696×10^{-5}	1.680×10^{-5}	1.252×10^{-5}	0.7387
0	1.292	1006	0.02364	1.818×10^{-5}	1.729×10^{-5}	1.338×10^{-5}	0.7362
5	1.269	1006	0.02401	1.880×10^{-5}	1.754×10^{-5}	1.382×10^{-5}	0.7350
10	1.246	1006	0.02439	1.944×10^{-5}	1.778×10^{-5}	1.426×10^{-5}	0.7336
15	1.225	1007	0.02476	2.009×10^{-5}	1.802×10^{-5}	1.470×10^{-5}	0.7323
20	1.204	1007	0.02514	2.074×10^{-5}	1.825×10^{-5}	1.516×10^{-5}	0.7309
25	1.184	1007	0.02551	2.141×10^{-5}	1.849×10^{-5}	1.562×10^{-5}	0.7296
30	1.164	1007	0.02588	2.208×10^{-5}	1.872×10^{-5}	1.608×10^{-5}	0.7282
35	1.145	1007	0.02625	2.277×10^{-5}	1.895×10^{-5}	1.655×10^{-5}	0.7268
40	1.127	1007	0.02662	2.346×10^{-5}	1.918×10^{-5}	1.702×10^{-5}	0.7255
45	1.109	1007	0.02699	2.416×10^{-5}	1.941×10^{-5}	1.750×10^{-5}	0.7241
50	1.092	1007	0.02735	2.487×10^{-5}	1.963×10^{-5}	1.798×10^{-5}	0.7228
60	1.059	1007	0.02808	2.632×10^{-5}	2.008×10^{-5}	1.896×10^{-5}	0.7202
70	1.028	1007	0.02881	2.780×10^{-5}	2.052×10^{-5}	1.995×10^{-5}	0.7177
80	0.9994	1008	0.02953	2.931×10^{-5}	2.096×10^{-5}	2.097×10^{-5}	0.7154
90	0.9718	1008	0.03024	3.086×10^{-5}	2.139×10^{-5}	2.201×10^{-5}	0.7132
100	0.9458	1009	0.03095	3.243×10^{-5}	2.181×10^{-5}	2.306×10^{-5}	0.7111
120	0.8977	1011	0.03235	3.565×10^{-5}	2.264×10^{-5}	2.522×10^{-5}	0.7073
140	0.8542	1013	0.03374	3.898×10^{-5}	2.345×10^{-5}	2.745×10^{-5}	0.7041
160	0.8148	1016	0.03511	4.241×10^{-5}	2.420×10^{-5}	2.975×10^{-5}	0.7014
180	0.7788	1019	0.03646	4.593×10^{-5}	2.504×10^{-5}	3.212×10^{-5}	0.6992
200	0.7459	1023	0.03779	4.954×10^{-5}	2.577×10^{-5}	3.455×10^{-5}	0.6974
250	0.6746	1033	0.04104	5.890×10^{-5}	2.760×10^{-5}	4.091×10^{-5}	0.6946
300	0.6158	1044	0.04418	6.871×10^{-5}	2.934×10^{-5}	4.765×10^{-5}	0.6935
350	0.5664	1056	0.04721	7.892×10^{-5}	3.101×10^{-5}	5.475×10^{-5}	0.6937
400	0.5243	1069	0.05015	8.951×10^{-5}	3.261×10^{-5}	6.219×10^{-5}	0.6948
450	0.4880	1081	0.05298	1.004×10^{-4}	3.415×10^{-5}	6.997×10^{-5}	0.6965
500	0.4565	1093	0.05572	1.117×10^{-4}	3.563×10^{-5}	7.806×10^{-5}	0.6986
600	0.4042	1115	0.06093	1.352×10^{-4}	3.846×10^{-5}	9.515×10^{-5}	0.7037
700	0.3627	1135	0.06581	1.598×10^{-4}	4.111×10^{-5}	1.133×10^{-4}	0.7092
800	0.3289	1153	0.07037	1.855×10^{-4}	4.362×10^{-5}	1.326×10^{-4}	0.7149
900	0.3008	1169	0.07465	2.122×10^{-4}	4.600×10^{-5}	1.529×10^{-4}	0.7206
1000	0.2772	1184	0.07868	2.398×10^{-4}	4.826×10^{-5}	1.741×10^{-4}	0.7260
1500	0.1990	1234	0.09599	3.908×10^{-4}	5.817×10^{-5}	2.922×10^{-4}	0.7478
2000	0.1553	1264	0.11113	5.664×10^{-4}	6.630×10^{-5}	4.270×10^{-4}	0.7539

Nota: Para gases ideales, c_p , k , μ y Pr son independientes de la presión. Las propiedades ρ , ν y α a una presión P distinta a 1 atm se determinan cuando se multiplican los valores de ρ a la temperatura dada por P (en atm) y cuando se dividen ν y α entre P (en atm).

Fuente: Datos generados a partir del Software EES desarrollado por S. A. Klein y F. L. Alvarado. Fuentes originales: Keenan, Chao, Keyes, Gas Tables, Wiley, 198, and Thermophysical Properties of Matter, Vol. 3: Thermal Conductivity, Y. S. Touloukian, P. E. Liley, S. C. Saxena, Vol. 11: Viscosity, Y. S. Touloukian, S. C. Saxena, y P. Hestermans, IFI/Plenum, NY, 1970, ISBN 0-306067020-8.

ANEXO J: Tabla valores típicos de coeficientes de rugosidad

Material	Coefficiente de Manning	Coefficiente de rugosidad absoluta
Hormigón simple	0,013	0,36
Asbesto cemento	0,011	0,0015
Latón	0,011	0,0015
Hierro fundido	0,012	0,26
Acero corrugado	0,022	45
Acero galvanizado	0,016	0,15
Plomo	0,011	0,0015
Plástico (PVC)	0,009	0,0015
Madera (duelas)	0,012	0,18

Fuente: (Crites, y otros, 2000)

ANEXO K: Tabla de coeficientes L/D en pérdidas singulares

VALORES DEL COEFICIENTE K EN PERDIDAS SINGULARES		
Accidente	K	L/D
Válvula esférica totalmente abierta	10	350
Válvula en ángulo recto totalmente abierta	5	175
Válvula de seguridad totalmente abierta	2.5	-
Válvula de mariposa totalmente abierta	-	40
T por salida lateral	1.80	67
Codo a 90° radio corto	0.90	32
Codo a 90° radio grande	0.60	20
Codo a 45° radio corto	0.45	-

Fuente: (Haestad Methods, 1998)

ANEXO L: Principales ensayos a realizar en el proceso de compostaje

Determinación de la humedad	Molida de la muestra	Preparación de la muestra para análisis
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se coloca la muestra recolectada (2kg) en bandejas previamente etiquetadas. - Se coloca la muestra en la estufa a 75 °C - Cada 7 horas, dos veces al día se pesa la muestra hasta que el peso sea constante. <p>Cálculos</p> $\%H = \frac{mi - mf}{mi} \times 100$ <p>Dónde: mi: Masa inicial mf: Masa final %H: Porcentaje de humedad</p>	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Posterior al secado de la muestra se procede a triturar en un molino. - Almacenar el material en fundas Zipoc previamente etiquetadas. - Eliminar el aire en exceso y las sellar. - Las conservar hasta su análisis de laboratorio. 	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se coloca las muestras molidas en vasos de precipitación previamente etiquetados, se secan en la estufa a 105°C por 24 horas, posteriormente se pasan al desecador por 30 minutos hasta que se enfríen. - Finalmente se almacenan en un recipiente estéril de muestras de orina etiquetados y se guardan hasta su análisis.
Determinación del pH	Determinación de la conductividad eléctrica (CE)	Determinación del porcentaje de materia orgánica
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se pesan 3 gramos de la muestra y se colocan en un tubo falcón, posteriormente se adiciona 30 ml de agua destilada. - Se coloca en el agitador 	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Medido el pH se coloca el tubo falcón en la centrífuga por 4 minutos a 1000 rpm. - Se filtra el líquido en el tubo falcón y se mide la conductividad. 	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se tara el crisol a 480 °C por 2 horas previamente etiquetados, posteriormente se coloca en el desecador por 30 minutos y se pesa el crisol vacío.

<p>Shequer por 30 minutos y se deja sedimentar.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Finalmente se mide el pH en el líquido sobrenadante tres veces. 		<ul style="list-style-type: none"> - Luego se añade 3 gramos de la muestra anotando el peso. - Se coloca el crisol en la mufla a 430 °C por 24 horas y se almacena el crisol en el desecador por 30 minutos para que se enfríe y finalmente se pesa el crisol con la muestra calcinada.
<p>Determinación del índice de germinación</p>	<p>Determinación de polifenoles solubles.</p>	<p>Determinación de micro y macronutrientes y metales pesados</p>
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se pesan 2 gramos de muestra y se añade 30 ml de agua destilada, se agita y se deja en reposo por 30 min. - Se filtra la mezcla en un embudo buchner a través de papel filtro de 0,45 micras para análisis cuantitativo. - Con la pipeta automática se toma 1ml de muestra y se coloca sobre la caja Petri previamente rotulada que contiene 8 semillas de berro. Por cada muestra se trabaja con 10 cajas Petri. De la 	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se pesan 2 g del residuo seco y homogeneizado y se le añade 40 mL de agua desionizada agitándolo durante 2 horas. - Después de la agitación, se centrifuga a 3000 rpm 5 minutos. El extracto obtenido se emplea para la determinación de los polifenoles solubles. - Curva patrón: Se pesa 1 g de ácido gálico y se llevan a 1 L con agua desionizada en matraz aforado. Esta disolución contiene 1000 ppm de 	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se pesan 5 gramos de muestra y se anota el peso. - Se añade 6 ml de mezcla nítrico-perclórica 2:1 y se deja macerar toda la noche. - Posteriormente se calienta a 150 °C durante una hora y a 210 °C durante dos horas en el bloque digestor hasta que el color empiece aclarar; transcurrido este tiempo las paredes y fondo del tubo de digestión se lavaron con HCl 0,5 N hasta llevar el volumen a

<p>misma manera se prepara el blanco con 1 con agua destilada.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se envuelve las cajas Petri con papel aluminio para evitar que se sequen y se las coloca en la incubadora a 27,5 °C por 48 horas. - Finalmente, pasado este tiempo se cuenta las semillas germinadas y se mide la longitud de la raíz con pie de rey. 	<p>ácido gálico. De esta disolución se toma exactamente 6 mL y se lleva a 100 mL con agua desionizada. Esta disolución contiene 60 ppm de ácido gálico. En matraces aforados de 50 mL se toma: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 7 y 10 mL de la disolución anterior y se le adiciona 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se agita para homogeneizar y después de 3 minutos, se añade 5 mL de una solución acuosa de carbonato sódico al 20 %, se mueve para eliminar las burbujas generadas y se enrasa con agua desionizada. - Estas disoluciones contienen: 0; 1,2; 2,4; 3,6; 4,8; 6; 8,4 y 12 ppm de ácido gálico. <p>Determinación de fenoles: Se toma 0,25 mL de disolución acuosa de polifenoles y 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se agita y después de 3 minutos se añade 5 mL de Na₂CO₃ 20 %. Se lleva el volumen a 50 mL con agua</p>	<p>50 ml en un balón de aforación.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se filtra con papel lavado a los ácidos y se almacena la solución en tubos falcón. - Finalmente se deja la solución en refrigeración para el análisis de hierro, cobre, manganeso, cinc, níquel, cromo, cadmio y plomo. Estos elementos se miden en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización, mediante un espectrómetro de masas atómicas de plasma de acoplamiento inductivo. - El sodio y potasio se miden en un fotómetro de llama en disoluciones adecuadas, mientras que el fosforo total se mide en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 460 nm.
---	---	--

	desionizada, se mezcla todo bien y después de 1 hora de reposo se mide la absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 725 nm, calculándose la concentración de polifenoles respecto a la recta patrón.	
Determinación de micro y macronutrientes y metales pesados	Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico	Determinación de Iones
Procedimiento <ul style="list-style-type: none"> - Se pesan 5 gramos de muestra y se anota el peso. - Se añade 6 ml de mezcla nítrico-perclórica 2:1 y se deja macerar toda la noche. - Posteriormente se calienta a 150 °C durante una hora y a 210 °C durante dos horas en el bloque digestor hasta que el color empiece aclarar; transcurrido este tiempo las paredes y fondo del tubo de digestión se lavaron con HCl 0,5 N hasta llevar el volumen a 50 ml en un balón de aforación. 	Procedimiento <ul style="list-style-type: none"> - Se pesa 1 gramo de la muestra con precisión de 0,0001g y 4 gramos de carbón activo. - Se coloca en el embudo buckner un filtro de membrana celulósica de 0.45 um de diámetro de poro y se procede a colocar el carbón activo intercalando con la muestra. - Después se añade 25ml de agua desionizada libre de CO2 dejando reposar por 2 horas, se repite la operación 3 veces más para eliminar los sulfatos presentes en la muestra. - Posteriormente se añaden 	Procedimiento <ul style="list-style-type: none"> - Se pesan 5g de muestra y se disuelve en 100 ml de agua destilada en un vaso de precipitación previamente etiquetado dejando que precipite 24 horas, transcurrido este tiempo se filtra la solución (si la solución del filtrado es muy colorida (muy concentrada) se disuelve la muestra en 10ml hasta 100ml en un balón de aforación. - Finalmente se coloca la solución en un vaso de precipitación para su respectivo análisis.

<ul style="list-style-type: none"> - Se filtra con papel lavado a los ácidos y se almacena la solución en tubos falcón. - Finalmente se deja la solución en refrigeración para el análisis de hierro, cobre, manganeso, cinc, níquel, cromo, cadmio y plomo. Estos elementos se miden en disoluciones adecuadas del extracto de mineralización, mediante un espectrómetro de masas atómicas de plasma de acoplamiento inductivo. - El sodio y potasio se miden en un fotómetro de llama en disoluciones adecuadas, mientras que el fosforo total se mide en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 460 nm. 	<p>25 ml de reactivo de Mehlich previamente preparado, y se deja percolar por 30 minutos, se recoge en un kitosato y se le agrega 5 ml de HCL 1:1 para evitar la carbonatación del bario de los reactivos; a continuación, se añade 25 ml de reactivo B de Mehlich y se perclora de la misma manera que con el reactivo A y se recoge en el mismo Kitosato.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se lava dos veces con 25 ml de agua y una tercera con 75ml y se recoge el filtrado en el mismo kitosato. De la misma manera se prepara un blanco. - Se recoge el filtrado en un vaso de precipitación y se calienta en una plancha; cuando están próximos a ebullición se añade 15ml de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, para precipitar el bario como BaSO_4. - Se filtran los precipitados y se lavan con agua acidificada con HCL 1:1. 	
---	---	--

	<p>Finalmente el precipitado se incinera y calcina a 800 °C por 30 minutos</p> <ul style="list-style-type: none"> - La CCC (meq/100g de materia orgánica) se calcula la diferencia de pesos del BaSO₄ final menos inicial. 	
Determinación de Cloruros	Determinación de Sulfatos	Determinación de Nitratos
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Con una pipeta volumétrica se coge 25 ml de la solución y se coloca en un Erlenmeyer. - Se agrega 6 gotas del indicador de K₂CrO₄ en la solución y se titula con AgNO₃ hasta el viraje de amarillo hasta un color rojo ladrillo. 	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se coloca la solución diluida en un balón de aforación hasta la mitad, se agrega 2ml y 1g de BaCl₂ y se afora hasta en el balón de 100 ml con la misma solución - Se prepara la una solución estándar colocando 5 ml de solución madre de sulfatos en un balón de aforación de 100ml, posteriormente se agrega agua destilada hasta la mitad aproximadamente. - Se agregan 2ml de solución acondicionadora y un gramo de BaCl₂ - Finalmente se afora con agua destilada. - Preparadas las soluciones se mide la absorbancia en 	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se llevan 5ml de solución a 100ml en un balón de aforación. - Posteriormente se toman exactamente 10 ml y se coloca en un vaso de precipitación. - Se agrega el reactivo HACH y se lo disuelve. - Finalmente se coloca en el espectrofotómetro la muestra a analizar y se mide la concentración en mg/l.

	el espectrofotómetro con longitud de onda de 410 nm	
Determinación de la densidad aparente	Determinación de la densidad aparente compactada	Espacio poroso total (EPT)
<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se cubre el un extremo de la anilla de 4 cm con tela de nylon y se determina el peso del conjunto (A) y al otro extremo se acopla la anilla de 3 cm. - Después se introduce la muestra de compost a caracterizar previamente humedecida, sin apelmazar ni apretar, hasta 1 mm del borde superior. - A continuación, el cilindro se lo coloca en un recipiente, al que se añade agua 0,5 mm del borde superior y se deja saturar por 48 horas. - Transcurrido ese tiempo, y con el fin de someter la muestra a una tensión de 10 cm de c.a. el cilindro se lo coloca en un baño de arena por 48 horas. 	<p>Procedimiento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Se pesa el cilindro vacío, anotando su peso - A continuación, se llena el cilindro con muestra de compost hasta el borde de mismo. - Posteriormente se aplica una compactación estática hasta que la altura de la muestra compactada sea constante. - Finalmente se pesa el contenido del cilindro. $DAC\left(\frac{mg}{l}\right) = \frac{(Pc - Pv)}{(Vc)}$ <p>Donde:</p> <p>Pc= peso del cilindro con muestra de compost presionado</p> <p>Pv= peso del cilindro vacío</p> <p>Vc= volumen del cilindro</p>	<p>Se lo calcula a partir de los datos de densidad real (DR) y densidad aparente (DA), aplicando la ecuación siguiente ecuación:</p> $ETP(\%) = \left(1 - \frac{DA}{DR}\right) * 100$ <p>Primero se determina la densidad real (DR) mediante la siguiente ecuación:</p> $DR\left(\frac{g}{cm^3}\right) = \frac{(100)}{1,45 - \frac{100 - MO}{2,65}}$

<ul style="list-style-type: none"> - Posteriormente se retira la anilla superior y se corta con una espátula el material sobrante de la anilla inferior y se pesa el conjunto que serie el peso húmedo (B). - Se introduce el conjunto a la estufa a 105 °C hasta peso constante. 		
Capacidad de retención de agua	Capacidad de aireación	Contracción de volumen
<p>La capacidad de retención de agua (CRA) se determina según la modificación de la metodología de De Bodt et al., (1974) propuesta por Martínez, (1992) utilizando la siguiente ecuación:</p> $CRA \text{ (ml agua/sustrato)} = \frac{B - C}{V} * 1000$	<p>Se calcula el contenido de volumen de aire presente en la muestra, después de haber aplicado una presión hidrostática de menos de 10 cm aplicando la ecuación siguiente:</p> $CA \text{ (\%)} = ETP - \frac{CRA}{10}$ <p>Dónde:</p> <p>CA: Volumen de aire en porcentaje de volumen % (v/v) de muestra húmeda, para una presión hidrostática de menos de 10 cm.</p> <p>EPT: Espacio poroso total (%)</p> <p>CRA: Capacidad de retención de agua (ml de agua/100 ml sustrato).</p>	<p>Siguiendo la propuesta de Martínez (1992), la contracción de volumen (C) se calcula a partir de la pérdida de volumen experimentada por el sustrato contenida en la anilla de 4 cm, tras sacarlo a 105 °C. Para ellos se utiliza la siguiente ecuación:</p> $C \text{ (\%)} = \frac{V - V_{ss}}{V} * 100$ <p>Donde:</p> <p>V: volumen de la anilla utilizada para la determinación de la densidad aparente.</p> <p>Vss: Volumen de sustrato contenido en la anilla tras secarlo a 105 °C. este se calcula a partir de la ecuación</p>

		<p>del volumen de un cilindro ($h\pi r^2$), donde r y h se obtienen como valor medio de las medidas del diámetro (dos) y de la altura (cuatro) realizadas en el sustrato seco contenido en la anilla.</p>
--	--	--