



# **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

## **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST CON RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

Trabajo de titulación para optar por el título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTORES:** CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO

MACHADO GONZAGA MARIA JOSE

**TUTOR:** ING. HANNIBAL LORENZO BRITO MOINA

RIOBAMBA-ECUADOR

2017

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El tribunal del trabajo de titulación certifica que el trabajo de investigación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST CON RESIDUOS ORGÁNICOS GENERADOS EN LA ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO”**, de responsabilidad de los señores Cristian Santiago Cornejo Soria y María José Machado Gonzaga ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, quedando autorizado su presentación.

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

Ing. Hannibal Brito

.....

.....

DIRECTOR DE PROYECTO

DE TITULACIÓN

Dra. Janneth Jara

.....

.....

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD**

Nosotros, Cristian Santiago Cornejo Soria y María José Machado Gonzaga, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autores, asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 24 de mayo del 2017

Cristian Santiago Cornejo Soria

050398371-0

María José Machado Gonzaga

060419321-9

“Nosotros, Cristian Santiago Cornejo Soria y María José Machado Gonzaga, somos responsables de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este trabajo de titulación y el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

---

CRISTIAN SANTIAGO CORNEJO SORIA

---

MARÍA JOSÉ MACHADO GONZAGA

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación se lo dedico en primer lugar a Dios y la Virgen Santísima, a mi Madre, ya que ella sola a lo largo de mi vida gracias a su esfuerzo supo encaminarme en el camino de la responsabilidad, respeto y honestidad.

A mis abuelitos sobre todo a mi Papito César que desde el cielo me ilumina, tíos, primos que día a día me brindaban el ánimo necesario y los valores morales para conllevar la responsabilidad de llevar mi vida adelante.

A María José que a su vez fue mi compañera de tesis y que durante todo este tiempo me supo transmitir su amor, comprensión y paciencia para llevar a cabo este proyecto.

**Cristian**

A Dios por darme la oportunidad de vivir, tener salud y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi padre y a mi madre por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanas, mi preciosa sobrina, mis tíos, primos y abuelitos quienes siempre han estado ahí apoyándome, ayudándome, sacando de mí una sonrisa para seguir adelante. Los amo mucho.

A mi ñaña Carmi, mi tía, mi segunda madre, la persona a la que más amo, gracias a ella tengo muchos valores, tengo mi educación. Ha sido mi pilar fundamental, la que me ayudado a seguir siempre adelante, mi apoyo incondicional. Ella es el motivo de todo mi esfuerzo y dedicación, por ella hago muchas cosas grandes en mi vida, y quiero que se sienta muy orgullosa de mi, como yo lo estoy de ella.

A Santiago Cornejo además de ser mi compañero de tesis, es mi consejero, mi amigo, mi gran amor y mi complemento hacia la felicidad. Gracias al esfuerzo, la paciencia de ambos, a todos los días que me brinda a su lado y todo el cariño que nos tenemos.

**María José**

## **AGRADECIMIENTO**

Extender un cordial y afectuoso agradecimiento a nuestros Padres y Familia en general por brindarnos el apoyo moral y económico para hacer realidad nuestro sueño de forjar una carrera profesional.

A nuestra querida Escuela Superior Politécnica de Chimborazo la cual nos abrió sus puertas para formarnos como profesionales con valores éticos y morales.

Al Ing. Hannibal Brito por brindarnos su confianza y su apoyo para llevar a cabo este estudio.

A cada uno de los maestros que a lo largo de nuestra carrera académica nos supieron compartir sus valiosos conocimientos y que forjaron en nosotros personas responsables en busca de éxito.

A cada uno de nuestros amigos que a través del tiempo nos han brindado su apoyo y consejo incondicional

A la Dra. Janneth Jara docente, que amable y desinteresadamente encaminó plenamente nuestro trabajo de tesis.

**Cristian**

**María José**

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Pp.</b>
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiii
RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
<b>CAPÍTULO I</b>	
1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.1 Identificación del problema .....	1
1.2 Justificación del Proyecto.....	1
1.3 Línea base del proyecto .....	2
1.3.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	2
1.3.1.1 Producción y gestión de Residuos Orgánicos .....	2
1.3.1.1.1 Residuo.....	2
1.3.1.1.2 Clasificación de los Residuos Sólidos.....	2
1.3.1.1.3 Características de los Residuos Orgánicos .....	5
1.3.1.1.4 Tipos de Residuos Orgánicos.....	5
1.3.1.1.5 Tratamiento de Residuos Orgánicos .....	6
1.3.1.2 Compost .....	6
1.3.1.2.1 Qué usar para producir Compost .....	7
1.3.1.2.2 Fases del proceso de Compostaje.....	8
1.3.1.2.3 Sistemas de Compostaje .....	10
1.3.1.2.4 Parámetros del proceso de Compostaje.....	12
1.3.1.2.5 Contenedores de Compost .....	17
1.3.1.2.6 Sistemas de Compostaje Industrial .....	19
1.3.1.3 Reactor y Biorreactor.....	21
1.3.1.3.1 Clasificación operativa .....	22
1.3.1.3.2 Factores a considerar para el diseño de un Reactor de compost.....	23
1.3.1.3.3 Estructura de un Reactor.....	24
1.3.1.4 Factores en la importancia de la velocidad de descomposición .....	27
1.3.1.4.1 Interacción entre la generación de calor y temperatura .....	27
1.3.1.4.2 Grado de Aerobiosis y porosidad del material .....	28
1.3.1.4.3 Potencial de olor .....	29
1.4 BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS.....	29
<b>CAPÍTULO II</b>	
2 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	31

2.1	General .....	31
2.2	Específicos .....	31
<b>CAPÍTULO III</b>		
3	<b>ESTUDIO TÉCNICO.....</b>	<b>32</b>
3.1	Localización del proyecto.....	32
3.1.1	Localización geográfica.....	32
3.1.2	Micro Localización.....	33
3.1.3	Macro Localización .....	33
3.1.4	Características climatológicas del lugar .....	34
3.2	Ingeniería del proyecto .....	34
3.2.1	Parte experimental .....	36
3.2.1.1	Muestreo .....	37
3.2.2	Metodología.....	37
3.2.2.1	Métodos, técnicas e instrumentos .....	37
3.2.3	Modelo experimental a escala.....	46
3.2.3.1	Diseño del Modelo experimental a escala.....	46
3.2.3.2	Datos experimentales.....	48
3.2.3.3	Resultados del modelo experimental .....	51
3.2.3.4	Propuesta de Diseño .....	53
3.2.3.5	VARIABLES DE DISEÑO.....	53
3.2.4	Cálculos en la sección de Aireación .....	54
3.2.4.1	Cálculo del sustrato diario tratado. ....	54
3.2.4.2	Cálculo de la cantidad de agua a eliminar en la mezcla compostada .....	55
3.2.4.3	Cálculo del volumen de aire para eliminar la cantidad de agua requerida.56	
3.2.4.4	Cálculo del volumen de aire necesario para eliminar el agua no deseada. 58	
3.2.4.5	Elección del ventilador .....	59
3.2.4.6	Especificación de las características del ventilador.....	60
3.2.4.7	Determinación del tiempo de acción del ventilador .....	61
3.2.4.8	Cálculos del conjunto de tuberías .....	61
3.2.4.9	Cálculo del flujo volumétrico y del área de sección transversal de las ramas 1 y 2	62
3.2.4.10	Cálculo de pérdidas por fricción en el sistema de tuberías:.....	63
3.2.4.11	Cálculo del flujo volumétrico en cada sección.....	65
3.2.4.12	Cálculo de la velocidad de salida en cada sección .....	65
3.2.4.13	Dimensionamiento de la distancia y el diámetro de los orificios presentes en las tuberías	66
3.2.5	Cálculos cinemáticos en el sistema de rotación .....	66
3.2.5.1	Elección del Motor .....	66

3.2.5.2	Cálculos del esquema cinemático .....	67
3.2.5.3	Cálculo de la relación de transmisión <b>i</b> .....	68
3.2.6	Cálculo del balance de masa en el reactor .....	69
3.2.7	Cálculo del rendimiento.....	70
3.3	Proceso de producción.....	71
3.3.1	Monitoreo de la transformación de la materia en el reactor de compostaje...	73
3.3.1.1	Tamaño de partícula .....	73
3.3.1.2	Volteo mecánico .....	74
3.3.1.3	Aireación .....	74
3.3.1.4	Temperatura.....	75
3.3.1.5	Potencial Hidrógeno (pH).....	76
3.3.1.6	Conductividad eléctrica .....	76
3.3.1.7	Humedad .....	77
3.3.1.8	Relación Carbono/ Nitrógeno .....	78
3.3.2	Características del compost obtenido.....	79
3.4	Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.....	80
3.5	Análisis de costo/beneficio del proyecto .....	81
3.6	Cronograma de ejecución del proyecto.....	86
DISCUSIÓN .....		88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		91
Conclusiones .....		91
Recomendaciones.....		91
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pp.</b>
<b>Tabla 1-1:</b> Clasificación de los residuos sólidos.....	3
<b>Tabla 2-1:</b> Tipos de Residuos Orgánicos.....	5
<b>Tabla 3-1:</b> Clasificación de la materia vegetal y animal para producir compost.....	7
<b>Tabla 4-1:</b> Fases del proceso de Compostaje.....	9
<b>Tabla 5-1:</b> Composición media y relación C/N de algunos materiales orgánicos compostables	15
<b>Tabla 1-3:</b> Localización Geográfica del proyecto.....	32
<b>Tabla 2-3:</b> Propiedades climáticas.....	34
<b>Tabla 3-3:</b> Muestreo para el proceso de compostaje.....	37
<b>Tabla 4-3:</b> Técnica para la determinación de humedad .....	39
<b>Tabla 5-3:</b> Técnica para la determinación de pH.....	40
<b>Tabla 6-3:</b> Técnica para la determinación de conductividad eléctrica .....	41
<b>Tabla 7-3:</b> Técnica para la determinación de Materia Orgánica .....	42
<b>Tabla 8-3:</b> Tabla de técnicas de análisis foliar.....	43
<b>Tabla 9-3:</b> Elementos usados para la recolección de los RS.....	43
<b>Tabla 10-3:</b> Elementos usados para la elaboración del compost.....	44
<b>Tabla 11-3:</b> Materiales y herramientas para modelo experimental .....	46
<b>Tabla 12:</b> Datos experimentales iniciales .....	48
<b>Tabla 13-3:</b> Resultados de los análisis de los residuos a compostar. ....	50
<b>Tabla 14-3:</b> Datos experimentales de los residuos usados en el proceso de compost .....	51
<b>Tabla 15-3:</b> Temperaturas registradas en el proceso de compostaje .....	52
<b>Tabla 16-3:</b> Propuesta de diseño para la construcción del Reactor .....	53
<b>Tabla 17-3:</b> Variables de diseño relevantes para la producción de compost.....	54
<b>Tabla 18-3:</b> Detalles estimados para los cálculos .....	54
<b>Tabla 19-3:</b> Características del ventilador elegido .....	60
<b>Tabla 20-3:</b> Dato obtenido del ventilador.....	60
<b>Tabla 21-3:</b> Especificaciones de la tubería .....	62
<b>Tabla 22-3:</b> Detalles necesarios para calcular el caudal de aire transportado por las tuberías ...	62
<b>Tabla 23-3:</b> Localización y dimensionamiento de los orificios en la sección de las .....	66
<b>Tabla 24-3:</b> Características del motor elegido .....	66
<b>Tabla 25-3:</b> Proceso productivo de compost .....	71
<b>Tabla 26-3:</b> Características del compost obtenido según la norma mexicana NADF-020- AMBT-2011 y chilena NCh2880-2004.....	79
<b>Tabla 27-3:</b> Requerimiento tecnológico para la construcción del reactor.....	80
<b>Tabla 28-3:</b> Recursos materiales del modelo experimental 1 .....	81

<b>Tabla 29-3:</b> Mano de obra modelo experimental 1 .....	81
<b>Tabla 30-3:</b> Recursos totales experimento 1 .....	81
<b>Tabla 31-3:</b> Recursos materiales del modelo experimental 2 .....	82
<b>Tabla 32-3:</b> Mano de obra del modelo experimental 2 .....	82
<b>Tabla 33-3:</b> Recursos totales del experimento 2 .....	82
<b>Tabla 34-3:</b> Recursos materiales del reactor .....	83
<b>Tabla 35-3:</b> Mano de obra del reactor .....	83
<b>Tabla 36-3:</b> Recursos totales reactor .....	83
<b>Tabla 37-3:</b> Gastos de análisis y varios .....	84
<b>Tabla 38-3:</b> Recursos totales elaboración reactor de compost .....	84
<b>Tabla 39-3:</b> Tabla de actividades del trabajo de titulación .....	86

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	<b>Pp.</b>
<b>Ilustración 1-1:</b> Esquema del proceso de compostaje .....	7
<b>Ilustración 2-1:</b> Diseño del cajón para compostaje. ....	10
<b>Ilustración 3-1:</b> Parámetros en el proceso de compostaje .....	12
<b>Ilustración 4-1:</b> Contenedores de compost.....	17
<b>Ilustración 1-3:</b> Mapa de Ubicación del Laboratorio de Operaciones Unitarias en la ESPOCH .....	33
<b>Ilustración 2-3:</b> Ubicación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.....	33
<b>Ilustración 3-3:</b> Esquema del sistema de tuberías dentro del reactor.....	61
<b>Ilustración 4-3:</b> Esquema de poleas conectadas con el motor del tanque.....	67
<b>Ilustración 5-3:</b> Reducción del tamaño de partícula en la trituradora y material triturado .....	73
<b>Ilustración 6-3:</b> Volteo mecánico del reactor con poleas .....	74
<b>Ilustración 7-3:</b> Sistema de ventilación del reactor de compost. ....	74
<b>Ilustración 8-3:</b> Cronograma de actividades .....	87

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Pp.</b>
<b>Gráfico 1-3:</b> Determinación de la relación carbono- nitrógeno. ....	51
<b>Gráfico 2-3:</b> Diagrama de balance general de masa e sistemas de compostaje .....	69
<b>Gráfico 3-3:</b> Temperaturas obtenidas del compost en el reactor .....	75
<b>Gráfico 4-3:</b> Variación del pH en el reactor .....	76
<b>Gráfico 5-3:</b> Variación de la conductividad en el reactor .....	76
<b>Gráfico 6-3:</b> Variación de la humedad en el reactor .....	77
<b>Gráfico 7-3:</b> Variación de la relación Carbono/ Nitrógeno del compost .....	78

## **RESUMEN**

El objetivo fue realizar el diseño y construcción de un reactor Batch prototipo para la obtención de compost con residuos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, para lo cual, se efectuó experimentos en prototipos, mismos que fueron tanques metálicos y plásticos de 30 y 200 L respectivamente. Mediante la caracterización de la materia prima se pudo determinar una relación C/N=32,54, la cual, determinó las proporciones adecuadas a emplearse siendo residuos orgánicos provenientes del Comedor Politécnico y restos de poda 4:1 respectivamente (RSOV= 54,43 kg y Poda =13,61kg), con esta proporción y con un monitoreo periódico se determinó un medio idóneo que simuló características aerobias controlando los parámetros de proceso tales como: temperatura, pH, humedad y conductividad eléctrica, y para determinar las variables de proceso a controlar en el equipo, mismas que son: el volteo, aireación y eliminación de lixiviados. Haciendo énfasis en estos aspectos se obtuvo un compost, el cual fue, caracterizado dando como resultado que el producto se encuentra dentro de los parámetros en base a la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 de México y también la norma NCh2880 regida en Chile, que regulan la calidad del mismo, en vista de que el Ecuador no cuenta con normas. Se construyó y procedió a la validación del mismo mediante la elaboración de compost, con los mismos parámetros mencionados en experimentos anteriores, lo cual, ha indicado que el reactor para elaborar compost funciona de manera adecuada, ya que su rendimiento y eficiencia han sido los más óptimos por lo que será de amplio uso en la institución. Se recomienda que para posteriores experimentaciones en el equipo, previamente se realicen análisis respectivos para determinar formulaciones adecuadas de sustrato a tratar.

**PALABRAS CLAVE:** <INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA> <REACTOR>  
<PROCESO DE COMPOSTAJE> <MATERIA ORGÁNICA> <VARIABLES DE PROCESO>  
<PARÁMETROS DE OPERACIÓN>

## **ABSTRACT**

The objective was to design and construct a prototype batch reactor to obtain compost with organic residues generated at Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, for which experiments were carried out on prototypes, which were metallic and plastic tanks of 30 and 200 L respectively. By means of the characterization of the raw material, it was possible to determine a relation  $C/N = 32.54$ , which determined the appropriate proportions to be used, being organic residues from the Polytechnic Dining room and 4:1 pruning residues respectively (RSOV = 54.43 Kg and Pruning = 13.61 kg), with this proportion and with a periodic monitoring, a suitable medium was determined that simulates aerobic characteristics controlling the process parameters such as: temperature, pH, humidity and electrical conductivity, and to determine the process variables to control in the equipment, which are: the turning, aeration and elimination of leachate. Emphasizing these aspects, a compost was obtained, which was characterized, resulting in that the product is within the parameters based on the Environmental Standard for the Federal District NADF-020-AMBT-2011 of Mexico and also the standard NCh2880 ruled in Chile, which regulate the quality of it, since Ecuador has no rules. It was constructed and proceeded to the validation of it by the elaboration of compost, with the same parameters mentioned in previous experiments, which has indicated that the reactor to elaborate compost works properly, since its performance and efficiency have been the most optimal due to it will be widely used in the institution. It is recommended that for further experiments in the equipment, respective analyzes are carried out previously to determine suitable formulations of substrate to be treated.

**KEYWORDS:** <ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY> <REACTOR>  
<COMPOSTING PROCESS> <ORGANIC MATTER> <PROCESS VARIABLES>  
<OPERATION PARAMETERS>

# CAPÍTULO I

## 1 DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

### 1.1 Identificación del problema

La mala disposición de los residuos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, ocasiona Contaminación Ambiental en la actualidad que posiblemente a lo largo del tiempo conciba dificultades significativas, las causas por las cuales se produce este inconveniente son la falta de destinos adecuados para los desechos de tipo orgánico que resultan de la poda de especies vegetales propias de la Institución, los desechos consecuentes de los diferentes establecimientos que brindan alimentación a la población estudiantil y los remanentes orgánicos generados por las diversas facultades que trabajan con este tipo de material, además el tiempo de descomposición para la materia orgánica es de al menos 150 días lo que resulta en largos períodos para su tratamiento, todas y cada uno de las causas antes mencionadas hacen de este problema un objeto de estudio que busca una solución armónica para con la naturaleza y el ser humano, pudiendo obtener compost en un Reactor Batch en un menor tiempo.

### 1.2 Justificación del Proyecto

En la actualidad la gestión de la mayoría de residuos orgánicos puede plantearse a través de su utilización en suelos de distintos tipos y usos, pero estableciendo claramente cómo elegir los que pueden ser aplicados directamente o los que deben previamente tratarse. El fuerte incremento en la producción de residuos, la dificultad y coste de verterlos en lugares adecuados, favorece el intento de usar dicha materia para generar compost (abono orgánico y sobre todo natural). Las políticas de protección del suelo deben exigir a los gestores privados una correcta gestión y manejo de los residuos, pero también es responsabilidad de la comunidad la selección apropiada de los residuos para usarlos en agricultura lo que promovería una producción de buena calidad, pero sobre todo responsable con el medio ambiente.

La descomposición de la materia orgánica en condiciones de aislamiento tiene un tiempo aproximado de degradación, para lo cual las variables que se controlan en el Reactor Batch y que intervienen en el proceso de compost son: relación carbono nitrógeno, oxigenación, humedad, volteo, temperatura, pH y tamaño de partículas; para que cualquier residuo orgánico originado en la ESPOCH se pueda descomponer y reducir obteniendo compost aceleradamente, estos parámetros que son manipulados con el fin de promover la descomposición acelerada de residuos orgánicos sin contaminar ni causar daños colaterales con el ambiente.

Por lo tanto este proyecto se justifica por medio de la Visión Ecológica de la Basura, que consiste en un sistema que permita reciclar la ración orgánica de la basura, transformándola en abono para ser utilizada en áreas verdes y agricultura. La fracción orgánica es la más significativa dentro de la basura, la que menos importancia se le ha dado, la que más problemas ambientales ocasiona por su disposición inadecuada y la que más beneficios podría aportar al ecosistema.

Esta iniciativa además puede llegar a ser una inmensa cantera de oportunidades de negocio para cualquier país o región, pero en muchas situaciones no se toman en cuenta los fundamentos biológicos del compost frente a los intereses económicos que se vean envueltos en su uso.

### **1.3 Línea base del proyecto**

#### ***1.3.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL***

##### ***1.3.1.1 Producción y gestión de Residuos Orgánicos***

###### ***1.3.1.1.1 Residuo***

Se define como cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse.

###### ***1.3.1.1.2 Clasificación de los Residuos Sólidos***

A los residuos sólidos se los puede clasificar de varias maneras, las mismas que podemos observar en la tabla 1-1:

**Tabla 1-1:** Clasificación de los residuos sólidos

<b>Por su composición química</b>	Orgánicos	Son todos los elementos que dentro de su composición tienen propiedades orgánicas y por cuanto la biodegradación por la que pasan es en forma rápida y natural para conseguir varias clases de materias orgánicas, los orígenes principales de donde estos residuos proceden son las fuentes orgánicas de tipo animal como restos de alimentos y carnes o vegetal como residuos de hortalizas, verduras, frutas entre otros. (Ruiz, 2010)
	Inorgánicos	Son aquellos residuos que tienen propiedades que no se pueden degradar de manera natural o si es probable hacerlo pasan por una transformación muy lenta. Estos residuos provienen de materiales minerales y derivados sintéticos. (Ruiz, 2010)
<b>Por su utilidad económica</b>	Reciclables	Desechos que suelen ser reutilizados como materias primas para implantar en la línea productiva y obtener otros productos nuevos con un valor agregado. (Ruiz, 2010)
	No reciclables	Por sus propiedades o falta de tecnología no se pueden volver a utilizar. (Ruiz, 2010)
<b>Por su origen</b>	Agrícolas	Por su gran variedad se los puede dividir en orgánicos e inorgánicos, pero en su mayor parte son de naturaleza animal o vegetal, y son procedentes por actividades agrícolas, pero también se añaden los residuos inorgánicos producto de los fertilizantes que suelen ser empleados en las actividades agrícolas. (Ruiz, 2010)
	Domiciliarios	Causados en los domicilios, albergues, hoteles siendo residuos de alimentos, vidrio, restos metálicos, embalajes, cartón, madeas, textiles, gomas, papel, plásticos cueros, escombros, entre otros residuos. (Ruiz, 2010)
	Constructivos	Son los formados por actividades como las demoliciones, remodelaciones, construcciones, excavaciones y otras acciones orientadas para tal

		fin, como son los metales, maderas, restos de hormigón, escombros etc. (Ruiz, 2010)
	Comerciales	Estos son los que descienden de lugares comerciales como restaurantes y tiendas, los mismos que son los primordiales creadores de residuos orgánicos por su actividad en ventas de productos comestibles. Necesitan una atención particular puesto que pueden ser aplicados para alimento de animales después de un debido tratamiento. (Ruiz, 2010)
	Hospitalarios	Aquellos que se generan en varios centros de salud, que poseen patógenos y factores estrictos que requieren ser controlados desde su clasificación hasta su disposición final de las cenizas extirpadas de sus incineradores. (Ruiz, 2010)
	Industriales	Restos muy variados provenientes de las varias actividades industriales entre ellos se tiene los residuos de las industrias químicas, metalúrgicas, entre otras, que pueden ser en forma de chatarra, plásticos, cenizas, lodos, etc. (Ruiz, 2010)
<b>Por su Riesgo</b>	Peligrosos	Residuos que demandan estar dentro de las normativas específicas del medio ambiente, ya que por sus propiedades tanto físicas y químicas requieren ser tratados y recuperados. (Ruiz, 2010)
	Inertes	Los residuos que proceden de trabajos de demoliciones, excavaciones, edificaciones, tierras y escombros. (Ruiz, 2010)
	No inertes	Residuos que por sus propiedades tanto físicas y químicas requieren ser tratados, recuperados o una disposición final apropiada. Son aquellos residuos que de cierta forma tienen la propiedad de emitir radioactividad, corrosividad y toxicidad. (Ruiz, 2010)

Fuente: (Ruiz, 2010 pág. 16)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### **1.3.1.1.3 Características de los Residuos Orgánicos**

Los residuos orgánicos son biodegradables es decir se descomponen por la acción de microorganismos y suelen convertirse en otro tipo de materia orgánica (compost) rica en nutrientes y beneficiosa para los suelos.

### **1.3.1.1.4 Tipos de Residuos Orgánicos**

Existe una gran variedad de residuos orgánicos, los mismos que se ven reflejados en la siguiente tabla 2-1:

**Tabla 2-1:** Tipos de Residuos Orgánicos

<b>RESIDUOS ORGÁNICOS</b>
Restos de frutas y verduras, incluidas las pieles.
Huesos y restos de carne, Pelo.
Espinas y toda clase de resto de pescado.
Caparazones y elementos descartados de los mariscos.
Restos de pan.
Comida en mal estado.
Distintos tipos de palillos (de helado, de comida china).
Cáscara de huevos.
Orina de animales domésticos
Filtros de Café y té, Bolsas (en particular aquellas que pueden utilizarse para abono.)
Residuos de todo tipo de frutos secos.
Papel de cocina utilizado, Servilletas utilizadas
Excrementos de animales domésticos.
Pañuelos utilizados.
Productos Lácteos
Ceniza y aserrín
Flores, incluso en estado marchito.
Cualquier material de corcho.
Hojas, incluso secas, Césped y malas hierbas

**Fuente:** Enciclopedia de Ejemplos. (2016). Recuperado de: <http://www.ejemplos.co/20-ejemplos-de-residuos-organicos/>

**Realizado por:** CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

#### ***1.3.1.1.5 Tratamiento de Residuos Orgánicos***

“Cada año en nuestro país se generan miles de toneladas de residuos orgánicos de diferente naturaleza procedentes de instalaciones como industrias agroalimentarias, estaciones de tratamiento de aguas residuales, mercados, restaurantes, entre otras. La normativa en materia de tratamiento de residuos y protección del medio ambiente es cada vez más estricta y, por tanto, la búsqueda de una adecuada gestión y de un tratamiento que sean viables representa una problemática en auge para muchos sectores.

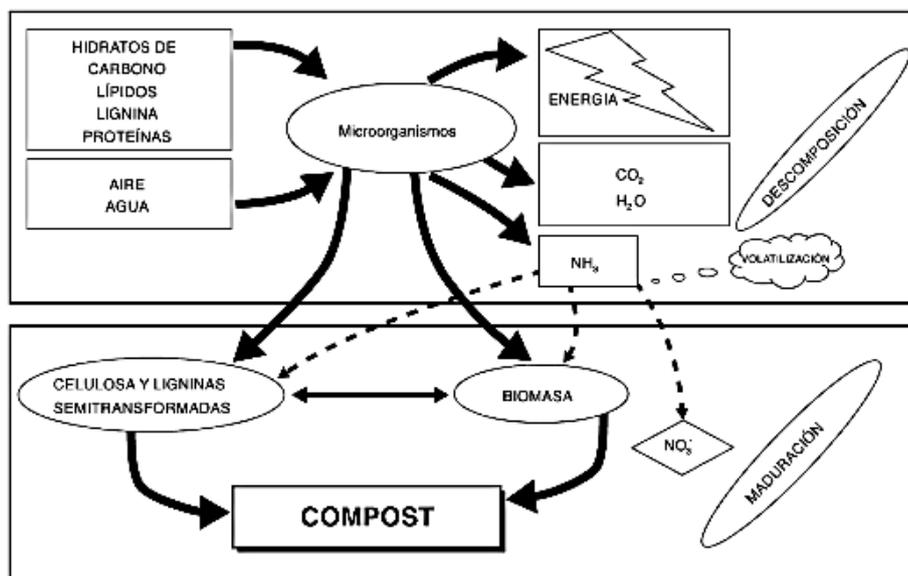
Por eso aquí se presentan diferentes alternativas para el tratamiento de estos residuos orgánicos, y se los pueden usar:

- Para la fabricación de compost.
- Producción de electricidad en generadores de metano.
- Reciclaje a través de bancos de alimentos.
- Fabricación de biodiesel y jabón (aceite de cocina y grasa animal)” (Basanta et al., 2007)

#### ***1.3.1.2 Compost***

La palabra compost viene de dos términos latinos “juntos” y “poner”, por tanto significa “cosas puestas juntas” El compost es el resultado de la descomposición de restos de plantas y de otros materiales orgánicos para producir una sustancia oscura, de aspecto terroso, que es excelente para añadir a cualquier terreno, y en sí es un magnífico abono orgánico para la tierra, mejorando sus características y aumentando la producción de flores, frutos o la fuerza y salud del césped y de todas las plantas. (Alonso, 2011)

El compost puede ayudar a controlar enfermedades de las plantas, además de prevenir la disminución de los niveles de materia orgánica del suelo, contribuyendo a la formación de una fracción orgánica estable que impida la eliminación de carbono. El compost crea un depósito potencial de carbono, además de incorporar nutrientes al suelo. (Elias, 2012)



**Ilustración 1-1:** Esquema del proceso de compostaje

**Fuente:** (Moreno y Moral, 2008 págs. 98-99)

### 1.3.1.2.1 *Qué usar para producir Compost*

Se puede usar una gran variedad de materiales orgánicos para producir compost, tanto en zonas rurales como urbanas. El material producido se puede recoger de manera fácil.

A continuación, se muestran en la tabla 3-1 los materiales que pueden ser añadidos a las pilas de compost a pequeña o gran escala.

**Tabla 3-1:** Clasificación de la materia vegetal y animal para producir compost

<b>Materia de Origen Vegetal</b>	<b>Materia de Origen Animal</b>
Hojas , Trébol, Algas	Estiércol
Heno	Conchas y caparazones
Podas, Bloques de césped.	
Desechos de la cocina y la huerta	
Paja	
Astillas de madera y serrín	
Papel, cartón	

**Fuente:** (Alonso, 2011 págs. 47-60)

**Realizado por:** CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### **Otras cosas que se pueden añadir.**

“En general cualquier material orgánico que no atraiga a plagas y que no tarde demasiado en degradarse. Algunos ejemplos pueden ser:

- Cáscaras de maní
- Cascarilla de arroz
- Hojas de alcachofas, hojas de té
- Musgo
- Peladuras y extremos de zanahoria
- Pieles de plátano
- Residuo de caña de azúcar (bagazo)
- Residuos de matadero (sangre y hueso pulverizado)
- Restos de limpieza de jaulas
- Restos triturados de mazorca de maíz
- Restos de plantas de la huerta: pepino, papas, alubias, troncos y hojas de lechuga y col.

Algunas de estas cosas pueden tardar bastante en degradarse y siempre es conveniente una mezcla con otros componentes más habituales pero se trata de materiales compostables y si disponemos de ellos en grandes cantidades puede ser una opción interesante.” (Alonso, 2011 pág. 61)

#### ***1.3.1.2.2 Fases del proceso de Compostaje***

El compostaje es un proceso dinámico debido a las actividades combinadas de una amplia gama de hongos y bacterias ligados a una sucesión de ambientes con condiciones cambiantes. Si todos los parámetros están debidamente controlados, el compostaje sucede en un proceso gradual en el que se van suscitando cuatro fases que se presentan en la siguiente tabla 4-1.

**Tabla 4-1:** Fases del proceso de Compostaje

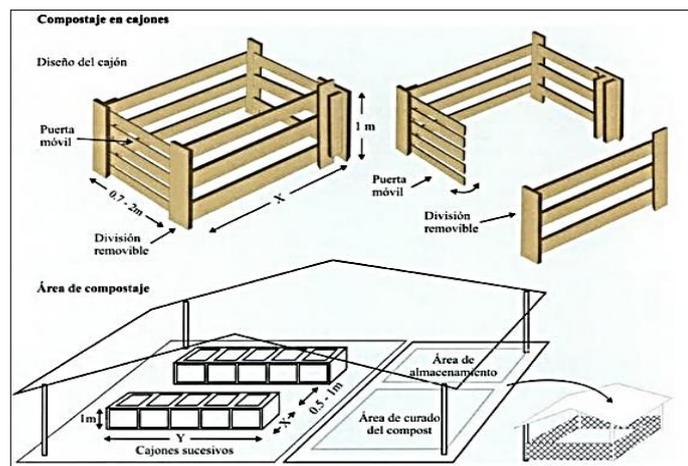
<b>Fases</b>	<b>Definición</b>
<b>Fase Psicrófila</b>	Se inicia al constituir la pila de compost. Empiezan a multiplicarse microorganismos cuya temperatura óptima está entre los 12 y 17 <sup>0</sup> C, pero están también activos a temperaturas cercanas al punto de congelación (0 <sup>0</sup> C). Los microorganismos psicrófilos empiezan a degradar la materia orgánica y liberan nutrientes, fundamentalmente aminoácidos, Al iniciarse esta fase, comienza también de inmediato la degradación de compuestos carbonados, éstos son degradados hasta su total oxidación, produciendo CO <sub>2</sub> y calor. Este calor liberado incrementa la temperatura y hace primero que el número de psicrófilos aumente, con lo que aumenta más la temperatura y eso hace que la pila tenga condiciones mejores para otras bacterias distintas y sean colonizadas por organismos mesófilos. Esta fase por lo general dura un día.
<b>Fase Mesófila</b>	Es realizada por microorganismos cuya temperatura óptima está entre 22 y 34 <sup>0</sup> . Si iniciamos la torre de control en verano son los que primero estarían actuando y en este caso no habría fase psicrófila. Los microorganismos mesófilos se multiplican con rapidez y producen también un aumento de la temperatura al utilizar sustancias fácilmente accesibles produciendo ácidos orgánicos originando una bajada de pH, Esta fase dura de 1 a 2 días.
<b>Fase Termófila</b>	El aumento de la temperatura hace que los microorganismos mesófilos sean sustituidos por otros mejor adaptados a las altas temperaturas, estos son los termófilos.  La temperatura de sustitución de los microorganismos mesófilos por los termófilos se considera que está entre los 40 <sup>0</sup> C. A temperaturas por encima de los 55 <sup>0</sup> C muchos organismos que son patógenos para las plantas o los animales mueren. Es otra de las ventajas del compost, la eliminación de algunas bacterias potencialmente dañinas. Los termófilos pueden vivir a temperaturas por encima de los 70 <sup>0</sup> C, pero si la temperatura sube tan alto, son muy pocos los que pueden sobrevivir, por lo que muchos desaparecen. Esto hace que nuevamente baje la temperatura y el sistema se autorregule, estabilizándose en torno a los 65-68 <sup>0</sup> C. Los microorganismos termófilos transforman el nitrógeno en amoníaco, transformando el medio ácido en un pH básico. Dura de varios días a varias semanas, en función de los componentes orgánicos con los que se

	ha construido la pila. Los termófilos son los principales responsables del compostado.
<b>Fase de Enfriamiento y Maduración</b>	<p>También es llamada fase de curado. En la fase termófila las altas temperaturas aceleran, la degradación de grasas, proteínas y glúcidos complejos que son componentes estructurales básicos de las plantas. Según estos complejos ricos en energía se van acabando, la temperatura del compost disminuye y los microorganismos mesófilos vuelven a dominar empezando la fase de maduración o curado del resto de la materia orgánica.</p> <p>El pH disminuye durante esta fase, acercándose a la neutralidad. Dura de varias semanas a varios meses e intervienen una gran variedad de microorganismos. La pila de compost se convierte en un auténtico ecosistema con una gran biodiversidad.</p>

Fuente: (Alonso, 2011 págs. 26-28)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 1.3.1.2.3 *Sistemas de Compostaje*



**Ilustración 2-1:** Diseño del cajón para compostaje.

Fuente: Programa de Procesos Agroindustriales, CORPOICA-C.I. Tibaitatá 2005

Sea cual sea el tipo de contenedor usado, se pueden utilizar como un sistema único o en una pequeña serie de producción.

## **Sistemas de una torre**

Este es el método más sencillo para hacer una pila de compost. La idea básica del sistema de una torre es hacer un contenedor y este a su vez debe tener un metro de altura tanto como de anchura. Una vez ya obtenido el contenedor se puede empezar a construir la pila rápidamente si se tienen todos los materiales o a su vez construir una pila según se vayan obteniendo poco a poco los materiales.

A su vez si la torre es muy grande pueden ocurrir problemas de aireación en el centro de esta lo que será dificultoso remover la pila. (Alonso, 2011 pág. 40)

## **Sistemas de dos y tres torres.**

Estos sistemas se suelen formar de dos a tres torres contiguas y suelen estar construidas de semejantes materiales que las pilas de una torre. Aquí existe una ventaja de tener más de una torre y esa es que podemos tener una torre para ir añadiendo el material que se vaya obteniendo a lo largo del tiempo y otra gran ventaja es que se puede ir apilando el compost más avanzado en la otra pila que esta ya formada. Este es un sistema que necesita de espacio ya que ahí podemos ir juntando poco a poco el suficiente material y así las pilas se mantendrán funcionando, es decir que este sistema puede ser muy conveniente porque se va acumulando una pila en una torre y cuando se llena se da la vuelta a la pila pasando todo el material a la otra torre, esto ayudará a airear la pila y se facilitará su descomposición. También se suele construir una tercera torre, aquí es donde se almacena el compost maduro. De esta manera se va trabajando más compost en las otras torres. (Alonso, 2011 págs. 40-41)

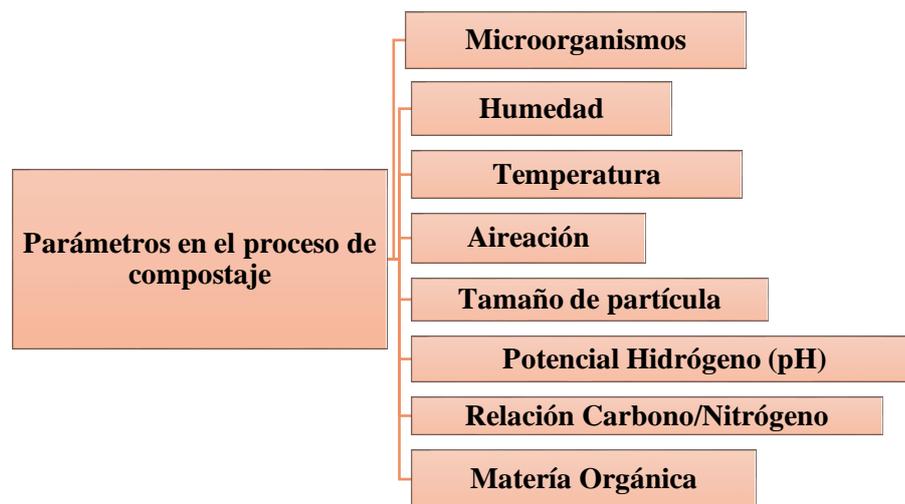
## **Vermicompost**

En general el vermicompost es un tipo de compostaje donde se utilizan diferentes especies de gusanos, por lo general suelen usarse lombrices rojas, gusanos blancos, lombrices de tierra, o mejor conocidos como gusanos de la basura, es decir especies que tengan la capacidad de adaptarse a vivir en materiales orgánicos que se encuentran en descomposición en lugar del suelo. Así se crea una mezcla heterogénea de descomposición de residuos vegetales o de alimentos, el

cual también es llamado humus de lombriz que es el producto final de descomposición de la materia orgánica por una lombriz de tierra.

Un sistema para poder empezar a hacer vermicompost es en un bidón o una caja, este es un modo excelente para poder reciclar restos de comida que se dan en el hogar, es más esto se lo puede realizar dentro de la propia casa. Estos bidones están normalmente cerrados por lo cual se realizan algunos agujeros pequeños para su ventilación y drenaje. (Alonso, 2011 págs. 42-43)

#### 1.3.1.2.4 *Parámetros del proceso de Compostaje*



**Ilustración 3-1:** Parámetros en el proceso de compostaje

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### **Microorganismos**

En el compostaje intervienen diversas especies de bacterias, hongos y actinomicetos, cuyas poblaciones se suceden a lo largo de las distintas fases del proceso.

### **Humedad**

Es uno de los principales parámetros a controlar, ya que en los casos en que resulte excesiva, el agua desplazará al aire contenido en los espacios intersticiales dando lugar a reacciones de

anaerobiosis, lo que además de reducir la velocidad del proceso, suele generar malos olores. Los niveles óptimos de humedad están comprendidos entre 40 y 60%. El porcentaje de humedad requerido por los microorganismos que degradan la materia orgánica es variable que depende del tipo de residuos que se compostan, pero valores inferiores al 40 % reduce la actividad biológica de los organismos notablemente, niveles por debajo del 30 % se vuelve un factor limitante del proceso y a partir de valores inferiores al 12 % de humedad finaliza por completo la actividad biológica. (Mohedo, 2002 pág. 29)

## **Temperatura**

Varía ampliamente a lo largo del compostaje, y resulta también de gran importancia para el control de las poblaciones microbianas predominantes en las distintas fases del proceso. Un requisito importante es que en la fase termófila se alcancen temperaturas suficientemente altas (60 – 70 °C), capaces de reducir la población de microorganismos patógenos (higienización). La temperatura puede superar con facilidad los 50°C, entre las 14 y 20 horas después de terminada la preparación de los componentes, tiempo en que los microorganismos se producen en abundancia y transforman los carbohidratos en presencia de oxígeno. (Vásquez, 2003 pág. 14)

## **Aireación**

El compostaje es un proceso biológico a través del cual los microorganismos convierten materiales orgánicos en compost consumiendo oxígeno para extraer energía y nutrientes de éstos. El oxígeno es suministrado a los materiales que se compostan a través del proceso de aireación. El método de compostaje determina como tiene que ser realizado el mecanismo de aireación. Esta proporciona el oxígeno necesario para que se desarrollen los procesos bioquímicos aeróbicos, eliminando, asimismo, calor, humedad, dióxido de carbono y otros productos de descomposición. Aunque se pueden encontrar algunas variaciones, la aireación tiene lugar o pasivamente o por el movimiento forzado de aire. La aireación pasiva, también denominada aireación natural, tiene lugar por difusión y movimiento natural del aire. La aireación forzada se lleva a cabo, o bien a través de ventiladores o soplantes, o bien a través de la aspiración de aire que se mueve a través de los materiales se están compostando. Una tercera modalidad, aún en desarrollo, sería la inyección de oxígeno directamente en el seno de un reactor cerrado de compostaje (Moreno y Moral, 2008 págs. 98-99)

## **Tamaño de partícula**

Cuando más pequeño sea el tamaño de las partículas del material orgánico, mayor será el área superficial disponible para el ataque por los microorganismos. Partículas muy pequeñas no obstante se empaquetan entre sí de tal forma que los espacios entre ellas serán pequeños y estrechos. Esto impide el movimiento de aire hacia el interior de la pila en compostaje y el movimiento del dióxido de carbono hacia afuera. Si el tamaño de partícula es muy grande el área superficial para el ataque se reduce mucho, la reacción entonces procederá más lentamente o puede pararse totalmente. Por tanto, es necesario un término medio en el tamaño de partículas. Para pilas de compostaje que emplean un flujo natural de aire, un tamaño de partícula de aproximadamente de 1 a 5 cm es apropiado. Para sistemas de compostaje que tienen aire forzado, el tamaño de partícula puede ser hasta de 1cm. Será necesario probablemente triturar o picar el material voluminoso para reducir el tamaño de partícula de 1 a 5 cm. (Dalzell, 1991 págs. 22-23)

## **Potencial Hidrógeno (pH)**

El pH tiene una influencia directa en el compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos. En muchos trabajos se usa esta variable para estudiar la evolución del compostaje. Sin embargo, su medida, que se realiza en el laboratorio sobre el extracto acuoso de las muestras tomadas en las pilas, es solo una aproximación del pH. Mediante el seguimiento del pH se puede obtener una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla, ya que si en algún momento se crean condiciones anaeróbicas se liberan ácidos orgánicos que provoca el descenso del pH. Según algunos autores la evolución del pH en el compostaje presenta tres fases. Durante la fase Mesófila inicial existe una disminución del pH debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos. Eventualmente, esta bajada inicial del pH puede ser muy pronunciada si existen condiciones anaeróbicas, pues se formará aún más cantidad de ácidos orgánicos. En una segunda fase se produce una progresiva alcalinización del medio, debido a la pérdida de los ácidos orgánicos y la generación de amoníaco procedente de la descomposición de las proteínas. Y en la tercera fase el pH tiende a la neutralidad debido a la formación de compuestos húmicos que tiene propiedades tampón.

Suler y col.(1997) establecieron una relación entre los cambios de pH y la aireación adecuada conduce a productos finales con pH entre 7 y 8; valores más bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el materia aún no está maduro. Posteriormente estos mismos autores estudiaron las relaciones pH-aireación-microorganismos existentes en el proceso, y dedujeron que la degradación orgánica se inhibe a pH bajos, por lo que si el pH se mantiene por encima de 7,5 durante el proceso es síntoma de una buena descomposición. (Moreno y Moral, 2008 págs. 98-99)

### **Relación Carbono/Nitrógeno**

En cuanto a los factores críticos, el carbono y el nitrógeno son dos elementos esenciales para la nutrición de cualquier organismo vivo y deben encontrarse en proporciones adecuadas. Los microorganismos de una composta utilizan carbono para conseguir energía, y el nitrógeno para la síntesis de proteínas. El parámetro que mide esta relación se llama relación carbono/nitrógeno(C/N), y los valores ideales de esta relación para un buen compostaje se encuentran entre 25 y 35- Si el material de partida contiene demasiado carbono, la relación será muy alta y el proceso será lento, las temperaturas no subirán lo suficientemente y se perderá el exceso de carbono en forma de dióxido de carbono. Si por el contrario el material contiene demasiado nitrógeno, la relación es baja y se producirán pérdidas de este elemento en forma de amoníaco (NH<sub>3</sub>). (Rodríguez y Córdova, 2006 págs. 23-24)

**Tabla 5-1:** Composición media y relación C/N de algunos materiales orgánicos compostables

<b>MATERIAL</b>	<b>HUMEDAD</b>	<b>NITRÓGENO</b>	<b>RELACIÓN C/N</b>
Residuos de frutas	80	1,4	40
Huesos de aceitunas	8-10	1,2-1,5	30-35
Cáscara de arroz	14	0,3	121
Residuos vegetales	-	2,5-4	11-13
Residuos de matadero	10-78	13-14	3-3,5
Residuos de pescado	76	10,6	3,6
Esqueletos de pollo	65	2,4	5
Estiércol de gallina	37	2,7	14
Estiércol de vaca	81	2,4	19
Estambulada	79	2,7	18
Semiestambulada	83	2,7	13

Estiércol ovino	69	2,7	2,7
Purines	80	3,1	3,1
Basura (residuos alimentación)	69	1,9-2,9	14-16
Papel de uso doméstico	18-20	0,2-0,25	127-178
Lodos de depuradora de aguas residuales urbanas Activos	72-84	5,6	6
Lodos digeridos	-	1,9	16
Maíz de ensilado	65-68	1,2-1,4	38-43
Heno (general)	8-10	2,1	15-32
Heno de leguminosas	-	2,5	16
Heno de no leguminosas	-	1,3	32
Paja general	12	0,7	80
Paja cebada	-	0,9	60
Paja trigo	-	0,4	127
Corteza maderas duras	-	0,241	223
Corteza maderas blandas	-	0,14	496
Residuos de papel de periódico	3-8	0;0,6-0,14	398-852
Lodos industria papelera	81	0,56	54
Pulpa de papel	82	0,59	90
Serrín	39	0,24	442
Residuos maderas blandas	-	0,09	560
Residuos maderas duras	-	0,09	641
Restos vegetales de jardinería urbana	82	3,4	17
Hojas	38	0,9	54
Poda de árboles	701,4	3,1	16

Fuente: (Rynk et al., 1992 págs. 112-113)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### **Materia orgánica (MO)**

La materia orgánica en la naturaleza se puede encontrar de varias formas, pero de forma general se encuentra de tres maneras, la primera corresponde a la materia orgánica no transformada compuesta por biomasa animal, vegetal y microbiana, la segunda forma es la materia orgánica semitransformada compuesta por todo el material en proceso de descomposición y la última la

materia orgánica transformada compuesta por todos los materiales totalmente estables como el humus (Larco, 2004 pág. 13)

Para determinar la calidad del compost se utiliza el contenido de materia orgánica, conforme el proceso avanza el contenido de materia orgánica disminuye debido a la mineralización de los materiales como también por pérdida del carbono como anhídrido carbónico. El porcentaje de materia orgánica se pierde por dos fases en la primera es cuando los carbohidratos son disminuidos por la conversión de cadenas largas de carbono en cortas para formar compuestos simples muchos de estos compuestos simples se enlazan y forman los ácidos húmicos, en la segunda fase la materia orgánica disminuye por la degradación de los compuestos más complejos como la lignina para formar ácidos húmicos aunque estos cambios no se finalizan durante el proceso de compostaje. Los cambios rápidos que experimenta la materia orgánica varían en función de su naturaleza física-química, actividad microbiana y factores físicos-químicos del proceso (Bueno et al, 2008 pág. 7)

#### **1.3.1.2.5      *Contenedores de Compost***



**Ilustración 4-1:** Contenedores de compost

**Fuente:** Programa de Procesos Agroindustriales, CORPOICA-C.I. Tibaitatá 2005

Hay una gran variedad de formas para hacer compost, de hecho hay quien prefieren usar algún tipo de contenedor para la elaboración de compost como por ejemplo realizando torres usando papel reciclado dando forma cúbica, listones y panchas hechas de madera, bloques de hormigón o trozos de alambre. También se lo realiza en barriles especiales o depósitos que se pueden comprar o reciclar, y de la misma forma otros lo realizan sin usar nada, tan solo forman una pila en un lugar abierto y disponible. Cada uno de estos tienen ventajas y desventajas, los resultados

pueden ser los mismos a la hora de obtener compost, es mucho más importante partir de los materiales adecuados y tener cuidado con las proporciones del ambiente que influyen en los microorganismos. El hacer compost en diferentes contenedores es una cuestión de cuánto material poseo para realizarlo, cuál es el sistema que mejor conviene y que cumpla preferencias de limpieza, cuánto tiempo se desea tardar en realizar el mismo. (Alonso, 2011 pág. 35)

## **Pilas**

Generalmente se realizan con una pila de compost ya sea en el suelo o en una zanja, es ideal para personas que tienen suficiente espacio y no desean complicarse haciendo torres. La pila puede tener forma cónica o trapezoidal y se coloca el material en las cantidades adecuadas. Con el pasar del tiempo se va volteando de vez en cuando; el beneficio de que es mucho más barato y la desventaja es que el material se suele desperdigar y da un aspecto de poco cuidado, además que los bordes no se compostan si no se remueve la pila periódicamente. (Alonso, 2011 pág. 35)

## **Cilindros o barriles móviles**

Se puede realizar tanto en cilindros de metal como plástico, pueden ser reciclados o elaborados. El plástico es el material ideal para realizar compost porque es posible mantener temperaturas relativamente altas, incluso si el recipiente es pequeño ya que el contenedor ayuda como un aislante, se calienta más pronto y se pierde menos calor. Si el tanque es cilíndrico, puede permitirse la aireación haciendo agujeros para la entrada de aire lo que beneficiaría al sistema. Es muy rápido y eficaz, pero hay que controlar la humedad, aireación y temperatura. Si hay un exceso de humedad, bajan los niveles de aireación y se puede desprender malos olores atrayendo moscas y vectores. (Alonso, 2011 págs. 38-39)

## **Cubos**

Es fácil de construir y práctico, en este simplemente se colocan cuatro caras de madera que se pueden sujetar con alambres, cuerda o cadenas y se empieza a introducir los residuos. La ventaja es que tiene mucha aireación, además que se suele remover y extraer con facilidad, la desventaja es que se seca rápido y es incómodo mezclar las esquinas donde el material aún no está lo

suficientemente maduro (no caliente), a su vez la madera si no es bien tratada se irá descomponiendo. Esto se puede solucionar construyendo un cubo con ladrillos o bloques de hormigón. (Alonso, 2011 págs. 37-38)

#### ***1.3.1.2.6      Sistemas de Compostaje Industrial***

##### **Sistemas Abiertos**

Son los mencionados anteriormente la diferencia es que aquí se realizan pilas enormes y de gran longitud por la cantidad de material que se usa a nivel industrial.

##### **Sistemas Cerrados**

Los procesos en túneles, contenedores o en tambor son procesos modulares que permiten ampliar la capacidad de tratamiento, añadiendo las unidades de tratamiento necesarias. El recipiente puede ser cualquier cosa, desde un silo a un foso de hormigón. Como se trata de sistemas cerrados, es posible tratar los olores producidos por una eventual descomposición anaerobia. Comúnmente se hace uso de la ventilación forzada, similar en la operación a una pila estática ventilada. Los sistemas se mueven con motores o paletas reforzadas. Otros sistemas de compostaje en contenedores pueden incluir sistemas de mezcla interna que físicamente mueve los materiales a través del contenedor, combinando las ventajas de los sistemas de pilas volteadas y pilas estáticas ventiladas. Asimismo, se incorpora un sistema de ventilación para el aporte de oxígeno necesario para los microorganismos. (Alonso, 2011 pág. 106)

##### **Compostaje en tambor.**

El proceso de compostaje tiene lugar en un tambor de rotación lenta. Estos tambores pueden trabajar en continuo o por cargas y son de diferentes tamaños y formas. Están contruidos en acero y la mayoría de ellos incorporan aislamiento térmico. El residuo orgánico, una vez pesado y registrado, es descargado en la zona de recepción. Desde aquí se deposita mediante pala cargadora, sin más preparación, directamente al alimentador de los tambores de compostaje. La

alimentación del residuo y su distribución dentro del tambor se realiza de forma totalmente automática. El proceso de descomposición tiene lugar dentro del tambor de compostaje. Gracias a la rotación intermitente de la unidad de compostaje, el material es desembrollado, homogeneizado y desfibrado de forma selectiva con un resultado óptimo. El líquido de los residuos, liberado durante la transformación de las sustancias orgánicas, es re-alimentado al residuo orgánico por la rotación intermitente del sistema, manteniéndose dentro del mismo. (Alonso, 2011 pág. 110)

### **Compostaje en túnel**

Aquí, el proceso tiene lugar en un túnel cerrado, generalmente fabricado en hormigón, con una vía de ventilación controlada por impulsión o aspiración, imprescindible para el aporte de oxígeno a los microorganismos. La diferencia con el proceso anterior, reside en que aquí el residuo se encuentra sin movimiento y el proceso es completo. (Alonso, 2011 pág. 110)

### **Compostaje en contenedor**

Es una técnica similar a la anterior. La diferencia reside en que, en este sistema, el compostaje se realiza en contenedores de acero, generalmente de menor tamaño que los túneles de hormigón. A menudo es un proceso en continuo, con carga del material a compostar en la parte superior y descarga por la parte inferior. (Alonso, 2011 pág. 110)

### **Compostaje en nave**

El proceso de compostaje tiene lugar en una nave cerrada. La ventilación se realiza mediante una placa en la base y/o con ayuda de diferentes tipos de unidades rotativas (volteadoras). Las plantas modernas están totalmente automatizadas y equipadas con volteadoras, las cuales se mueven por medio de grúas elevadoras y pueden utilizar la totalidad del área de la nave. (Alonso, 2011 págs. 110-111)

### 1.3.1.3 Reactor y Biorreactor

#### **Reactor**

Se define como reactor al conjunto de componentes físicos e ingenieriles diseñados con el fin de acoger en su seno o en cuyo interior una reacción química, este sistema está creado para mejorar la transformación de los agentes a reaccionar, selectividad del fenómeno químico citado anteriormente al mínimo precio posible. (Schmidt, 1998 págs. 20-35)

El diseño y la construcción de este tipo de sistemas, lleva inmerso consigo la necesidad de poseer la preparación y el conocimiento claro de principios expuestos en la mecánica de fluidos, la termodinámica, la cinética química, la transferencia de masa y energía, así como de los balances simultáneos de masa y energía.

Cada uno de estos requerimientos son muy trascendentales a la hora de buscar conocer la capacidad, la clase, el régimen de trabajo, ya que con los mismos se determinará las variables para el diseño que cumplirá con el objetivo de la investigación y se podrá prever el comportamiento que presentara el reactor al someterlo a distintas condiciones de trabajo.

#### **Biorreactor**

Un Biorreactor es un tipo de reactor, ya que también en su interior tiene lugar una reacción química, en donde sus elementos de reacción están estimulados por la presencia de enzimas purificadoras, células independientes o encadenadas y sustancias bioactivas que se derivan de organismos biológicos que intervienen optimizando el tiempo de labor que lleva el proceso. (Lara, 2011)

Dicho mejoramiento, que se logra con aquellos estímulos, mantiene el medio biológicamente dinámico, este factor puede determinar que el medio se desempeñe en condiciones aerobias o anaerobias. Los biorreactores por lo general tienen geometrías cilíndricas pero esta condición puede variar de acuerdo a las necesidades que requiera el objeto de estudio, así como el

mecanismo de funcionamiento de cada uno de los componentes y aparatos que aseguren un control total del proceso ligado a variables de trabajo tales como la humedad, la temperatura, el pH, retención de oxígeno, etc. (Verdezoto, 2014 págs. 20-40)

#### ***1.3.1.3.1 Clasificación operativa***

Los reactores se pueden clasificar en función de la clase de operación para la cual son objetos de estudio y son los siguientes

##### **Batch**

Este tipo de reactores de tamaños considerablemente pequeños son diseñados con el objetivo de llevar a cabo en su seno la mayoría de los procesos químicos, tales como las transformaciones en las cuales no ingresa ni sale materia durante el tiempo de operación (lapso de la reacción anaerobia), es decir al inicio del proceso se colocan los sustratos después se define las condiciones de trabajo tales como la temperatura, presión, aireación entre otros aspectos que son primordiales para que se consiga el producto de la reacción con el mayor beneficio y el costo más asequible. (Paredes, 2015 pág. 9)

##### **Semicontínuos**

Se rige a un procedimiento más manejable, pero con mayor dificultad en su interpretación con respecto a los demás tipos de reactores. Los beneficios van desde colocar todo el material de inicio en el sistema hasta ir retirando los productos y brinda un buen control de cinética de reacción ya que la misma ocurre a medida que se incorporan los reactivos en lapsos de tiempo específicos, lo cual a su vez converge en una desventaja que resulta en incorporar los sustratos a medida que se consuman. (Paredes, 2015 pág. 9)

## **Continuos**

Es aquel sistema con mayor uso a escala industrial ya que en su interior se lleva a cabo la reacción química, la misma que se halla inmersa en una agitación continua con el fin de favorecer la constante alimentación de los reactantes y de producir una retromezcla. Debido a estas ventajas, el modelo no sufre de alteraciones espaciales en la concentración, temperatura o cinética de reacción en la totalidad de sitios del depósito. (Paredes, 2015 pág. 9)

### **1.3.1.3.2 Factores a considerar para el diseño de un Reactor de compost**

#### **Temperatura**

Es uno de los parámetros más preponderantes en la descomposición de la materia orgánica ya que en la misma se necesita una temperatura mínima de 4 a 5 ° C y una máxima que no supere los 70 °C para que las bacterias propias del proceso no cesen sus funciones y mueran. Este parámetro debe ser guiado y mantenido meticulosamente con el fin de cumplir las tres fases imprescindibles en el proceso de compostaje (Paredes, 2015 pág. 10), las cuales se mencionan a continuación:

- Psicrófilo Inferior a 25°C
- Mesófilo Entre 30 y 40°C
- Termófilo De 50 a 60°C

#### **Agitación y Mezclado**

El propósito de esta operación es proporcionar al medio la homogenización del sustrato (concentración de los sólidos del mismo), es decir remover y mezclar la base de la materia a descomponer con los metabolitos producidos por las bacterias para lograr tener una densidad bacteriana uniforme en cada una de las partes del sistema. Esta operación es importante ya que busca que el calor producido se extienda de manera que el sistema sea isotérmico en cada uno de sus puntos. (Paredes, 2015 pág. 10)

## **Tiempo de Residencia**

Se denomina tiempo de residencia o de retención a la permanencia en días, durante los cuales el sustrato de origen orgánico va a residir en el interior del reactor descomponiéndose hasta que se transforme en compost. Este aspecto se vincula particularmente con la celeridad a la cual los componentes del sustrato son separados y aprovechados por las bacterias propias y la temperatura a la cual se desarrolla la transformación de la materia.

Es decir, el tiempo de residencia es directamente proporcional con la temperatura ya que a mayor temperatura más rápido se desintegra el sustrato y su tiempo en el sistema será menor. (Paredes, 2015 pág. 10)

### ***1.3.1.3.3 Estructura de un Reactor***

La estructura de un reactor frecuentemente emplea elementos químicos (reactantes, catalizadores), bacterias, entre otros agentes simples indispensables que junto a las condiciones de alimentación a tratar (temperatura, presión, composición y caudal) nos permiten estimar los elementos primordiales que tentativamente formarán parte del reactor, que de acuerdo a las cantidades ya sean piloto o a escala industrial presentarán una elevada variedad de particularidades entre los cuales están (Paredes, 2015 pág. 12):

## **Recipiente**

“También llamado tanque que va a albergar el proceso (químico o microbiológico) debe fabricarse con los siguientes requerimientos:

- Elementos no peligrosos, no abrasivos con alta resistencia al constante movimiento, elevadas temperaturas y presiones.
- Aireación (entrada de aire y purga de gases propios del proceso).
- Ingreso del sustrato o materia prima y obtención del producto.
- Mecanismo de agitación.

- Acceso para el monitoreo periódico del proceso.” (Paredes, 2015)

### **Sistema de Aireación**

“Mediante aireación forzada la misma que se define como el movimiento artificial de aire a través de una cantidad de sustrato, con el fin de equilibrar o bajar la temperatura y propiciar el contacto Sustrato-Materia.

El parámetro de vigilancia más efectivo y el más utilizado es la Aireación ya que promueve la modificación de las propiedades de la materia, evitando aquellos aspectos que no son beneficiosos para la proliferación, mejora, desintegración microbiana y/o química. Los requerimientos del desempeño y respiración de los agentes microbianos o químicos se basan en el consumo de oxígeno del aire con el fin de descomponer los macro y microelementos orgánicos presentes en el sustrato. El uso de este parámetro disminuye las emanaciones desagradables que tienen que ver con transformaciones anaerobias, las mismas que pueden hacer del producto final un elemento nocivo para el ambiente.

En general la alimentación de aire tiene tres fines:

Alimentación de oxígeno a los microorganismos responsables de la degradación de la materia.

Eliminación de un exceso de humedad en el material.

Extracción de calor propio del proceso de degradación microbiana para el control de la temperatura.” (Valverde, 2015)

### **Sistema de Agitación**

“Los reactores comúnmente deben poseer un sistema de agitación que trabaje conjuntamente con un sistema de administración de aire cuando el proceso lo requiera. Este sistema de agitación tiene por objetivo producir un movimiento constante, uniforme, pero sobre todo fuerte para que todo el sustrato que se encuentre en el interior del reactor logre estar sometido a las mismas condiciones y ubicado simétricamente en el sistema. Normalmente este sistema cuenta con 4 segmentos ingenieriles que son:

Boquete de ingreso del Reactor: Es aquella área a través de la cual se instala un punto de conexión, el mismo que servirá como vía para efectuar acoplamientos o para instalar accesorios en el reactor.

Motor: Es aquel que provee la fuerza mecánica requerida por el eje, este instrumento debe ser necesariamente de acción continua con el fin de que ejecute su trabajo de manera permanente a través de todo el proceso de transformación; por ello se debe calcular la potencia con el fin de poder manejar el doble de energía teórica necesitada para mover el sustrato que se encuentra dentro del sistema.

Soporte de transmisión de potencia: Es un eje cilíndrico cuyo diámetro debe proporcionar su conexión con el motor, este instrumento debe ser proporcional al tamaño del tanque, de un material resistente al peso del sustrato e invulnerable a la corrosión.

Encaje del soporte con el motor: Conecta y adecúa la barra al motor para facilitar la rotación del tanque.

Sello hermético: Este artefacto provee tres beneficios para el proceso: mantener el régimen aislado, impedir la contaminación y permitir el aseo del reactor.

Eliminación de lixiviados: Los orificios de evacuación frecuentemente se ubican en la base del reactor, mediante una válvula que permita la expulsión del exceso de humedad.” (Paredes, 2015 págs. 14-15)

### **Verificación de la temperatura**

Mediante un sensor se verifica la temperatura en el interior del sistema, para mantener constante y entre los límites permitidos. Esto es de vital importancia ya que de eso dependerá la conservación de los organismos y las especies químicas que se encuentren en reacción.

#### *1.3.1.4 Factores en la importancia de la velocidad de descomposición*

##### ***1.3.1.4.1 Interacción entre la generación de calor y temperatura***

El tratamiento de la materia orgánica (desintegración del sustrato mediante una reducción en su peso, volumen y contenido de agua, para dar como resultado un producto estable y de condiciones favorables para el medio ambiente) se consiguen con la producción de calor, ya que es directamente proporcional a la desintegración de la materia. El objetivo desde el punto de vista (químico-biológico) para un óptimo tratamiento de residuos orgánicos es la autoproducción de calor por parte de los seres, microorganismos degradantes y/o agentes químicos; por lo que para un proceso armónico es fundamental buscar y promover una interrelación entre dicha generación de calor y por ende en la mantención de la temperatura conscientemente producida.

Consideremos el comportamiento de una pila no controlada de material orgánico que tiene las siguientes características: es lo suficientemente grande para ser auto aislante; el material es húmedo y apoya nutricionalmente al crecimiento microbiano; el material es suficientemente poroso para permitir el intercambio de gases; el intercambio de gases es suficiente para evitar el agotamiento de oxígeno. Con estas características una pila aumenta de forma espontánea en la temperatura porque, por un período de tiempo, la tasa de generación de calor microbiana dentro de la pila supera la tasa de pérdida de calor a los alrededores, este fenómeno de "auto-calentamiento" es la base del proceso de compostaje. Al principio del auto-calentamiento, un bucle de retroalimentación positiva se establece entre la generación de calor microbiana y la temperatura, las temperaturas más elevadas favorecen el crecimiento microbiano con su generación metabólica asociada en forma de calor. Cuando la temperatura empieza a superar aproximadamente 38 °C, la retroalimentación se vuelve negativa, ya que los niveles más altos son progresivamente desfavorables para el crecimiento y la actividad mesofílica. Esto ralentiza la subida de temperatura ya que, en ausencia de los acontecimientos posteriores, se da por terminado en aproximadamente 50 °C. (Finstein y Miller, 1985 págs. 1-35)

Seguidamente, el ascenso de temperatura se renueva, con el inicio del crecimiento termofílico, a partir de aproximadamente 45 °C. Esto restablece la retroalimentación positiva entre la generación de calor y la temperatura. Desde la población termófila en masas orgánicas el auto-calentamiento es más activo a aproximadamente 55 °C, la retroalimentación empieza a ser negativa cuando la temperatura supera este valor. Luego, el ascenso de temperatura disminuye de

nuevo, típicamente alcanzando un máximo de 80 °C. A esta temperatura, la generación de calor es leve. Es por esta razón que se distinguen diferentes etapas en el proceso de compostaje, y debido a este fenómeno se debe hacer una diferenciación de las mismas para poder elegir una estrategia que controle el sistema adecuadamente. La estrategia radica en el plano conceptual, ya que representa un plan para guiar la interacción física, química, eventos biológicos, etc. La implementación de una estrategia es a través de algún conjunto de elementos físicos y mecánicos, incluyendo la geometría de la masa de compostaje, equipos para la ventilación, y maquinaria para la manipulación de materiales. Los elementos de este nivel de organización del proceso se denominan configuración colectiva. La distinción entre la estrategia y la configuración es fundamental para este trabajo de investigación. La configuración a usar será la de pila estática abierta, lo que significa que el material se encuentra al aire libre, ventilado por el soplador, pudiendo o no ser agitado mecánicamente durante el compostaje. (Finstein y Miller, 1985 págs. 1-35)

#### ***1.3.1.4.2 Grado de Aerobiosis y porosidad del material***

Aerobiosis es el grado por medio del cual los microorganismos toman energía en forma de oxígeno para promover la desintegración del sustrato a través del proceso de obtención de compost. A pesar de que los agentes desintegradores normalmente utilizan el oxígeno ligado en el sustrato y el oxígeno del medio aún no se tienen estimaciones exactas de la cantidad de oxígeno requerido por una cantidad de masa definida, con el fin de suministrar oxígeno mediante un control automático. La concentración de oxígeno medida directamente en los gases de escape, ha sido ampliamente utilizada como un indicador de la suficiencia de oxígeno y por lo tanto el grado de Aerobiosis. Esto puede ser verdadero sólo cuando la concentración de oxígeno influya sobre la fuerza de difusión de los gases. Sin embargo, otros factores, tales como el espesor, tamaño de partícula, temperatura, y velocidad de reacción, son de igual si no de mayor importancia en la determinación el grado de Aerobiosis. De hecho, como se indica por (Miller et al., 1990), las concentraciones óptimas de oxígeno han encontrado valores que oscilan entre 5 y 20 %. Por consecuencia, este indicador es de una especificidad y sensibilidad bastante limitada. El cociente respiratorio microbiano (la relación de moles de CO<sub>2</sub> producidos respecto a O<sub>2</sub> consumidos en un lapso de tiempo dado) puede ser un indicador más apropiado del grado de Aerobiosis, ya que puede diferenciar entre condiciones aeróbicas y anaeróbicas independientemente de los factores en juego (MacGregor et al., 1981 págs. 1321-1330).

La porosidad se determina por el tamaño de partícula, la estructura de las mismas y la disponibilidad de agua (Agnew y Leonard, 2003 págs. 238-264). Diferentes autores sugieren diferentes

valores para los requisitos mínimos de porosidad, se ha encontrado que varían de acuerdo a la humedad contenida y a las diferentes mezclas de los coeficientes de la matriz orgánica (Richard, 2002). La porosidad se puede controlar por medio de una mezcla adecuada y el diseño adecuado del sistema para evitar la compresión. La mezcla del material de compostaje ha mostrado un efecto significativo de la porosidad y permeabilidad al aire (Albuquerque et al, 2006 págs. 620-626). Para diferentes tipos de materiales y mezclas que influyen directamente en los patrones de flujo de aire a través de la pila, la temperatura afecta tanto a la tasa de reacción como a las velocidades de difusión de gas.

#### ***1.3.1.4.3 Potencial de olor***

La cuota potencial de olor puede definirse como la fuerza de olor que se espera que surja en las proximidades de una planta de compostaje debido a la concentración de ciertos compuestos orgánicos volátiles COVs presentes en los gases de escape de cierto material compostado. Los autores no tienen conocimiento de ningún método plenamente probado que sea capaz de medir el potencial de olor en tiempo real. Se puede afirmar que el grado de Aerobiosis puede ser un indicador útil en este contexto, en la medida en que el metabolismo aeróbico parece ser el más importante parámetro operativo, de prevención de olores (Miller et al., 1990 págs. 278-296). En vista de la falta de un indicador confirmado de potencial de olor, el seguimiento de olor tiene que únicamente basarse en los parámetros que influyen (Sironi, 2007 págs. 389-397). Una parte del metabolismo anaeróbico, velocidad de reacción y de la temperatura también son parámetros que influyen en el posible olor en una multitud de formas, incluyendo reducción de azufre no biológica, la volatilización de amoníaco, y también el potencial de asimilación de intermedios volátiles por la regulación de la diversidad de la población microbiana (Finstein y Hogan, 1993 págs. 1-23).

### **1.4 BENEFICIARIOS DIRECTOS E INDIRECTOS.**

#### **DIRECTOS**

Las partes directamente beneficiadas en este proyecto son los estudiantes y docentes de la institución ya que será de gran uso para la parte teórica del aprendizaje forjado en las aulas de estudio y llevado a la práctica mediante la elaboración de compost y su posterior uso en los campos de la Agricultura y el cuidado ambiental.

## **INDIRECTOS**

La institución educativa y el ambiente son los beneficiados indirectamente ya que parte del material orgánico residual generado en la misma será tratado y aprovechado con fines agrícolas, además como aporte para la comunidad pues el compost podrá estar al alcance para su posterior utilización.

## **CAPÍTULO II**

### **2 OBJETIVOS DEL PROYECTO**

#### **2.1 General**

Realizar el diseño y construcción de un reactor batch prototipo para la obtención de compost con residuos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

#### **2.2 Específicos**

- Caracterizar química y físicamente los residuos orgánicos que servirán de materia prima para la elaboración del compost.
- Evaluar las variables que permitan mantener óptimas condiciones de operación para la obtención de compost.
- Determinar los parámetros de diseño para la construcción del reactor batch prototipo.
- Validar el proceso de obtención del compost mediante la caracterización del mismo en base a la norma ambiental para el Distrito Federal NADF-020-AMBT-2011 de México, que establece los requerimientos mínimos para la producción de compost así como las especificaciones mínimas de calidad del compost producido y a su vez en la norma NCh2880 regida en Chile.
- Establecer el costo para la realización de este diseño y construcción.

## CAPÍTULO III

### 3 ESTUDIO TÉCNICO

#### 3.1 Localización del proyecto

El presente equipo está diseñado para compostar los desechos orgánicos que provienen de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, tanto de la poda que se obtiene del arreglo de jardines de la institución así como de los residuos alimenticios de origen vegetal que se dan en bares y comedores politécnicos.

##### 3.1.1 Localización geográfica

**Tabla 1-3:** Localización Geográfica del proyecto.

País	Ecuador
Región	Sierra
Provincia	Chimborazo
Cantón	Riobamba
Dirección	Panamericana Sur km 1 ½
Lugar	Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Laboratorio	Operaciones Unitarias

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.1.2 *Micro Localización*



**Ilustración 1-3:** Laboratorio de Operaciones Unitarias en la ESPOCH

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.1.3 *Macro Localización*



**Ilustración 2-3:** Ubicación de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.1.4 Características climatológicas del lugar

Riobamba se encuentra en la parte central de la región sierra (Geográficamente en las coordenadas: 1°38'3" y 4" de latitud sur, 78°39' y 78°40'36" ), consecuentemente cuenta con un clima frío propio de la geografía de los andes que llega a reflejar temperaturas promedio cercanas a 14° C.

Entre las principales propiedades climáticas se encuentran:

**Tabla 2-3:** Propiedades climáticas

Presión Atmosférica	556,8 mmHg
Velocidad del viento	1,8 m/s
Humedad relativa	87 %
Temperatura media ambiental	13,2°C
Precipitación anual	1544 mm

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2 Ingeniería del proyecto

La materia orgánica producida en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en condiciones anaerobias, pueden generar como subproductos gases altamente tóxicos e inflamables, principalmente anhídrido carbónico, metano, ácido sulfúrico y amoníaco, que producen serios problemas de contaminación atmosférica, de suelos y de mantos freáticos incumpliendo con la gestión de la calidad ambiental en el Ecuador. Una alternativa que puede aliviar este problema es la producción de compost, un abono orgánico que se forma por la degradación microbiana de materiales acomodados en capas y sometidos a un proceso de descomposición.

En un principio se caracteriza química y físicamente los residuos orgánicos, en donde con distintos métodos de análisis se conoce las principales características de la materia prima, estos residuos son originados en las diversas áreas de la institución, dicha determinación busca establecer en forma simultánea el carbono orgánico, N potencialmente mineralizable en suelos, fósforo disponible, potasio intercambiable, materia orgánica, cenizas, pH, conductividad

eléctrica, entre otros parámetros para lograr un mejor control del proceso de fermentación y así poder formar un sustrato idóneo para el proceso de compostaje.

Las variables más importantes que afectan a los sistemas de compost pueden ser clasificadas en dos tipos: condiciones de seguimiento y condiciones relativas a la naturaleza del sustrato. Entre las condiciones de seguimiento se encuentran: temperatura, humedad, pH y tiempo de retención. Como segundo punto en esta investigación se realizan pruebas piloto que son evaluadas en el proceso de elaboración del compost en recipientes reciclados, la materia prima vegetal anteriormente caracterizada es llevada a un tamaño de partícula ideal (1-5cm), que junto al material orgánico con la humedad adecuada permite preparar recetas de compost que ya están estipuladas en estudios realizados, pero puedan estar sujetas a cambios con el fin de adaptarse al reactor objeto de diseño, además de optimizar el tiempo y la calidad del producto final.

Como principales parámetros de proceso en el presente proyecto se citan la Humedad y la Temperatura. Las temperaturas óptimas máximas del proceso se encuentran entre 65 °C y 70 °C. Temperaturas menores de 20°C frenan el crecimiento microbiano y la descomposición de los materiales. Si la temperatura es superior a 70°C puede ocasionar la muerte de bacterias benéficas y se inhibe el desarrollo de los microorganismos, con lo que se reduce la tasa de descomposición y suelen existir pérdidas de nitrógeno.

Entre las condiciones relativas a la naturaleza del sustrato: tamaño de partícula, relaciones C/N y C/P, nutrientes, materia orgánica y conductividad eléctrica. De acuerdo a la humedad, las actividades microbianas relacionadas con el crecimiento y disposición celular requieren unas condiciones de humedad óptimas. Niveles de humedad menores del 45-60% originan un descenso en la actividad microbiana. Humedades por debajo del 20% inhiben casi totalmente dicha actividad. Un exceso de agua podría originar anaerobiosis y un lavado de nutrientes por lixiviación, así como, producción de olores desagradables y descenso en la temperatura.

Son por estas razones el sentido del diseño del Reactor Batch, ya que se busca la optimización del tiempo de producción de compost óptimo y listo para su uso en suelos, puesto que normalmente un buen compost tarda en obtenerse alrededor de 150 días por motivos de falta de control en las variables antes mencionadas, es por ello que, para poder dimensionar y construir correctamente el Reactor hay que tomar en cuenta los parámetros de operación que van a estar inmersos en el

diseño, tales como la agitación la misma que se lleva a cabo mediante un motor conectado a un sistema cinemático de poleas donde se produce la rotación de un eje en el cual esta fijo el tanque que consecuentemente gira a manera de tambor rotatorio permitiendo así la homogenización de todo el sustrato. Lo que producirá una mezcla uniforme de los materiales: de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba.

La humedad dentro del reactor se maneja mediante mediciones periódicas por medio de un sensor que está inmerso en el centro del sustrato, gracias a que el material es rico en humedad no hay necesidad de aspersión de agua, por lo contrario, en el proceso hay una elevada producción de lixiviados que se evacuan por orificios situados en la base del reactor y se recogen en una bandeja fija en la estructura de la mesa. El compostaje es un sistema de degradación biológica en cuyo seno se hallan inmersas bacterias, las mismas que al fermentar y descomponer los residuos orgánicos necesitan de una dotación permanente de oxígeno por lo cual se implementara un sistema de aireación, el mismo que se encarga de proveer el aire necesario para que la población bacteriana desempeñe sus funciones óptimamente.

Para validar el proceso de obtención del compost mediante la caracterización del mismo en base a la norma ambiental para el distrito federal NADF-020-AMBT-2011, que establece los requerimientos mínimos para la producción de composta a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos, agrícolas, pecuarios y forestales, así como las especificaciones mínimas de calidad de la composta producida y/o distribuida en el distrito federal, México; a su vez también es usada la norma NCh2880.c2003 para Compost – Clasificación y requisitos, preparada por el instituto nacional de Normalización (INN), miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISIÓN PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS (COPANT).

### **3.2.1 *Parte experimental***

Las características a ser controladas tanto al inicio como al final del proceso han sido tomadas de estudios e investigaciones previas. Para la fabricación del reactor batch se procedió a manipular y establecer las condiciones más adecuadas para así poder obtener un producto de calidad y que cumpla con las normas establecidas.

### 3.2.1.1 Muestreo

Para la obtención de la materia prima del proceso, se procedió a tomar muestras significativas de residuos orgánicos de tipo vegetal producidos en el comedor politécnico, los cuales llegaron a ser parte fundamental en el proceso de compostaje que se emula en el reactor.

El agente estructurante en dicho proceso lo constituyeron los restos de poda (césped, hojas secas) generados día a día en los jardines de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y que son desechados en botadero de la institución. Los residuos fueron triturados y homogenizados meticulosamente.

**Tabla 3-3:** Muestreo para el proceso de compostaje

<b>MUESTRA</b>	<b>RECIPIENTE</b>	<b>CANTIDAD DE MUESTRAS</b>	<b>PESO</b>	<b>MÉTODO</b>
<b>Residuos Orgánicos Vegetales</b>	Para recoger estos materiales se utilizaron lonas, baldes plásticos y fundas de basura industriales.	Se tomaron muestras al inicio, durante y al final para realizar las respectivas pruebas y caracterizaciones de laboratorio.	La cantidad de muestra húmeda fue 1 kg de cada tipo de residuo.	Se realizó el método de cuarteo, así obtuvimos una muestra de características homogéneas y representativas.
<b>Poda</b>	En esta recolección se usaron fundas plásticas			

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.2 Metodología

#### 3.2.2.1 Métodos, técnicas e instrumentos

## **Métodos**

Para generar el diseño del reactor como propuesta tecnológica, se acudió a fuentes bibliográficas, en donde se obtuvo parámetros idóneos, cantidades específicas, formulaciones y variables de control, que intervienen en el proceso de compostaje y permitieron obtener un producto final de calidad.

La materia orgánica vegetal procedente del comedor politécnico y de la poda de los jardines de la institución se sometió a un proceso de reducción de tamaño en una trituradora mecánica, de cada residuo se tomaron muestras húmedas de 1000 g respectivamente y se procedió a secar para realizar pruebas de laboratorio, con los resultados obtenidos en dichos análisis se pudo calcular la relación carbono-nitrógeno, la misma que es de vital importancia para determinar las cantidades adecuadas tanto de material orgánico vegetal y de restos de poda que serán incorporados en el reactor.

La materia prima de partida se colocó en un modelo experimental, el mismo que fue elaborado en un tanque plástico situado en una mesa de madera con la facilidad de movimiento para la homogenización de material y dotado de orificios que permitían la aireación del compost. Una vez ya puestos todos los residuos en el tanque se procedió a controlar diariamente la temperatura y humedad, para realizar volteos semanales. Ya finalizado el proceso se tomó muestras para hacer los respectivos análisis del compost final.

## Técnicas

**Tabla 4-3:** Técnica para la determinación de humedad

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS,MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<b>Humedad</b>	La humedad del suelo se calcula por la diferencia de peso entre una misma muestra húmeda, y después de haberse secado en la estufa hasta obtener un peso constante.	Muestras del residuo a analizar. Balanza analítica. Espátula. Charolas o papel aluminio a peso constante. Estufa.	1) Pesar 1 Kg de muestra sobre un papel o charola de aluminio a peso constante. 2) Colocar la muestra dentro de la estufa a 80 °C de 12 a 24 horas. 3) Voltear la muestra cada cierto tiempo 4) Sacar la muestra de la estufa y colocarla dentro de un desecador para que se enfríe. 5) Pesar la muestra con todo y papel hasta obtener peso constante. 6) Calcular los porcentajes de humedad.	$\%H = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso húmedo}} \times 100$

Fuente: (Fernández, 2006 págs. 19-25)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 5-3:** Técnica para la determinación de pH

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
pH	<p>El método potenciométrico o electroquímico para medir pH de un suelo es el más utilizado. Con este método se mide el potencial de un electrodo sensitivo a los iones H<sup>+</sup> (electrodo de vidrio) presentes en una solución problema; se usa como referencia un electrodo cuya solución problema no se modifica cuando cambia la concentración de los iones por medir, que es generalmente un electrodo de calomelano o de Ag/AgCl. El electrodo, a través de sus paredes, desarrolla un potencial eléctrico. En la práctica se utilizan soluciones amortiguadoras, de pH conocido, para 20 calibrar el instrumento y luego comparar, ya sea el potencial eléctrico o el pH directamente de la solución por evaluar.</p>	<p>Muestra de suelo.                      Balanza analítica.                      Vasos de precipitado de 25 ml.                      Pipeta de 10 ml.                      Piceta con agua destilada.                      Medidor de pH.                      Agua destilada.                      Agitadores magnéticos.</p>	<p>1) En un vaso de precipitación pesamos 5 g de muestra.                      2) Agregamos 50 mL de agua destilada y agitamos hasta que la solución este homogenizada.                      3) Introducimos los electrodos del medidor de pH y esperamos el valor calculado de pH                      4) Retirar los electrodos y lavar con agua destilada</p>	<p>Lectura directa en el medidor de pH</p>

Fuente: (Fernández, 2006 págs. 19-25)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 6-3:** Técnica para la determinación de conductividad eléctrica

PARÁMETRO	FUNDAMENTO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Este método se basa en la teoría de la disociación electrolítica. Es aplicable a aguas o extractos de suelo. El equipo para medir la conductividad eléctrica es un conductímetro, que consiste en dos electrodos colocados a una distancia fija y con líquido entre ellos. Los electrodos son de platino y en ocasiones pueden llevar un recubrimiento de platino negro o grafito; estos se encuentran sellados dentro de un tubo de plástico o vidrio (celda), de tal manera que este aparato puede ser sumergido en el líquido por medir. La resistencia eléctrica a través de los electrodos se registra a una temperatura estándar, generalmente 25°C.	Balanza analítica Medidor de conductividad Agitador manual Muestra a evaluar Piceta Probeta de 25 mL Vasos de precipitación de 100 mL Agua destilada	1) En un vaso de precipitación pesamos 5 g de muestra 2) Agregamos 50 mL de agua destilada y agitamos hasta que la solución este homogenizada 3) Ajustamos el analizador para medir conductividad eléctrica 4) Introducimos los electrodos y esperamos el valor de conductividad eléctrica 5) Retirar los electrodos y lavar.	Lectura directa en el medidor

Fuente: (Fernández, 2006 págs. 19-25)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 7-3:** Técnica para la determinación de Materia Orgánica

PARÁMETRO	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	PREPARACIÓN PREVIA DE LA MUESTRA	PROCEDIMIENTO
<b>Materia Orgánica</b>	Muestra a analizar Estufa Bolsas ziploc 4 vasos de precipitación de 250 ml Desecador Mufla 4 crisoles Balanza Espátula Pinzas Cronómetro	La muestra se toma de varios puntos.  Con el método del cuarteo se deja en 1 Kg.  Se saca en estufa de aire forzado a 70°C hasta peso constante  Se muele, etiqueta y guarda. (Al menos se guarda 200 g).  Para realizar los análisis:  Se colocan las muestras en vasos de precipitación y previamente etiquetadas se secan en estufa a 105°C por 24 horas.  Se pasan al desecador hasta que se enfríen por un tiempo aproximado de media hora. Se realizan los análisis.	Tarar el crisol ( 105 grados centígrados por 2 h)  Pasar al desecador por 30 minutos, enumera el crisol en la base y pesar el crisol vacío, anotar el peso  Añadir 3 g de muestra y anotar el peso.  Colocar en la mufla por 24 horas a 430 °C. En caso de no disponer de esta estufa se utiliza la normal.  Colocar en el desecador por 30 minutos  Pesar el crisol con la muestra calcinada
<b>CÁLCULO</b>	$\% \text{ MO} = \frac{(\text{peso crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso crisol} + \text{muestra calcinada})}{(\text{Peso crisol} + \text{muestra seca}) - (\text{peso del crisol vacío})} \times 100$		

Fuente: (SADZAWKA, 2007 págs. 28-29)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 8-3:** Tabla de técnicas de análisis foliar

<b>PARÁMETRO ANALIZADO</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>UNIDAD</b>
<b>Cenizas</b>	Gravimétrico	%
<b>Materia Orgánica</b>	Gravimétrico	%
<b>Carbono</b>	Relación matemática	%
<b>Nitrógeno</b>	Dumas	%
<b>Fósforo</b>	Colorimétrico	%
<b>Potasio</b>	Absorción atómica	%
<b>Calcio</b>	Absorción atómica	%
<b>Magnesio</b>	Absorción atómica	%
<b>Hierro</b>	Absorción atómica	ppm
<b>Manganeso</b>	Absorción atómica	ppm
<b>Cobre</b>	Absorción atómica	ppm
<b>Zinc</b>	Absorción atómica	ppm

Fuente: (AGROCALIDAD, 2016)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### **Instrumentos y materiales**

Para poder realizar este reactor de compost, existieron varios procedimientos que requirieron de instrumentos y materiales imprescindibles en el paso a paso del mismo, los que se especifican en las siguientes tablas:

### **Recolección de los residuos sólidos**

**Tabla 9-3:** Elementos usados para la recolección de los RS

<b>TRABAJO</b>	<b>INSTRUMENTOS, MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>
	Instrumentos	Balanza báscula reloj	1 unidad
		Calculadora científica	1 unidad
		Ordenador	1 unidad

Recolección de Residuos Sólidos Orgánicos y restos de Poda	Materiales	Guantes de caucho	4 pares
		Cuaderno de apuntes	1 unidad
		Mandiles	2 unidades
		Mascarilla desechable rectangular	4 unidades
		Baldes plásticos	4 unidades
		Sacos	Varios
		Fundas plásticas industriales	Varios
	Maquinaria	Vehículo	1 unidad

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### Preparación del compost a colocar en el reactor

**Tabla 10-3:** Elementos usados para la elaboración del compost

TRABAJO	INSTRUMENTOS, MATERIALES, HERRAMIENTAS, MAQUINARIA Y EQUIPOS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
Elaboración de un reactor prototipo	Materiales	Tanque plástico de 200 L	1
		Tiras de madera	Varios
		Clavos	Varios
		Tornillos	Varios
		Tubo galvanizado 1½pulg.	1,50 m
		Tubería PVC de 2 pulg.	1,80 m
		Malla plástica de 1mm de luz	0,50 m
		Tablas de madera	Varias
		Bisagras	2
		Aldabas	2
		Silicona	1
		Tijeras	1
		Herramientas	Martillo
	Caladora eléctrica		1
	Taladro y broca		1
	Atornillador		1

		Lima	1
Reducción de tamaño para la materia prima	Materiales	Fundas Plásticas	Varios
		Mandiles	2
		Guantes de caucho	4
		Baldes Plásticos	3
		Recipiente plástico	2
		Mascarilla	2
		Gasolina	1 galón
	Herramientas	Cuchillos	2
		Tijeras	2
		Juego de atornilladores	1
Maquinaria	Trituradora de cuchillas	1	
Toma de muestras para análisis de laboratorio	Instrumentos	Balanza digital	1
		Calculadora científica	1
	Materiales	Papel aluminio	1
		Guantes de nitrilo	4
		Mandiles	2
		Fundas Ziploc	6
		Mascarilla desechable rectangular	2
	Herramientas	Espátula	1
		Pinzas	1
		Vasos de precipitación de 250 ml	4
		Cápsulas	4
		Desecador	1
	Equipos	Medidor de pH	1
		Secador de Bandejas	1
		Mufla	1
Homogenización de la materia prima experimental	Instrumentos	Balanza bascula reloj	1
		Calculadora científica	1
	Materiales	Protector plástico	2m
		Guantes de caucho	
	Herramientas	Pala cuadrada	1
	Instrumentos	Balanza digital	

Monitoreo de la transformación de la materia en el reactor		Medidor de pH	1	
		Medidor de humedad	1	
		Medidor de temperatura	1	
	Materiales		Vaso de precipitación de 100 ml	1
			Jeringuilla de 10 Ml	1
			Guantes de caucho	2
Herramientas		Espátula	1	
Recolección del producto final	Instrumentos	Balanza báscula reloj	1	
	Materiales	Guantes de caucho	2	
		Fundas Plásticas	2	
	Herramientas		Pala cuadrada	1

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.3 *Modelo experimental a escala*

Antes de realizar el reactor final, se hicieron pruebas en un modelo experimental, el mismo que mostraría cómo sería el funcionamiento del reactor, en el cual se trabajó y se evaluó todos los parámetros posibles además de las variables que eran imprescindibles antes de hacer un diseño final, el mismo que se explica a continuación:

#### 3.2.3.1 *Diseño del Modelo experimental a escala*

Para poder realizar el modelo experimental a escala se utilizaron los siguientes materiales:

**Tabla 11-3:** Materiales y herramientas para modelo experimental

No	MATERIALES	HERRAMIENTAS
1	1 Tanque plástico de 200 L	Martillo
Varias	Varias tiras de madera	Caladora eléctrica
Varios	Clavos	Taladro y broca
Varios	Tornillos	Atornillador
1	Tubo galvanizado 1 1/2 pulg.	Lima
2	Tubería PVC de 2 pulg.	

1	Malla plástica de 1mm de luz	
Varias	Tablas de madera	
2	Bisagras	
2	Aldabas	
1	Silicona	
1	Tijeras	

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

Procedimiento para el ensamblado:

- a) Se realizó un corte en el tanque plástico de manera que este sea la tapa de medidas 30x45 en el centro del tanque por donde se introdujeron los RSO, este procedimiento se facilitó usando una caladora eléctrica.
- b) Se fijó la tapa con tiras de madera donde se incluyeron dos bisagras sujetas con tornillos lo que permitió la fácil apertura del tanque, y se puso 2 aldabas o seguros para que esta tapa se cierre y quede segura.
- c) Se realizó varios agujeros pequeños en la parte baja del tanque para que se evacuen los lixiviados que se producen.
- d) Se tomó la tubería PVC y midió para que tenga el mismo largo del tanque, además se cortó 2 tubos, en los mismos con el taladro y una broca se hizo orificios cada 10 cm de distancia, por los cuales entra el aire suministrado con un soplador o secador cada cierto tiempo.
- e) Los tanques de 200 L por lo general contaron con 2 orificios laterales, por donde se insertaron los tubos PVC y se fijaron con silicona a la pared interna del tanque.
- f) En las 2 caras laterales del tanque se procedió a hacer orificios en el centro de cada lado por donde cruzó el eje, el cual fue un tubo galvanizado de 1 1/2 pulg, que sobrepasó la medida del largo del tanque ya que, este permitió que gire el mismo.
- g) De la misma manera en las 2 caras laterales del tanque se realizaron varios orificios de 6 cm de diámetro que faciliten la entrada de aire externo, los cuales estuvieron cubiertos de malla plástica de 1mm de luz, esto evitó la entrada de insectos.

- h) Una vez ya hecho el tanque se procedí a realizar una mesa de madera normal donde el tanque se posó para girar, para permitir esta acción se pusieron 2 piezas de madera en cada lado de la mesa, donde el tubo galvanizado encajó y a su vez quedó fijo para girar.
- i) Se encajó el tanque en la mesa, se verificó que este gire fácilmente y ya esté listo para colocar RSO dentro del mismo, las cantidades deseadas. Cabe recalcar que cuando se introdujo el material a compostar se insertó dentro de la materia un sensor de temperatura y humedad donde es visible y fácil medir dichos parámetros (por lo general en el centro de toda la pila dentro del tambor).

### 3.2.3.2 *Datos experimentales*

**Tabla 12:** Datos experimentales iniciales

Peso húmedo poda	1000 g
Peso seco poda	665 g
Peso húmedo R.S.O	1000 g
Peso seco césped R.S.O	172 g
(Peso crisol + Muestra seca) poda	97,3564 g
(Peso crisol + Muestra calcinada) poda	94,7576 g
(Peso crisol + Muestra seca) R.S.O	96,2579 g
(Peso crisol + Muestra calcinada) R.S.O	93,5755 g

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

## **Humedad**

$$\%HUMEDAD = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}} \times 100$$

### ***Humedad del césped:***

$$\%HUMEDAD(\text{césped}) = 33,5\%$$

***Humedad de los Residuos Vegetales:***

$$\%HUMEDAD(Res.Veg) = 82,8\%$$

**Materia Orgánica**

$$\%MO = \frac{(Peso\ Crisol + Muestra\ seca) - (Peso\ Crisol + Muestra\ Calcinada)}{(Peso\ Crisol + Muestra\ seca) - (Peso\ Crisol\ Vacio)} \times 100$$

***Materia Orgánica del césped:***

Muestra 1:

$$\%MO(Césped\ 1) = 86,63\%$$

Muestra 2:

$$\%MO(Césped\ 2) = 86,74\%$$

***Materia Orgánica de los Residuos Vegetales***

Muestra 1:

$$\%MO(Res.Veg1) = 89,41\%$$

Muestra 2:

$$\%MO(Res.Veg2) = 90\%$$

**Calculo del porcentaje de Carbono (%C)**

$$(\%C) = \frac{Materia\ Orgánica}{1,84}$$

- Calculo del %C de la poda

$$(\%C)_{\text{poda}} = 47,38\%$$

- Calculo del %C de los RSO

$$(\%C)_{\text{RSP}} = 49,3\%$$

**Tabla 13-3:** Resultados de los análisis de los residuos a compostar.

PARÁMETRO ANALIZADO	RESULTADOS DE MUESTRAS		MÉTODO	UNIDAD
	PODA	RSOV		
<b>Humedad</b>	33,5	82,8	Gravimétrico	%
<b>Cenizas</b>	12,83	9,29	Gravimétrico	%
<b>Materia Orgánica Laboratorio</b>	86,68	89,70	Gravimétrico	%
<b>Materia Orgánica Agrocalidad</b>	87,18	90,71	Gravimétrico	%
<b>Carbono</b>	47,38	49,3	Relación matemática	%
<b>Nitrógeno</b>	1,42	1,55	Dumas	%
<b>Fósforo</b>	0,21	0,17	Colorimétrico	%
<b>Potasio</b>	1,35	2,22	Absorción atómica	%
<b>Calcio</b>	1,31	0,78	Absorción atómica	%
<b>Magnesio</b>	0,42	0,26	Absorción atómica	%
<b>Hierro</b>	609,57	364,74	Absorción atómica	Ppm
<b>Manganeso</b>	25,89	17,84	Absorción atómica	Ppm
<b>Cobre</b>	11,20	4,40	Absorción atómica	Ppm
<b>Zinc</b>	29,99	25,14	Absorción atómica	Ppm

Fuente: (AGROCALIDAD, 2016)

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

## Datos para la determinación Carbono- Nitrógeno

### Calcular C / N ratio para tres materiales

Este cálculo resuelve para la relación de carbono a nitrógeno de hasta tres materiales. Ingrese la masa de cada material (peso húmedo), porcentaje de carbono, porcentaje de nitrógeno, y el porcentaje de humedad, a continuación, haga clic en el botón de calcular. Si usted tiene menos de tres materiales, asegúrese de introducir ceros en los campos de los materiales que faltan.

Nota - Utilice números enteros

Ingrediente	H2O%	Peso	% de carbono	% de nitrógeno	C / N
PODA	33.5	1	47.38	1.42	
RSO	82.8	4	49.3	1.55	
nnn	0	0	0	0	
				<b>Resultado:</b>	32.538966529069

**Gráfico 1-3:** Determinación de la relación carbono- nitrógeno.

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

## Datos de residuos usados experimentalmente

**Tabla 14-3:** Datos experimentales de los residuos usados en el proceso de compost

N°	NOMBRE DEL RESIDUO	PESO (Kg)	ESTADO
1	RSO	54,43	Fresco
2	Poda	13,61	Seco

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.3.3 Resultados del modelo experimental

**Tabla 15-3:** Temperaturas registradas en el proceso de compostaje

Nº	DIAS	T 1	T 2	T 3	TEMP. DEFINITIVA (°C)	p.H	CONDUC. (dS/m)	HUMED. (%)
1	15/12/2016	30,7	30,2	31,6	30,8	4,3	3,2	57
2	16/12/2016	36,5	39,2	42	39,2			89
3	17/12/2016	42,3	42	40	41,4			
4	19/12/2016	42,5	43	41	42,2			
5	20/12/2016	40,5	43,8	41	41,3	8,3	3,1	
6	21/12/2016	40,4	40	42	40,8			54
7	22/12/2016	45	42,3	41,5	42,9			
8	23/12/2016	53,8	52,4	52	52,7	8,4	3,0	65
9	24/12/2016	50	49	54	51,0			63
10	25/12/2016	47	44	46	45,7			
11	26/12/2016	40	34	40	38,0			60
12	27/12/2016	38	32	40,1	36,7	8,4	3,6	
13	28/12/2016	45	47	43	45,0			
14	29/12/2016	46	43,5	44,9	44,8			65
15	30/12/2016	43,8	41,3	40,8	42,0			
16	31/12/2016	40,9	39	42,6	40,8	8,3	3,2	
17	01/01/2017	38,1	34,8	35,7	36,2			70
18	02/01/2017	36,7	35,2	36,9	32,0			
19	03/01/2017	34,7	30,1	31,6	31,8			
20	04/01/2017	37,2	34,9	33,9	33,3	8,5	3,1	60
21	05/01/2017	30,5	34,2	31,6	32,1			
22	06/01/2017	37,5	33,6	32,1	34,4			
23	07/01/2017	32,3	30,7	31,2	31,4			
24	08/01/2017	29,7	31	32,2	31,0	8,6	3,2	
25	09/01/2017	33	31,5	34,7	33,1			57
26	10/01/2017	29,5	30,4	31,2	30,4			
27	11/01/2017	27,5	28,7	19,1	25,1	8.5	3,2	
28	12/01/2017	24,1	27,7	25,3	25,7			60
29	13/01/2017	23,9	25,2	22,8	24,0			
30	14/01/2017	26,8	27,8	24,8	26,5	8,6	3,3	55

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.3.4 Propuesta de Diseño

Se realiza de acuerdo a los datos obtenidos en el diseño experimental y a información recopilada de investigaciones de compostaje realizadas previamente en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por (Jiménez, 2015); (Valencia, 2016). Con dichos fundamentos, la propuesta de diseño del Reactor batch prototipo para la elaboración de compost estimada por los autores deberá contar con los siguientes requerimientos:

**Tabla 16-3:** Propuesta de diseño para la construcción del Reactor

<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b>	<b>DISPOSICIÓN</b>	<b>VARIABLES A VERIFICAR</b>	<b>EFECTOS TENTATIVOS</b>
Realizar el diseño y construcción de un reactor batch prototipo para la obtención de compost con residuos orgánicos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.	Se llena el reactor aproximadamente con una cantidad de 150 libras de RSO. Agitación y homogenización mecánica mediante un tambor rotario conectado con poleas a un motor. Aireación impulsada por medio de un ventilador. Recolección de lixiviados en una mesa tipo bandeja.	Volteo de la mezcla, Temperatura, Humedad, pH, Cantidad de oxígeno requerido.	Ejecución del volteo durante todo el proceso para una adecuada aireación y homogenización. Toma de temperatura periódica en varios puntos del reactor. Control de la humedad mediante la eliminación de lixiviados y el uso del ventilador como fuente de oxígeno. Mediciones semanales de pH.

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.3.5 Variables de Diseño

En la presente investigación se tomaron en cuenta las siguientes variables, que son indispensables en el proceso de compostaje:

**Tabla 17-3:** Variables de diseño relevantes para la producción de compost

VARIABLE	UNIDAD	CANTIDAD	
		MÍNIMA	MÁXIMA
Medida de RSO	Kg	70	80
Temperatura	°C	30	70
pH	Adimensional	4	8.5
Conductividad	mS/cm	3	5.5
Humedad	% = kg H <sub>2</sub> O/kg SS	40	60

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.4 Cálculos en la sección de Aireación

Datos:

**Tabla 18-3:** Detalles estimados para los cálculos

Peso de residuos a compostar	70 Kg
Humedad inicial del material	89 %
Humedad esperada	60 %
Temperatura del aire que entra al reactor $T_e$	13 °C
Humedad relativa del aire de ingreso	77 %
Densidad del aire de ingreso	1,23 kg/m <sup>3</sup>
Temperatura del aire que sale del reactor $T_s$	60 °C
Humedad relativa del aire de salida	99 %
Presión atmosférica global	0,96 atm

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

#### 3.2.4.1 Cálculo del sustrato diario tratado.

$$C_s = \left( \frac{\text{Peso de residuos a compostar}}{\text{tiempo de retención}} \right)$$

Ecuación 1

$$C_s = \left( \frac{70 \text{ kg}}{30 \text{ días}} \right) = 2,33 \text{ kg/día}$$

Con el objetivo de eliminar el exceso de humedad de la mezcla a compostar se tiene en cuenta que se tratará diariamente 2,33 kg.

### 3.2.4.2 Cálculo de la cantidad de agua a eliminar en la mezcla compostada

El segundo objetivo de la aireación es eliminar el exceso de humedad existente en el para para evitar que el proceso de compostaje se vuelva anaerobio.

- Primero se determina la cantidad de agua a remover.
- Deben conocerse la temperatura de entrada y la temperatura salida del aire de la pila de compostaje.
- 

Generalmente se considera que la humedad puede estar en un rango de 40 a 80 %, por ser materiales heterogéneos de composición variable. Para determinar la humedad que se requiere remover en residuos con humedad superior al 60 % se emplea la siguiente ecuación (Graves, 2000 pág. 621).

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

Ecuación 2

Donde:

$m_{Arem}$  = masa de agua a remover, kg

$H_1$  = Humedad del material

$H_2$  = Humedad esperada

$m_{h1}$  = masa del sustrato diario, kg

$$m_{Arem} = \frac{2,33(89 - 60)}{100 - 60}$$

$$m_{Arem} = 1,69 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$m_{Arem} = 3,72 \text{ lb H}_2\text{O}$$

La cantidad de humedad que se deberá eliminar es de 1,69 kg.

### 3.2.4.3 Cálculo del volumen de aire para eliminar la cantidad de agua requerida

La determinación de la cantidad de aire a suministrarse para remover el exceso de humedad en el sustrato, se puede estimar considerando los factores ambientales y la cantidad necesaria de agua a remover para alcanzar el contenido de humedad deseado. Para determinar la aireación necesaria para remover el exceso de humedad en la mezcla, se usan las siguientes ecuaciones (Graves, 2000 pág. 621).

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

Ecuación 3

Donde:

PVS = presión de vapor saturado del agua (mm Hg)

a = -2238 constante para vapor de agua

b = 8,896 constante para vapor de agua

T<sub>a</sub> = temperatura

Presión de aire en la entrada:

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

$$PVSe = 11,88 \text{ mm Hg}$$

Presión de aire en la salida:

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

$$PVSS = 150,77 \text{ mm Hg}$$

La presión de vapor de agua se puede determinar por:

$$PV = (HR)PVS$$

Donde:

PV = presión del vapor de agua

HR = humedad relativa del medio

Cálculo de la presión de vapor de agua en el suministro de aire:

$$PVe = (0,77)11,88 \text{ mm Hg}$$

$$PVe = 9,15 \text{ mm Hg}$$

Cálculo de la presión de vapor de agua en el aire de salida:

$$PVs = (0,99)150,77 \text{ mm Hg}$$

$$PVs = 149,26 \text{ mm Hg}$$

Para este proyecto de investigación se toma en cuenta, por varios autores como (Haug, 1993 pág. 171) que la temperatura promedio del aire de entrada es de 13 °C y del aire de salida es de 60 °C y además de una humedad relativa media del aire a la entrada de 77 %.

Empleando las resoluciones de las ecuaciones anteriores, se puede obtener humedades específicas del suministro de aire como en la salida, usando la siguiente ecuación (Graves, 2000 pág. 621):

$$W = 0,622 \left( \frac{Pv}{Pt - Pv} \right)$$

Donde:

W = humedad específica (lb H<sub>2</sub>O/lb aire seco)

Pv = presión de vapor de agua, mm Hg

Pt = presión atmosférica total, mm Hg

Cálculo de la humedad específica del aire suministrado:

$$W = 0,622 \left( \frac{9,15}{544,58 - 9,15} \right)$$

$$We = 0,01 \left( \frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb aire seco}} \right)$$

Cálculo de la humedad específica del aire de salida:

$$W = 0,622 \left( \frac{149,26}{544,58 - 149,26} \right)$$

$$Ws = 0,23 \left( \frac{\text{lb H}_2\text{O}}{\text{lb aire seco}} \right)$$

La eliminación completa del vapor de agua es la diferencia entre la humedad específica del aire en el suministro menos la humedad específica del aire en la salida. La cantidad de aire necesaria para remover el agua, se calcula mediante (Graves, 2000 pág. 621):

$$m_{\text{aire}} = \frac{\text{masa de H}_2\text{O para eliminar}}{Ws - We}$$

Ecuación 6

$$m_{\text{aire}} = \frac{3,72 \text{ lb}}{0,23 - 0,01}$$

$$m_{\text{aire}} = 16,91 \text{ lb aire seco}$$

$$m_{\text{aire}} = 7,67 \text{ kg aire seco}$$

#### 3.2.4.4 Cálculo del volumen de aire necesario para eliminar el agua no deseada.

Para la apreciación del flujo de aire demandado para la remoción del exceso de humedad, se usa la siguiente ecuación (Graves, 2000 pág. 621):

$$Q = \frac{V}{t} = \frac{\text{masa de aire}}{\text{densidad de aire} \cdot t}$$

Ecuación 7

Donde:

$Q$  = caudal de aire,  $m^3/h$

$\delta$  = densidad del aire  $kg/m^3$

$m_{aire}$  = masa de aire (kg)

$t$  = tiempo

Se determina la densidad a  $13^\circ C$  empleando la tabla de propiedades del aire mediante interpolación.

$$\frac{(13 - 10)}{(x - 1,246)} = \frac{(15 - 10)}{(1,225 - 1,246)}$$

$$x = 1,2334$$

Cálculo del volumen de aire necesario para la eliminación de humedad:

$$Q = \frac{7,67}{1,2334 \text{ día}}$$

$$Q = 0,26 \text{ m}^3/h$$

$$Q = 6,22 \text{ m}^3/día$$

Para que el sustrato cuente con una humedad deseada de 60% se considera una demanda de aireación de  $6,22 \text{ m}^3/día$  para el compuesto de materiales.

#### 3.2.4.5 Elección del ventilador

Según la demanda de aireación, se elige un ventilador de 1/5 Hp, con un diámetro de salida del fluido de 2 pulgadas. El aparato que nos ofrece el proveedor, tiene las siguientes especificaciones:

**Tabla 19-3:** Características del ventilador elegido

DATOS PROVISTOS POR EL FABRICANTE	
PRODUCTOR	BP
POTENCIA	150 W 1/5 Hp
VOLTAJE	110V
AMPERAJE	1 Amps
FRECUENCIA	60 Hz
R.P.M.	3600
MEDIDAS	245*200*250 mm
DIÁMETRO DEL CONDUCTO	2" / 0,05

Fuente: BP Tools Inc.

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.4.6 Especificación de las características del ventilador

Mediante un termo anemómetro, se determinó la velocidad de la salida del aire del ventilador.

**Tabla 20-3:** Dato obtenido del ventilador

ANTECEDENTE PRODUCIDO POR EL TERMO ANEMÓMETRO	
Velocidad	26 m/s

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

Corriente del ventilador:

$$Q = V * A$$

Donde:

Q = caudal en m<sup>3</sup>/h

V = velocidad del aire en m/s

A = área de la sección del conducto en m<sup>2</sup>

Cálculo del área de la sección transversal en el soplador:

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

$$A = \pi \left( \frac{0,0508^2}{4} \right)$$

$$A = 2,03 * 10^{-3} m$$

$$Q = 26 \frac{m}{s} * 2,03 * 10^{-3} m$$

$$Q = 0,05278 \frac{m^3}{s} = 190 m^3/h$$

$$Q = 111,8 CFM$$

### 3.2.4.7 Determinación del tiempo de acción del ventilador

El soplador habrá de mantenerse encendido en lapsos de 5 min al día, con el objetivo de reducir la humedad del sustrato y dejarla en un valor del 60 % calculado como valor óptimo. La cantidad de aire necesaria para proveer de oxígeno al proceso se establece para una pila de 70 kg.

### 3.2.4.8 Cálculos del conjunto de tuberías

Esquema del sistema de tuberías



**Ilustración 3-3:** Esquema del sistema de tuberías dentro del reactor

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

$$hL1 = hL2$$

$$QT = Q1 + Q2$$

**Datos:**

**Tabla 21-3:** Especificaciones de la tubería

RÉGIMEN DE TUBERÍAS	
Material	PVC 1 ½"
Tipo	Cedula 80
Diámetro interno	0,03810 m
Longitud	0,90 m

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

3.2.4.9 Cálculo del flujo volumétrico y del área de sección transversal de las ramas 1 y 2

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

$$A = \pi \left( \frac{0,03810^2}{4} \right)$$

$$A = 1,14 \times 10^{-3} m^2$$

$$Q = A * V$$

$$Q = 26 * 1,14 \times 10^{-3}$$

$$Q = 0,02964 \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 106,71 \frac{m^3}{h}$$

**Tabla 22-3:** Detalles necesarios para calcular el caudal de aire transportado por las tuberías

FUNDAMENTOS ADICIONALES		ORIGEN
Coefficiente de rugosidad absoluta (e)	$1,5 \times 10^{-6} m$	Valores típicos de coeficientes de rugosidad
Densidad del aire a 13°C (ρ)	$1,2334 \frac{kg}{m^3}$	Propiedades del aire a 1atm
Viscosidad cinemática del aire a 13°C (ν)	$1,452 \times 10^{-5} m^2/s$	Propiedades del aire a 1atm

Accesorio	Constante L/D	ORIGEN
Codo 90 de radio corto	32	Coeficientes L/D en pérdidas singulares
T	67	

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.4.10 Cálculo de pérdidas por fricción en el sistema de tuberías:

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

Ecuación 8

Donde:

$h_f$  = carga debida a la fricción (m)

$f$  = factor de fricción de Darcy

$L$  = longitud de la tubería (m)

$D$  = diámetro de la tubería (m)

$V$  = velocidad media del fluido (m/s)

$g$  = como gravedad (9,8m/s<sup>2</sup>)

Cálculo de pérdidas por accesorios:

$$h_{acc} = \frac{kV^2}{2g} = \frac{kQ^2}{2g * A^2}$$

Ecuación 9

Donde:

$K$  = constante para los accesorios

$V$  = velocidad del fluido (m/s)

$g$  = gravedad (9,8m/s<sup>2</sup>)

Para el Accesorio Codo de 90°:

$$h_{cd} = \frac{32fTQ^2}{2g * A^2}$$

Para el Accesorio T:

$$h_T = \frac{67fTQ^2}{2g * A^2}$$

Para pérdidas totales:

$$h_L = h_{cd} + h_T$$

$$h_L = hf + h_{cd} + h_T$$

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

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

Para la tubería de la rama 1:

$$h_{L1} = \frac{Q^2}{2g * A^2} \left\{ \left( f_1 \frac{L_1}{D_1} \right) + (99fT) \right\}$$

Para la tubería de la rama 2:

$$h_{L2} = \frac{Q^2}{2g * A^2} \left\{ \left( f_2 \frac{L_2}{D_2} \right) + (99fT) \right\}$$

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

$$\frac{Q^2}{2g * A^2} \left\{ \left( f_1 \frac{L_1}{D_1} \right) + (99fT) \right\} = \frac{Q^2}{2g * A^2} \left\{ \left( f_2 \frac{L_2}{D_2} \right) + (99fT) \right\}$$

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

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

$$QT = Q1 + Q2$$

$$Q2 = QT - Q1$$

Reemplazando

$$Q1 = \left\{ \frac{\left( f2 \frac{L2}{D2} \right) + (99fT)}{\left( f1 \frac{L1}{D1} \right) + (99fT)} \right\} \left\{ \frac{A1(QT - Q1)}{A2} \right\}$$

$$B = \left\{ \frac{\left( f2 \frac{L2}{D2} \right) + (99fT)}{\left( f1 \frac{L1}{D1} \right) + (99fT)} \right\} \left\{ \frac{A1}{A2} \right\}$$

$$Q1 = B(QT - Q1)$$

$$Q1 = \frac{BQ}{B + 1}$$

$$QT = 0,02964 \text{ m}^3/\text{s}$$

B=1 ya que ambas ramas son iguales

#### 3.2.4.11 Cálculo del flujo volumétrico en cada sección

$$Q1 = \frac{(1)QT}{2} = \frac{0,02964}{2}$$

$$Q1 = Q2$$

$$Q1; Q2 = 0,01482 \text{ m}^3/\text{s}$$

#### 3.2.4.12 Cálculo de la velocidad de salida en cada sección

$$V1 = V2 = \frac{Q}{A} = \frac{0,01482}{1,14 \times 10^{-3}}$$

$$V1 = 13 \text{ m/s}$$

La velocidad teórica ha sido determinada mediante el uso del termo anemómetro reflejando un valor de 26 m/s lo que tentativamente y mediante cálculos se comprobó que producirá una

velocidad de 13 m/s en cada sección del sistema de tuberías ya que ambas ramas son exactamente iguales.

### 3.2.4.13 Dimensionamiento de la distancia y el diámetro de los orificios presentes en las tuberías

Para determinar las dimensiones y el espacio entre cada orificio situado a través de la sección de tuberías se recurrió al uso del ANSYS Student Software, programa destinado para la interpretación y aplicación en problemas ingenieriles especialmente de dinámica de fluidos, el mismo que reflejo los siguientes resultados.

**Tabla 23-3:** Localización y dimensionamiento de los orificios en la sección de las tuberías.

<b>DISPOSICIÓN DE LAS PERFORACIONES</b>	
Longitud de cada sección de tuberías (m)	0,90
Longitud entre orificios (m)	0,1 largo x 0,04 ancho
Orificios por sección	9
Secciones	4
N° ORIFICIOS	Diámetro (m)
1 al 8	0,006
9	0,01

Fuente: **ANSYS**  
**Realizado por:** CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.5 Cálculos cinemáticos en el sistema de rotación

#### 3.2.5.1 Elección del Motor

Según la demanda de potencia, se elige un motor de 2 Hp, con un producto de revoluciones de salida de 1780 pulgadas. El aparato que nos ofrece el proveedor, tiene las siguientes especificaciones:

**Tabla 24-3:** Características del motor elegido

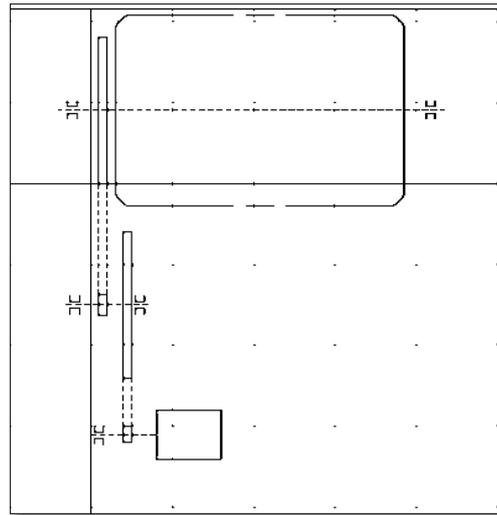
<b>DATOS PROVISTOS POR EL FABRICANTE</b>	
PRODUCTOR	WEG

POTENCIA	1.50 KW 2 Hp
VOLTAJE	110V
AMPERAJE	27.60/13.80 Amps
FRECUENCIA	60 Hz
R.P.M.	1750

Fuente: WEG Tools Inc.

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.2.5.2 Cálculos del esquema cinemático



**Ilustración 4-3:** Esquema de poleas conectadas con el motor del tanque

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

Datos

$$n_1 = 1750 \text{ RPM}$$

$$d_1 = 2 \text{ ''}$$

$$n_2 = ?$$

$$d_2 = 18 \text{ ''}$$

$$n_2 = n_3$$

$$d_2 = 2,5 \text{ ''}$$

$$n_4 = 18 \text{ ''}$$

$$n_1 d_1 = n_2 d_2$$

Donde:

$n$  = velocidad cinemática

$d$  = diámetros de las poleas

$$n_2 = \frac{n_1 d_1}{d_2}$$

$$n_2 = \frac{1750 * 2}{18}$$

$$n_2 = 194,44 \text{ RPM}$$

$$n_3 d_3 = n_4 d_4$$

$$n_4 = \frac{n_3 d_3}{d_4}$$

$$n_4 = \frac{194,44 * 2,5}{18}$$

$$n_4 = 27 \text{ RPM}$$

Se determina que las revoluciones con las cuales gira el tanque son 27 RPM, este resultado ha sido calculado en base a un sistema de poleas más conocido como esquema cinemático que redujo una velocidad inicial de 1750 a una velocidad de 27 RPM.

### 3.2.5.3 Cálculo de la relación de transmisión $i$

$$i = \frac{n_1}{n_4}$$

$$i = 64,81$$

$$i_1 = \frac{n_1}{n_2}$$

$$i_1 = 9,02$$

$$i_2 = \frac{n_3}{n_4}$$

$$i_2 = 7,2$$

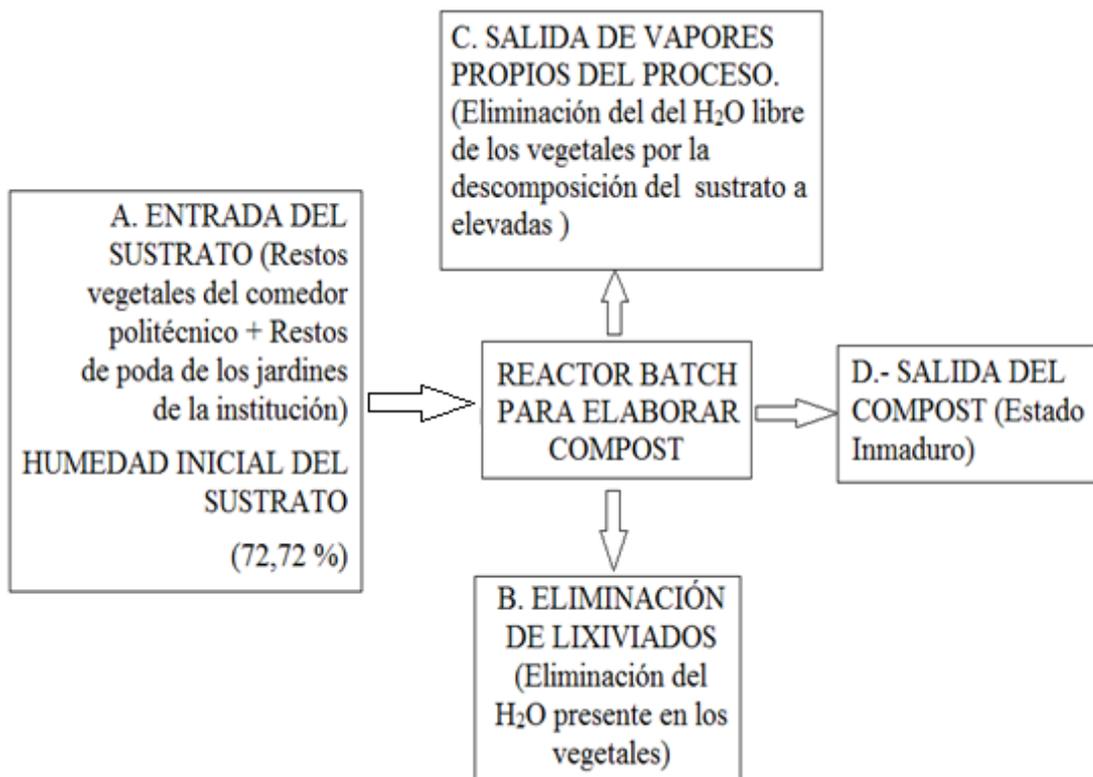
$$i_t = i_1 * i_2$$

$$i_t = 64,8$$

$$n_4 = \frac{n_1}{i_t}$$

$$n_4 = 27 \text{ RPM}$$

### 3.2.6 Cálculo del balance de masa en el reactor



**Gráfico 2-3:** Diagrama de balance general de masa e sistemas de compostaje  
Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

#### BALANCE GENERAL

$$A - B - C = D$$

$$68 - 14,676 - 1,3 = 52 \text{ kg}$$

## BALANCE PARA H<sub>2</sub>O

*Si de 68 kg el 72,72 % es Agua entonces*

$$68 \text{ kg} \quad 100 \%$$

$$x = ? \quad 72,72 \%$$

$$x = 49,455 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$MO = 68 - 49,455$$

$$MO = 18,545 \text{ kg materia s\u00f3lida}$$

$$x - B - C = y$$

$$49,455 \text{ kg} - 14,676 \text{ kg} - 1,3 \text{ kg} = 33,479 \text{ kg H}_2\text{O}$$

$$\text{peso del H}_2\text{O en el producto final} = 33,479 \text{ kg}$$

*peso del producto final = peso de la humedad + peso de la materia s\u00f3lida*

$$\text{peso del producto final} = 33,479 + 18,545$$

$$\text{peso del producto final} = 52 \text{ kg}$$

$$\% \text{ humedad producto final} = 64 \%$$

### 3.2.7 C\u00e1lculo del rendimiento

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Material Obtenido}}{\text{Material de partida}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{52 \text{ kg}}{68 \text{ kg}} \times 100$$

$$\text{Rendimiento} = 76,47\%$$

### 3.3 Proceso de producción

**Tabla 25-3:** Proceso productivo de compost

No	PROCESO	DETALLE	SECCIÓN	RESPONSABLES
1.	Recolección de residuos orgánicos de origen vegetal.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se recoge una cantidad de 70 kg del material residual alimentario proveniente del comedor politécnico durante 5 días.</li> <li>Se recoge una cantidad de 30 kg del material proveniente de la poda de los espacios verdes de la institución.</li> </ul> <p>(Ambas recolecciones se las realiza con bolsas y sacos plásticos)</p>	 	CORNEJO CRISTIAN, MACHADO MARÍA JOSÉ
2.	Trituración de los materiales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mediante una trituradora mecánica se desintegra ambos materiales hasta obtener residuos con un diámetro de partícula de 1 a 1,5 cm.</li> </ul>		CORNEJO CRISTIAN, MACHADO MARÍA JOSÉ
3.	Mezcla de los materiales e introducción del material en el reactor.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se esparce ambos materiales (54,5 kg RSCP + 13,6 RP) en un plástico colocado sobre una superficie amplia que permita homogenizar los residuos mediante el uso de una pala, para después a través de la misma colocarlos en el interior del reactor.</li> </ul>	 	CORNEJO CRISTIAN, MACHADO MARÍA JOSÉ

4.	Volteo y aireación del material.	<ul style="list-style-type: none"> <li>A través de un volteo mecanizado por rotación en el reactor se da una homogenización completa del material, que en conjunto con un suministro de aire proveerá de una cantidad necesaria de oxígeno para arrancar el proceso de descomposición.</li> </ul>		CORNEJO CRISTIAN, MACHADO MARÍA JOSÉ							
5.	Control de las variables del proceso de compostaje.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mediante el uso de técnicas y equipos se determina en un periodo de 40 días:</li> </ul> <table border="1" data-bbox="531 952 909 1361"> <tr> <td data-bbox="531 952 742 1003">Temperatura</td> <td data-bbox="742 952 909 1003" rowspan="2">Mediciones diarias</td> </tr> <tr> <td data-bbox="531 1003 742 1055">Humedad</td> </tr> <tr> <td data-bbox="531 1055 742 1207">pH</td> <td data-bbox="742 1055 909 1207">Dos mediciones por semana</td> </tr> <tr> <td data-bbox="531 1207 742 1361">Conductividad</td> <td data-bbox="742 1207 909 1361">Una medición por semana</td> </tr> </table>	Temperatura	Mediciones diarias	Humedad	pH	Dos mediciones por semana	Conductividad	Una medición por semana		CORNEJO CRISTIAN, MACHADO MARÍA JOSÉ
Temperatura	Mediciones diarias										
Humedad											
pH	Dos mediciones por semana										
Conductividad	Una medición por semana										
6.	Desalojo del compost.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Después de un lapso de 40 días aproximadamente se retirará el compost y se lo extenderá en una superficie para su maduración y su caracterización.</li> </ul>		CORNEJO CRISTIAN, MACHADO MARÍA JOSÉ							

NOTA.- A lo largo del proceso de compostaje se eliminarán lixiviados propios del proceso.



CORNEJO  
CRISTIAN,  
MACHADO  
MARÍA JOSÉ

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.3.1 *Monitoreo de la transformación de la materia en el reactor de compostaje*

#### 3.3.1.1 *Tamaño de partícula*



**Ilustración 5-3:** Reducción del tamaño de partícula en la trituradora y material triturado

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

Los residuos recogidos son ubicados en el reactor como las frutas y vegetales, primero se trituran para llegar a obtener el tamaño de partícula adecuado antes de ser introducido, esto ayuda a que los organismos se desempeñen de mejor manera, el proceso sea más rápido y la transformación sea completa, lo cual es muy importante porque en otros procesos de compost se han comprobado que reducir el tamaño de partícula duplica la velocidad del proceso. Esto se lo realizó en la trituradora de cuchillas ubicada en el laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

### 3.3.1.2 Volteo mecánico



**Ilustración 6-3:** Volteo mecánico del reactor con poleas  
Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

El volteo se realiza para mezclar todos los materiales dentro del reactor, para que este sea homogenizado con el fin de que las bacterias propias del proceso lleguen a intervenir en todo el sustrato, por ello el compost es volteado cada semana, o por el contrario si la temperatura empieza a subir y a exceder al igual que si la temperatura disminuye por debajo de los límites permitidos y no sube también se voltea para que esto ayude a que el sistema se mantenga dentro de los parámetros necesarios. Experimentalmente se observa que a menor velocidad de rotación del reactor, el material inmerso se homogeniza de mejor manera, lo ideal es que se realicen de 25 a 30 revoluciones por minuto, para que el compost se mezcle y airee mejor. Por este motivo en el reactor final se redujo la velocidad del motor de 2HP que originalmente generaba 1760 revoluciones por minuto y mediante 2 poleas de 18, 2,5 y 2 pulgadas respectivamente y mediante los cálculos pertinentes se ha llegado a generar 27 revoluciones por minuto.

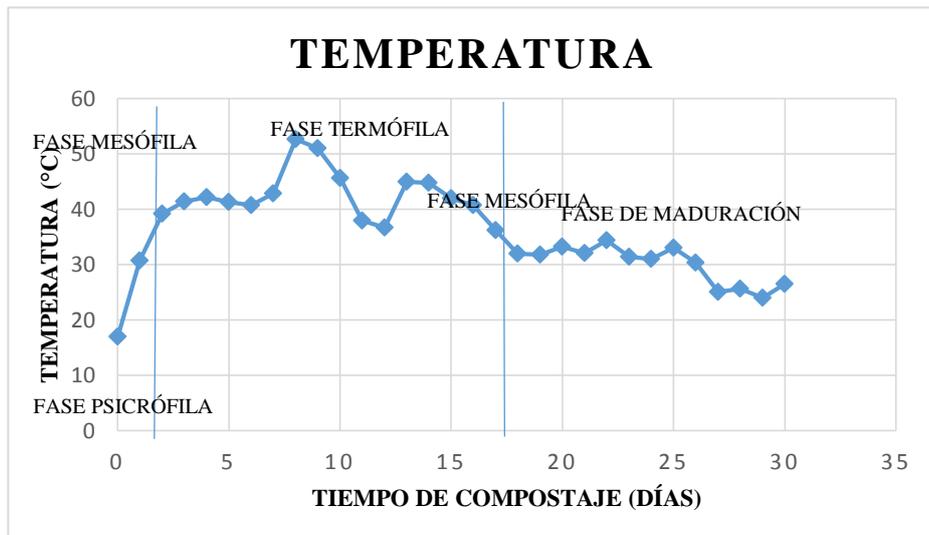
### 3.3.1.3 Aireación



**Ilustración 5-3:** Sistema de ventilación del reactor de compost.  
Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

El reactor cuenta con un ventilador con un ducto de salida de 2 pulgadas unido a una tubería interna de PVC, dicho tubo tiene agujeros a una determinada distancia, la misma que permite la aireación adecuada dentro del sistema, ya que es imprescindible el oxígeno en el proceso de compostaje para la supervivencia de los microorganismos que degradan el sustrato, por este motivo se debe airear por lo menos 5 minutos al día, además el reactor cuenta con agujeros laterales en una cara por donde entrará oxígeno constantemente y también se eliminará vapores propios del proceso, de igual manera cada vez que se usa el volteo mecánico se mantiene el ventilador encendido para que pueda entrar oxígeno al compost y resulta ser un beneficio para el reactor ya que se pueden usar ambos elementos simultáneamente.

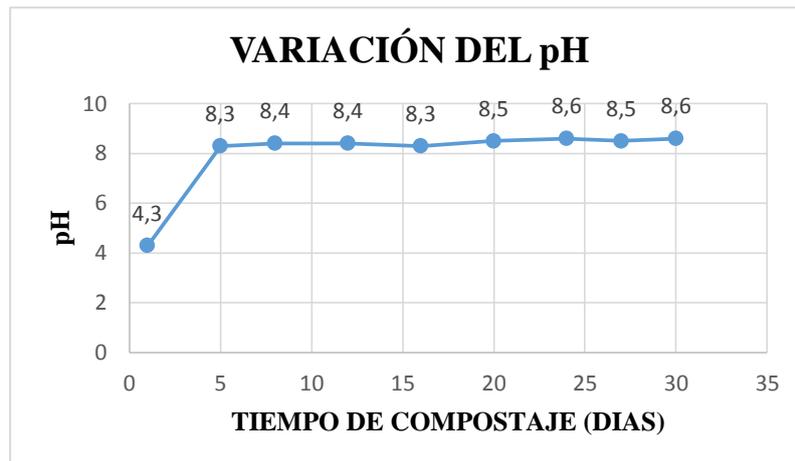
### 3.3.1.4 Temperatura



**Gráfico 3-3:** Temperaturas obtenidas del compost en el reactor  
**Realizado por:** CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

Una vez que se inicia el proceso, la temperatura es monitoreada diariamente con un sensor que se halla inmerso en la pila de compost, la primera temperatura corresponde al día 0 donde se mezcla todo el material antes de introducirlo en el reactor por lo tanto esta es la fase psicrofílica, en los 3 primeros días la temperatura empieza a ascender y promueve el apareamiento de los primeros microorganismos que promueven la fase mesófila, estos microorganismos van desapareciendo y con ello se da paso a los microorganismos termófilos que interactúan a las altas temperaturas, por lo que el sustrato se empieza a degradar gracias a ellos, después la temperatura empieza a descender esta es la fase de maduración, claramente cómo se puede observar en el gráfico del tiempo de obtención del compost.

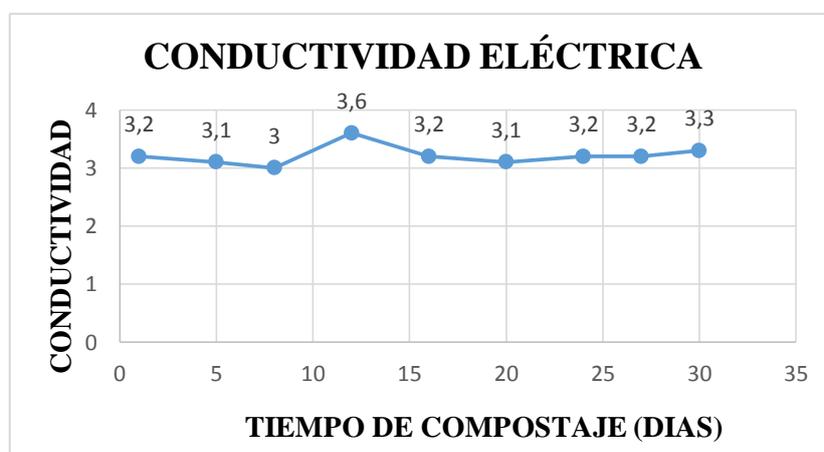
### 3.3.1.5 Potencial Hidrógeno (pH)



**Gráfico 4-3:** Variación del pH en el reactor  
Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

La variación que sufre el pH está relacionado con la actividad de los microorganismos y los nutrientes del medio, se puede observar en el gráfico que al principio el pH que se obtuvo fue de 4, esto fue a causa del grado de acidez de las frutas (piña, naranja, limón) que fueron incorporadas como materia prima de compost, pero a lo largo del proceso el pH fue incrementando, el sustrato llegó a alcanzar un pH superior a 8, y se conoce que los microorganismos responsables de la descomposición de los restos orgánicos no toleran valores alejados al pH 7. Si esto se produjese, el proceso de compostaje se detendría o se ralentizaría notablemente. Entonces por lo general el rango adecuado de pH a lo largo del proceso de compostaje debe estar en el intervalo de 4 a 9.

### 3.3.1.6 Conductividad eléctrica



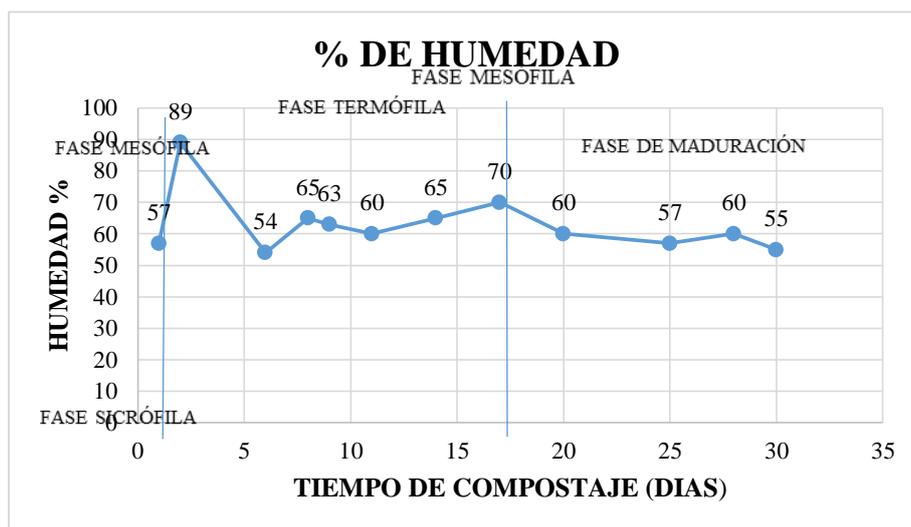
**Gráfico 5-3:** Variación de la conductividad en el reactor  
Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

De acuerdo a la ilustración anterior se nota que la conductividad eléctrica, no tuvo una variación evidente, esto se debe a la precipitación o eliminación de lixiviados en donde los elementos propios del sustrato sufren mineralización ya que este proceso es propio de una eliminación de humedad.

Los datos de conductividad monitoreados durante el proceso tienen como límites de 3 a 3.6 dS/m lo cual determina que hay poca concentración de iones potasio, sodio y además de asociados como sulfatos, nitratos, sales de amonio y cloruros.

Esta ventaja en el proceso de compostaje determina que el producto final sea favorable para su uso en la agricultura ya que las altas concentraciones de los elementos antes mencionados privan el desarrollo de las plantas.

### 3.3.1.7 Humedad



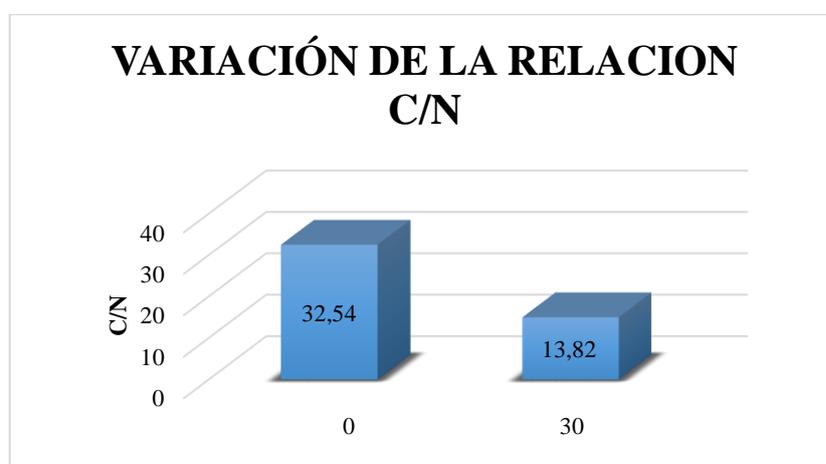
**Gráfico 6-3:** Variación de la humedad en el reactor  
 Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

La humedad se define como el contenido de agua que hay en el reactor con respecto a toda la materia que hay en su interior. Este valor es mucho más habitual expresarlo en porcentaje. Como se mencionó anteriormente la humedad no debe ser inferior al 40% por lo que los microorganismos necesitan una humedad adecuada para sobrevivir en el medio y este no debe ser muy seco, por otra parte sobrepasar el 60% producirá malos olores y no dejara que el oxígeno

llegue hacia el sustrato de manera adecuada. Antes de introducir los materiales dentro del reactor es fundamental recordar que los restos de poda y césped se encuentren en su mayoría secos, ya que los vegetales, verduras y frutas tendrán alto contenido de humedad, la mezcla proporcionada entre la parte seca y húmeda lograra formar la humedad adecuada dentro del reactor, esto se lo hace tomando un puño de la muestra y aplastando fuerte, y no debe caer más de unas pocas gotas al aplastar el mismo.

En la parte experimental se puede observar que en el segundo día el % de humedad ascendió rápidamente llegando a alcanzar un 89%, esto se ha producido porque el reactor es un medio aislado, y al calentarse el agua se empieza a evaporar y a condensar en la parte de la tapa, lo que consecuentemente hace que el agua condensada caiga de nuevo, por esta razón el sistema de aireación es una parte muy fundamental y esta debe encenderse todos los días para que se elimine el exceso de humedad. En la fase mesófila y termófila, ya que la materia dentro del reactor se encuentra caliente también se puede observar un alto grado de humedad. En las pilas comunes de compost a veces es necesario agregar agua, y por lo que se puede observar que en un reactor cerrado no hace falta, es más se produce un alto porcentaje de lixiviados que caen sobre la bandeja en la zona baja del reactor, la caída de los mismos y la aireación continua nos garantizará que la humedad del compost se mantenga estable.

### 3.3.1.8 Relación Carbono/ Nitrógeno



**Gráfico 7-3:** Variación de la relación Carbono/ Nitrógeno del compost  
Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

Para una excelente producción de compost lo óptimo es armar una pila inicial de materiales que tengan una relación C/N de 30, al principio del grafico se puede observar claramente que

obtuvimos una relación C/N de 32,54 lo que no significa que está mal, ya que se realizaron varios tipos de análisis los cuales permiten llegar a obtener este valor tomando 4 partes de todo tipo de residuos vegetales y una parte de residuos de poda es decir 4:1, esta es la proporción adecuada para obtener la relación C/N deseada. El compost final de la misma manera es analizado y se obtiene el valor de la relación C/N de 13,82, esta es una relación idónea, ya que siguiendo las normas tanto mexicana y chilena además de otros autores indican que un compost final debe tener una relación C/N inferior a 20 para ser considerada excelente en la agricultura.

### 3.3.2 Características del compost obtenido

**Tabla 26-3:** Características del compost obtenido según la norma mexicana NADF-020-AMBT-2011 y chilena NCh2880-2004

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES QUE DEBEN CUMPLIR LOS TIPOS DE COMPOST</b>			
<b>Parámetro Principales</b>	<b>Norma Mexicana NADF-020-AMBT-2011</b>	<b>Norma chilena NCh2880-2004</b>	<b>Compost Obtenido en el reactor</b>
<b>pH</b>	Tipo A: 6,7-7,5 Tipo B: 6,5-8	5,0-8,5	8,3
<b>Conductividad Eléctrica</b>	Tipo A: < 4 dS/m Tipo B: < 8 dS/m Tipo C: < 12 dS/m	Clase A: < 3 dS/m Clase B: < 8 dS/m	3 dS/m
<b>Humedad</b>	25% - 35%	30% - 45%	35%
<b>Relación C/N</b>	Tipo A: < 15 Tipo B: < 20 Tipo C: < 25	Clase A: ≤ 25 Clase B: ≤ 30	13,82
<b>Materia Orgánica</b>	≥ 20	≥ 20	57,47%
<b>Tamaño de Partícula</b>	Tipo A: ≤ 10 mm Tipo B: ≤ 30 mm	≤ 16 mm	15 mm
<b>Olores</b>	Olor característico del producto (sin olores desagradables).	Olor característico del producto (sin olores desagradables).	Olor característico del producto (sin olores desagradables).
<b>Macronutrientes (NPK) en % MS</b>	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma ≤ 7%: portará la leyenda “Composta - mejorador de suelos”. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda “Composta para nutrición vegetal” y se indicarán las cantidades para cada macronutriente.		NT: 2,26 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> : 1,6613 K <sub>2</sub> O: 2,9132 Suma total ≤ 7%: 6,8345 “Composta - mejorador de suelos”

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

### 3.4 Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria

Para la presente investigación las respectivas necesidades tecnológicas que se consideran primordiales en el desarrollo del reactor se citan a continuación:

#### Etapa de análisis de materia prima

- Trituradora mecánica
- Balanza
- Estufa
- Mufla
- Desecador
- Medidor de pH
- Medidor de conductividad

Para esta etapa se utilizaron los equipos antes mencionados, por los cuales no pagamos ningún costo ya que son propiedad de la institución.

#### Etapa de construcción del equipo

**Tabla 27-3:** Requerimiento tecnológico para la construcción del reactor

<b>Equipo</b>	<b>Accesorios</b>
Motor de 2 Hp monofásico	2 poleas de 30 cm 2 poleas de 8 cm
Soplador (Blower) de 2 pulgadas de diámetro	

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

Estos componentes se colocaron sobre una estructura de acero la misma constará de un tanque de plástico cuyo principio es el de tambor rotatorio, que girará en base a un eje accionado por el motor anteriormente citado. El proceso consta de un suministro de aire que será provisto por el ventilador. Todo este mecanismo está provisto de materiales nuevos que conformaron un sistema monofásico que se provee de energía eléctrica de 110 Voltios por lo cual no se necesitará de mantenimiento y que determina que los costos de fabricación-instalación de los componentes en

el armazón del equipo superan el valor de la tecnología necesaria para desarrollar el proceso de compostaje.

### 3.5 Análisis de costo/beneficio del proyecto

**Tabla 28-3:** Recursos materiales del modelo experimental 1

<b>RECURSOS MATERIALES MODELO EXPERIMENTAL 1</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNIDAD (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
2	Tanques metálicos pequeños	15	30
1	Pintura sintética	5	5
1	Malla de acero inoxidable	3	3
1	Gastos varios	60	60
<b>TOTAL</b>			<b>98</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 29-3:** Mano de obra modelo experimental 1

<b>MANO DE OBRA MODELO EXPERIMENTAL 1</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNIDAD (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
2	Mano de obra para la construcción del modelo experimental 1	30	60
<b>TOTAL</b>			<b>60</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 30-3:** Recursos totales experimento 1

<b>RECURSOS TOTALES EXPERIMENTO 1</b>	
Recursos Materiales Modelo Experimental 1	98
Mano De Obra Modelo Experimental 1	60
<b>TOTAL</b>	<b>158</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 31-3:** Recursos materiales del modelo experimental 2

<b>RECURSOS MATERIALES MODELO EXPERIMENTAL 2</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNIDAD (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
1	Tanque plástico 200 l	25	25
1	Madera	10	10
1	Tubería PVC 1,5"	6	6
1	Tubo galvanizado 1,5"	12	12
1	Malla plástica	3	3
2	Aislante térmico 2m	4,75	9,5
2	Sensores de T y H	12	24
1	Gastos varios	20	20
<b>TOTAL</b>			<b>109,5</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 32-3:** Mano de obra del modelo experimental 2

<b>MANO DE OBRA MODELO EXPERIMENTAL 2</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNIDAD (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
1	Mano de obra para la construcción del modelo experimental 2	80	80
<b>TOTAL</b>			<b>80</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 33-3:** Recursos totales del experimento 2

<b>RECURSOS TOTALES EXPERIMENTO 2</b>	
Recursos Materiales Modelo Experimental 2	109
Mano De Obra Modelo Experimental 2	80
<b>TOTAL</b>	<b>189</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 34-3:** Recursos materiales del reactor

<b>RECURSOS MATERIALES DEL REACTOR</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNIDAD (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
1	Tanque plástico 200 l	25	25
1	Tubería PVC 1,5"	6	6
1	Veterol 2"	40	40
1	Motor 2 HP	240	240
3	Chumaceras	12	36
2	Poleas con bandas	60	120
2	Poleas pequeñas	15	30
1	Eje	80	80
1	estructura de metal	450	450
1	Pintura	25	25
1	Adherente de pintura	12	12
2	Rodamientos	5	10
1	Sensor de T y H	24	24
<b>TOTAL</b>			<b>1098</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 35-3:** Mano de obra del reactor

<b>MANO DE OBRA DEL REACTOR</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNIDAD (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
1	Mano De Obra Para La Construcción Del Reactor	300	300
<b>TOTAL</b>			<b>300</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 36-3:** Recursos totales reactor

<b>RECURSOS TOTALES REACTOR</b>	
Recursos Materiales Reactor	1098
Mano De Obra Reactor	300
<b>TOTAL</b>	<b>1398</b>

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 37-3:** Gastos de análisis y varios

<b>ANÁLISIS Y OTROS GASTOS</b>			
<b>CANTIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>PRECIO UNIDAD (\$)</b>	<b>TOTAL (\$)</b>
2	Pre Análisis De Muestras	25	50
1	Análisis De La Muestra Final	25	25
1	Gastos Varios	30	30
<b>TOTAL</b>			<b>105</b>

**Realizado por:** CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

**Tabla 38-3:** Recursos totales elaboración reactor de compost

<b>RECURSOS TOTALES ELABORACIÓN REACTOR DE COMPOST</b>	
Experimento 1	158
Experimento 2	189
Reactor	1398
Análisis Y Otros Gastos	105
<b>TOTAL</b>	<b>1850</b>

**Realizado por:** CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

En nuestro País no existe un valor considerado para el tratamiento de una cantidad de residuos sólidos orgánicos, sin embargo estos materiales tienen la capacidad de aportar a la economía y a la agricultura si reciben un tratamiento adecuado.

Por lo que la economía de las personas dedicadas a esta actividad de reciclaje no es valorada en un principio ya que el proceso de compostaje se halla inmerso en el día a día en la naturaleza cuando un individuo involuntariamente arroja un residuo sólido a un suelo y este inmediatamente a través de sus microorganismos lo desintegra para aprovechar cada una de sus microcomponentes y mejorar en su capacidad de producción de vida vegetal.

Por cada una de estas razones se ve una oportunidad única al tratar los residuos sólidos para producir compost, ya sea mediante su producción artesanal en pilas que implica un mayor uso de tiempo y espacio de trabajo; o técnicamente a través de Reactores más sofisticados y con características favorables para disminuir el tiempo de producción.

En la presente investigación se ha tomado en cuenta los recursos materiales y humanos utilizados para poder elaborar compost, la materia prima o denominado sustrato son los residuos orgánicos de origen vegetal los mismos que por ser desechos que carecen de valor económico y prácticamente son expulsados en la basura. Lo cual genera una oportunidad al no tener que pagar por ellos.

El proceso de producción de compost puede darse artesanal y técnicamente, la primera promueve una inversión casi nula pero que sin embargo tardía a la hora de generar dinero, y la segunda objetivo del presente tema de investigación requiere cierto tipo de material para su construcción, pero esta acelera el proceso de producción, las características del producto y concibe una economía sustentable además de fructífera. Antes de hacer cualquier experimento, se deben realizar varios tipos de análisis, los mismos que se llevaron a cabo en los diferentes laboratorio de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo y el resto se lo realizó en Agrocalidad en la ciudad de Quito, lo cual se invirtió en los análisis 75 dólares para dos pruebas de la materia prima a usar, y una prueba del compost final.

En el primer experimento se usa tanques de metal con capacidad de 30 Lt, los cuales fueron modificados con una adecuación de estructuras que facilitan la entrada del sustrato, paletas para su agitación y un espacio que servirá para eliminar lixiviados, dicha inversión tiene un valor de \$ 158, sin embargo este método no es eficaz para este proceso ya que por ser de metal facilita la pérdida de calor.

En el segundo experimento se usa un tanque de plástico con un volumen de 200 Lt el mismo que se sujetó a modificaciones en su estructura para emular las condiciones que se dan en una pila, posee parámetros de homogenización, aireación y evacuación de lixiviados el cual requiere de recursos materiales y humanos con un valor de \$189. El beneficio de este sistema es que casi en su totalidad se puede hacer con facilidad en los hogares de manera casera, pero sobre todo es funcional y eficaz ya que transforma el sustrato en producto en un tiempo aproximado de 35 días.

Con los datos y la experiencia obtenida de ambos experimentos se diseña un Reactor Batch prototipo para la producción de compost con parámetros mecanizados cuyo valor total es de \$1398, cuya producción empieza con una cantidad de sustrato aproximada de 180 lb- 68 Kg y da como resultado 114 Lb- 52 kg de compost semi-maduro, lo que resulta beneficioso en tiempo de obtención respecto a su similar en pilas, aunque se invierte cierto capital pero por una sola vez ya que el mismo servirá como medio productor de compost un sinnúmero de veces favoreciendo el tratamiento de residuos, generando abono orgánico beneficioso para los jardines y las parcelas de la institución.

### 3.6 Cronograma de ejecución del proyecto.

En la realización del trabajo de titulación se hicieron las siguientes actividades:

**Tabla 39-3:** Tabla de actividades del trabajo de titulación

Actividades	Fecha de inicio	Días	Fecha Final	Situación
Revisión de la bibliografía	25-07-2016	19	12-08-2016	Terminado
Recopilación de la información	15-08-2016	17	31-08-2016	Terminado
Toma de muestras para caracterización	01-09-2016	02	02-09-2016	Terminado
Análisis de muestras	05-09-2016	12	16-09-2016	Terminado
Identificación de las variables de diseño del reactor	13-09-2016	03	16-09-2016	Terminado
Construcción del reactor prototipo	12-09-2016	05	16-09-2016	Terminado
Acopio de la materia prima	19-09-2016	04	22-09-2016	Terminado
Trituración de la materia prima	23-09-2016	01	23-09-2016	Terminado
Mezclado y colocación del sustrato en el reactor	24-09-2016	01	24-09-2016	Terminado
Primer proceso de compostaje y toma de variables	24-09-2016	38	01-11-2016	Terminado
Análisis de resultados	02-11-2016	05	06-11-2016	Terminado
Optimización del reactor de prueba	07-11-2016	12	18-11-2016	Terminado
Acopio de la materia prima	08-12-2016	04	13-12-2016	Terminado
Trituración de la materia prima	14-12-2016	01	14-12-2016	Terminado
Mezclado y colocación del sustrato en el reactor	15-09-2016	01	15-12-2016	Terminado
Segundo proceso de compostaje y toma de variables	15-09-2016	38	15-01-2017	Terminado
Redacción del borrador	05-01-2017	86	01-04-2017	Terminado
Elaboración de los cálculos diseño	01-02-2017	38	10-03-2017	Terminado
Elaboración de los planos del equipo	06-02-2017	05	24-02-2017	Terminado
Construcción del reactor	13-02-2017	40	24-03-2017	Terminado
Fase de pruebas	27-03-2017	30	27-04-2017	Terminado
Presentación final del trabajo de titulación	03-04-2017	05	07-04-2017	Terminado

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

ACTIVIDAD	TIEMPO																																								
	1° mes				2° mes				3° mes				4° mes				5° mes				6° mes				7° mes				8° mes				9° mes				10° mes				
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Revisión de la bibliografía																																									
Recopilación de la información																																									
Toma de muestras para caracterización																																									
Análisis de muestras																																									
Identificación de las variables de diseño del reactor																																									
Construcción del reactor prototipo																																									
Acopio de la materia prima																																									
Trituración de la materia prima																																									
Mezclado y colocación del sustrato en el reactor																																									
Primer proceso de compostaje y toma de variables																																									
Análisis de resultados																																									
Optimización del reactor de prueba																																									
Acopio de la materia prima																																									
Trituración de la materia prima																																									
Mezclado y colocación del sustrato en el reactor																																									
Segundo proceso de compostaje y toma de variables																																									
Redacción del borrador																																									
Elaboración de los cálculos diseño																																									
Elaboración de los planos del equipo																																									
Construcción del reactor																																									
Fase de pruebas																																									
Empastado y presentación del trabajo final																																									
Auditoria Académica																																									
Defensa del trabajo																																									

**Ilustración 6-3:** Cronograma de actividades

Realizado por: CORNEJO, C; MACHADO, M. 2017

## DISCUSIÓN

Antes de iniciar el proceso se procede a la toma del material a tratar, tanto de residuos orgánicos provenientes de comedores y restos de poda de espacios verdes de la propia institución, donde fueron triturados y se pudo alcanzar el tamaño de partícula ideal de 1-5 cm, para que la descomposición se efectuó con facilidad y mayor rapidez, Una vez ya hecho este proceso se arma el sustrato, colocándolo sobre un plástico en una superficie plana y se procedió a mezclarlo con una pala, la misma que ayudó a introducir esta mezcla homogénea dentro del reactor.

Una vez que se inició el proceso, la temperatura fue monitoreada diariamente con un sensor que se halló inmerso en el reactor, la primera temperatura que correspondió al día 0 fue de 18°C, por lo tanto, esta es la fase de iniciación denominada psicrófila, en los 3 primeros días la temperatura empezó a ascender a 40°C y originó el apareamiento de los primeros microorganismos que promueven la fase mesófila, estos microorganismos fueron desapareciendo, y con ello se da paso a los microorganismos termófilos mismos que aparecieron al séptimo día, con un máximo de 52,7°C, que interactúan a altas temperaturas, donde el sustrato se empieza a degradar gracias a estos, después la temperatura empieza a descender a partir del día 26 a 25°C, en donde la temperatura continuó descendiendo en forma significativa y esto señaló que el sustrato estuvo listo para entrar a la fase de maduración, donde se extrajo del reactor para finalizar su proceso durante 15 días.

El pH inicial tuvo un valor de 4,3 a causa del grado de acidez de las frutas (cítricos) que fueron incorporadas como materia prima de compost, pero a lo largo del proceso el pH fue incrementando, el sustrato llegó a alcanzar un pH superior a 8, por varias fuentes se conoce que los microorganismos responsables de la descomposición de los restos orgánicos no toleran valores alejados al pH 7, además que este está relacionado con la actividad de los microorganismos y los nutrientes del medio (Brito H., 2016)

La conductividad eléctrica al inicio del proceso tuvo un valor de 3.2 dS, la cual, al ser monitoreada 2 veces por semana no tuvo una variación evidente, esto se debe a la precipitación o eliminación de lixiviados en donde los elementos propios del sustrato sufren mineralización ya que este proceso es propio de una eliminación de humedad.

Con la ayuda de un termohigrómetro se controló la humedad 3 veces por semana, la misma que alcanzó un porcentaje máximo de 89% y un mínimo de 54%, ya que, como se mencionó anteriormente la humedad no debe ser inferior al 40% por lo que, los microorganismos necesitan una humedad adecuada para sobrevivir en el medio y este no debe ser muy seco, por otra parte sobrepasar el 60% produce malos olores y no deja que el oxígeno llegue hacia el sustrato de

manera adecuada. Este aspecto resultó ser el más complejo a tratar pero gracias a los parámetros de operación del reactor se pudieron controlar.

El volteo se realizó para mezclar todos los materiales dentro del reactor, el compost es volteado cada semana, o por el contrario si la temperatura empieza a subir y a exceder al igual que si la temperatura disminuye por debajo de los límites permitidos y no sube también se voltea para que esto ayude a que el sistema se mantenga dentro de los parámetros necesarios, para que, este sea homogenizado con el fin de que las bacterias propias del proceso lleguen a intervenir en todo el sustrato, por ello experimentalmente se observa que a menor velocidad de rotación del reactor, el material inmerso se homogeniza de mejor manera, lo ideal es que se realicen de 25 a 30 revoluciones por minuto, para que el compost se mezcle y airee mejor. (Brito H., 2012) Por este motivo en el reactor final se redujo la velocidad del motor de 2HP que originalmente generaba 1760 revoluciones por minuto y mediante 2 poleas de 18, 2,5 y 2 pulgadas respectivamente y mediante los cálculos pertinentes se ha llegado a generar 27 revoluciones por minuto.

El reactor se debe airear por lo menos 5 minutos al día, es por ello que tiene un ventilador con un ducto de salida de 2 pulgadas unido a una tubería interna de PVC, dicho tubo tiene agujeros cada 10 cm, la misma que permite la aireación adecuada dentro del sistema, ya que es imprescindible el oxígeno en el proceso de compostaje para la supervivencia de los microorganismos que degradan el sustrato, además el reactor cuenta con agujeros laterales en una cara por donde entrará oxígeno constantemente y también se eliminará vapores propios del proceso, de igual manera cada vez que se usa el volteo mecánico se mantiene el ventilador encendido para que pueda entrar oxígeno al compost y resulta ser un beneficio para el reactor ya que se pueden usar ambos elementos simultáneamente.

La eliminación de lixiviados produjo una cantidad de 16 kg, los cuales se evacuaron por la parte inferior del reactor hasta caer en una bandeja en donde fueron almacenados y posteriormente pesados para su completa eliminación, esto fue beneficioso ya que eliminó el exceso de humedad contenido en el sustrato.

El presente prototipo luego de su proceso de validación produjo un rendimiento de 76,47%, con respecto a la masa que fue tratada en el mismo, y generando una eficiencia que supera en un 30% al tiempo normal del proceso de compostaje dado en pilas.

Al inicio se realizaron varios análisis como Nitrógeno, Materia Orgánica a través de la cual se determina el carbono, con las que se obtuvo una relación C/N de 32,54, este valor implica utilizar la siguiente proporción, 4 partes de todo tipo de residuos vegetales y una parte de residuos de

poda es decir 4:1, peso-peso. Mismo que al final del proceso se redujo a 13,82, lo que es indicio de que las bacterias propias del proceso consumieron gran parte del sustrato.

Además de la norma mexicana y chilena, otros autores indican que un compost final debe tener una relación C/N inferior a 20 para ser considerada excelente en la agricultura.

El tiempo empleado en la realización de este proyecto tecnológico investigativo se ha mencionado en forma minuciosa en los cronogramas antes detallados, sin embargo cabe resaltar que el tiempo total para la ejecución de esta propuesta fue de nueve meses, los cuales se han distribuido en investigaciones previas para el desarrollo de prototipos, experimentación y especialmente en la producción de compost, con el fin, de determinar las variables idóneas y principales que intervienen en este proceso. Con cada uno de los aspectos antes mencionados se ha realizado un estudio extenso, pero sin embargo muy específico en lo que se buscó obtener, el desarrollo de un reactor que nos permita obtener un compost de calidad optimizando el tiempo de producción.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **Conclusiones**

- Se realizó el diseño y construcción de un reactor batch prototipo para obtener compost con residuos generados en la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- A través de la caracterización química y física de los residuos se determinó la relación C/N con un valor de 32,54 y una proporción de material de Residuos Sólidos Orgánicos Vegetales y Poda 4:1, peso: peso respectivamente.
- Las principales variables a mantener son la temperatura, la humedad, pH y conductividad, principalmente las 2 primeras se controlan mediante volteos y aireación.
- Mediante la experimentación se determinó los parámetros siendo la agitación a 27 RPM, la aireación a través de un veterol con un sistema de tuberías inmersas y la caída de lixiviados que se recogen en una bandeja.
- A través de los análisis y la comparación del producto final con la normativa se determina que el producto cumple y se considera un compost mejorador de suelos.
- Con el análisis costo- beneficio se establece que con los gastos requeridos y la materia prima sin costo para su producción justificarán la rentabilidad del equipo.

### **Recomendaciones**

- La recolección de la materia prima (Residuos Sólidos Orgánicos de Origen Vegetal y Residuos de Poda), debe ser selectiva con el fin de evitar contaminantes como plásticos, piedras y demás materiales cuya presencia altere el proceso de compostaje.
- La poda como agente estructurante debe estar seca en su mayoría para que junto a los residuos orgánicos vegetales que poseen alto contenido de humedad formen un sustrato con una cantidad de agua adecuada para la buena reproducción de las bacterias compostadoras.

- Es fundamental la trituración del material y se debe realizar hasta obtener un tamaño de partícula de 1 a 5 cm, seguida de una mezcla homogénea de todo el material, con el fin de optimizar su tiempo de degradación del material.
- Realizar los análisis y cálculos de materia orgánica, carbono, nitrógeno y humedad, ya que estos parámetros son indispensables para efectuar la proporción C/N, es decir la cantidad idónea de componentes destinados a formar el sustrato.
- La trituración, mezcla e introducción del sustrato son procesos que deben realizarse el mismo día, con la finalidad de evitar fermentaciones por separado.
- Realizar un monitoreo periódico de temperatura para verificar que el proceso se esté dando con normalidad, ya que la falta de oxígeno provoca disminución o por el contrario el exceso de temperatura puede causar la muerte de los microorganismos, por ambas razones se recomienda usar el veterol una vez al día en un lapso de 5 min.
- Efectuar el control semanal de las variables de proceso tales como humedad, pH y conductividad eléctrica para comprobar que el proceso es efectivo.
- Es primordial llevar a cabo los volteos una vez por semana, en un intervalo de 5 minutos, para obtener una mejor homogeneidad y una buena oxigenación del sustrato.
- Recoger los lixiviados con el fin de determinar su cantidad exacta para posteriormente realizar el balance de masa.
- Los equipos e instrumentos utilizados para el monitoreo, realización de pruebas de caracterización y verificación de parámetros deben estar calibrados y trabajando en óptimas condiciones para así obtener datos confiables.
- Una vez que el compost ha terminado su fase termófila y empieza a disminuir su temperatura, proceder a retirarlo del reactor y extenderlo sobre una superficie para que termine su fase de maduración.

## BIBLIOGRAFÍA

- AGNEW Y LEONARD.** *"The Physical Properties of Compost". Compost Science and Utilisation.* 11ª. Alberta : Department of Agricultural, Food, and Nutritional Science, University of Alberta, 2003. págs. 238-264.
- ALBURQUERQUE GONZÁLES. et al.** *Composting of a solid olive-mill by-product ("alperujo") and the potential of the resulting compost for cultivating pepper under commercial conditions.* *Waste Manage.* 16ª. Murcia : Department of Soil and Water Conservation and Organic Waste Management, Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura, CSIC, P.O., 2006. págs. 620-626.
- ALONSO, JOSÉ.** *Cómo hacer compost"Guía para amantes de la jardinería y el medio ambiente".* Madrid- España : Ediciones Nobel, S.A., 2011. págs. 11-111.
- BASANTA et al.** *Sostenibilidad del reciclaje de residuos de la agroindustria azucarera.* 5ª. México D.F : Sociedad Mexicana de Nutrición y Tecnología de Alimentos, 2007. págs. 293-305.
- BUENO DÍAZ. et al.** *Factores que afectan al proceso de compostaje [En línea] (Tesis pregrado) (Ingeniero Químico).* Sevilla-España : Universidad de Huelva, Facultad de Ciencias Experimentales, Departamento de Ingeniería Química, 2008. págs. 7 [Consulta: 2017-01-05]. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>.
- DALZELL, H.W.** *Manejo del suelo: producción y uso del composte en ambientes tropicales y subtropicales.* Reino Unido : Universidad de Birmingham, 1991. págs. 22-23.
- ELIAS, XAVIER.** *Reciclaje de Residuos Industriales"Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora".* 2ª. Madrid : Ediciones Díaz de Santos S.A., 2012. pág. 151.
- FERNÁNDEZ, LUIS.** *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados.* México, DF : Instituto Mexicano del Petróleo, 2006. págs. 19-25.
- FINSTEIN Y MILLER.** *The Rutgers Strategy for Composting Process Desing and Control.* New Jersey : Water Engineering Research Laboratory Office of Research and Development U.S. Environmental Protection Agency Cincinnati, Ohio 45268, 1985. págs. 1-35.

- FINSTEIN Y HOGAN.** *Integration of composting process microbiology, facility structure and decision-making. Science and Engineering of Composting: design environmental, microbiological and utilization aspects.* Ohio : Renaissance Publications, 1993. págs. 1-23.
- GRAVES, R.** *Environmental National Engineering Handbook.* EEUU : United States Department of Agriculture, 2000. pág. 621.
- GRAVES, ROBERT.** *Environmental Engineering National Engineering Handbook.* EEUU : s.n., 2000.
- HAUG, ROGER.** *The Practical Handbook of COMPOST ENGINEERING.* Florida : LEWIS PUBLISHERS, 1993, 1993. pág. 171.
- LARA, SEBASTIÁN.** *Diseño de un bioreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno, estación Tunshi- Epoch [En línea] (Tesis pregrado) (Ingeniero en Biotecnología Ambiental).* Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2011. págs. 7-17 [Consulta: 2016-12-05]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1298/1/26T00005.pdf>.
- LARCO, R.** *Desarrollo y evaluación de lixiviados de compost y lombricompost para el manejo de sigatoka negra (Mycosphaerella fijiensis Morelet), en plátano [En línea] (Tesis posgrado). (Magister).* Turrialba–Costa Rica : Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, 2004. págs. 13 [Consulta: 2016-12-08]. Disponible en: <http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0282E/A0282E.PDF>.
- MACGREGOR ET AL. MILLER.** *Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature.* 41ª. Australia : Applied and Environmental Microbiology, 1981. págs. 1321-1330.
- MILLER HARPER. et al.** *A Composting Processing Failure: Diagnosis and Remedy.* Australia : Australian Journal of Experimental Agriculture, 1990. págs. 278-296.
- MOHEDO, JUAN.** *Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales [En línea] (Tesis posgrado) (Doctor en Química).* Córdoba-España : Universidad de Córdoba, Departamento de Ingeniería Química, 2002. págs. 29 [Consulta: 2016-12-15]. Disponible en: <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/365/13207295.pdf?sequence=1>.
- MORENO Y MORAL.** *Compostaje.* Madrid-España : Mundi Prensa, 2008. págs. 98-99.
- PAREDES, ANDRÉS.** *Diseño de un biorreactor para la obtención de biogás y bioabono a partir de residuos orgánicos en el cantón patate [En línea] (Tesis pregrado) (Ingeniero en Biotecnología Ambiental).* Patate : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015.

págs. 9 [Consulta: 2016-12-13]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4091/1/236T0138%20UDCTFCI.pdf>.

**RICHARD, TOM.** *Moisture Relationships in Composting Processes*. Iowa : Department of Agricultural and Biosystems Engineering, Iowa State University, Ames, Iowa, 2002. págs. 286-302.

**RODRÍGUEZ Y CÓRDOVA.** *Manual de compostaje municipal. Tratamiento de residuos sólidos urbanos*. 1ª. México : Instituto Nacional de Ecología, 2006. págs. 23-24.

**RUIZ, ALBINA.** *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*. Lima : Universidad Ramón Llull, Centro Instituto Químico de Sarria, Departamento de Ingeniería Química, 2010. pág. 16.

**RYNK VAN DE KAMP. et al.** *On-farm composting handbook Northeast Regional Agricultural Engineering Service [En línea]*. Ithaca, N.Y : s.n., 1992. págs. 112-113 [Consulta: 2016-12-20]. Disponible en:  
[https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES%20Farm Compost%20manual%201992.pdf](https://campus.extension.org/pluginfile.php/48384/course/section/7167/NRAES%20Farm%20Compost%20manual%201992.pdf).

**SADZAWKA, ZAGAL.** *Protocolo de métodos de análisis para suelos y lodos*. Chile : s.n., 2007. págs. 28-29.

**SCHMIDT, LANNY.** *The Engineering of Chemical Reactions*. New York : Oxford University Press, 1998. págs. 20-35.

**SIRONI, S.** *Autor continuous monitoring of odours from a composting plant using electronic noses*. Milan : Olfactometric Laboratory, Department of Chemistry, Materials and Chemical Engineering "Giulio Natta", Politecnico di Milano, 2007. págs. 389-397.

**VALVERDE, VÍCTOR.** *Diseño y automatización de un sistema de aireación forzada para el co-compostaje de residuos hortícolas en la comunidad de Gatazo cantón Colta [En línea] (Tesis pregrado) (Ingeniero en Biotecnología Ambiental)*. Riobamba : Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2015. págs. 64-65 [Consulta: 2016-12-19]. Disponible en:  
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4861/1/96T00334%20UDCTFC.pdf>.

**VÁSQUEZ, ELKIN.** *Gúa para compostaje y manejo de suelos*. Bogotá : CAB Ciencia y Tecnología, 2003. pág. 14.

**VERDEZOTO, DARWIN.** *Diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno, en la finca los laureles en la comunidad flor del manduro [En línea] (Tesis pregrado) (Ingeniero en Biotecnología Ambiental)*. Riobamba :

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2014. págs. 20-40 [Consulta: 2016-12-25].  
Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3279/1/236T0088.pdf>.

## ANEXOS

### ANEXO A. NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011

**NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, QUE ESTABLECE LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, AGRÍCOLAS, PECUARIOS Y FORESTALES, ASÍ COMO LAS ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE CALIDAD DE LA COMPOSTA PRODUCIDA Y/O DISTRIBUIDA EN EL DISTRITO FEDERAL.**

Martha Delgado Peralta, Secretaria del Medio Ambiente del Distrito Federal y Presidenta del Comité de Normalización Ambiental del Distrito Federal con fundamento en lo dispuesto por los artículos 1º, 2º, 15 fracción IV, 16 fracciones I, II y IV, 17, y 26 de la Ley Orgánica de la Administración Pública del Distrito Federal; 1º fracciones II y V, 2º fracciones II y IX, 3º fracción IV, 6º fracción II, 9º fracciones IV, VII, XXVII y XLII, 21, 22 fracción I, 36 fracciones I y III, 40 fracción III, 152, 153, y 154 fracción I de la Ley Ambiental del Distrito Federal; 7 º fracción IV numeral 2, y 55 fracción I del Reglamento Interior de la Administración Pública del Distrito Federal; Acuerdo por el que se crea el Comité de Normalización Ambiental para el Distrito Federal de fecha 23 de abril de 2002, y Acuerdos por los que se reforma el diverso por el que se crea el Comité de Normalización Ambiental del Distrito Federal de fechas 19 de agosto de 2005 y 4 de julio de 2007, he tenido a bien emitir la siguiente:

**NORMA AMBIENTAL PARA EL DISTRITO FEDERAL NADF-020-AMBT-2011, QUE ESTABLECE LOS REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOSTA A PARTIR DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS, AGRÍCOLAS, PECUARIOS Y FORESTALES, ASÍ COMO LAS ESPECIFICACIONES MÍNIMAS DE CALIDAD DE LA COMPOSTA PRODUCIDA Y/O DISTRIBUIDA EN EL DISTRITO FEDERAL.**

#### ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETO
3. ÁMBITO DE VALIDEZ
4. REFERENCIAS
5. DEFINICIONES
6. ESPECIFICACIONES
7. MUESTREO Y ANÁLISIS
8. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONFORMIDAD
9. OBSERVANCIA
10. VIGENCIA
11. BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

#### 1. INTRODUCCIÓN

En virtud de la entrada en vigor de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal, publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, el 22 de abril de 2003 y reformada el 10 de febrero de 2004 en materia de residuos sólidos, se estableció la obligación de separar dichos residuos en orgánicos e inorgánicos.

Considerando que en 2009, la Ciudad de México procesaba menos de 100 t/día en la Planta de Composta de Bordo Poniente, aledaña al relleno sanitario Bordo Poniente cuarta etapa.

Aunado a la publicación del Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito, publicado en la Gaceta Oficial del Distrito Federal en fecha 13 de Septiembre de 2010, en el que se estableció como meta el tratamiento y procesamiento en composta el 50% de la Fracción Orgánica (FO) de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) de la Ciudad para el año 2012, lo que representa aproximadamente 2,500 t/día.

El composteo es una opción que permite reducir la FO al 25% de su peso original y aprovecharla, en lugar de enviarla a rellenos sanitarios que prolongan así su vida útil. El composteo de los RSU representa un beneficio económico y ambiental. La composta resultante puede ser utilizada como mejorador de suelos, nutriente o sustrato para cultivos de hortalizas y frutales, para áreas verdes públicas o privadas y viveros en general; además, su uso propicia la disminución de la aplicación de fertilizantes químicos y reduce la generación de Gases de Efecto Invernadero.

#### 6.4. CARACTERÍSTICAS DE LA COMPOSTA TERMINADA

Las metodologías para la determinación de cada uno de los parámetros que se describen en este numeral serán las indicadas en el Anexo I de esta norma. Los tipos de composta y los requisitos de calidad que deben cumplir, se especifican en las tablas 2, 3, 4, 5 y 6.

- 6.4.1. Calidad y clases de composta. Para efectos de la presente Norma se establecen tres tipos de composta en función de la calidad y los usos que se le pueden dar.

Tabla 2. Características generales que deben cumplir los tipos de composta.

Parámetro	TIPO DE COMPOSTA		
	A	B	C
Uso recomendado	Sustrato en viveros y sustituto de tierra para maceta	Agricultura ecológica y reforestación	Paisaje, áreas verdes urbanas y reforestación
Humedad	25-35 % en peso		25-45 % en peso
pH	6.7 – 7.5	6.5 – 8	
Conductividad eléctrica	< 4 dS/m	< 8 dS/m	< 12 dS/m
Materia orgánica	> 20% MS		> 25 % MS
Carbono total	Debe indicarse en la etiqueta el resultado del último análisis realizado		
Nitrógeno total % MS			
Relación C/N	< 15	< 20	< 25
Macronutrientes (NPK) En % MS	De 1% a 3% en cualquiera de ellos y su suma ≤ 7%: portará la leyenda "Composta - mejorador de suelos. Si cualquiera excede 3% o la suma es mayor a 7% Debe portar la leyenda "Composta para nutrición vegetal" y se indicarán las cantidades para cada macronutriente.		
Granulometría	≤ 10mm	≤ 30 mm	
Fitotoxicidad (IG)	IG ≥ 85 %	IG ≥ 75 %	IG ≥ 60 %
Diferencia de temperatura con el ambiente medida a una profundidad ≥ 50 cm	≤ 10°C		≤ 15°C

#### 6.4.1.1 Métodos opcionales para medir estabilidad y madurez.

Como alternativa válida, a las pruebas de diferencial de temperatura con el ambiente y fitotoxicidad, es posible realizar la prueba de Solvita® con parámetros indicados en la tabla 3, así como pruebas respirométricas.

Tabla 3. Métodos opcionales para medir estabilidad y madurez.

	Tipo A	Tipo B	Tipo C
Índice de madurez Solvita®	7	6	5
Consumo de oxígeno*	< 50	50-100	101-150
Emisión de CO <sub>2</sub> *	< 30	30-60	61-120

\*mg/kg MS/h

#### 6.4.2. Límites máximos permitidos de contaminantes e impurezas

6.4.2.1. Elementos traza. En la tabla 4, se especifican tres niveles de concentración máxima permitida de elementos traza, para los tres tipos de composta descritos en la tabla 2.

Tabla 4. Concentraciones máximas de elementos traza en mg·kg<sup>-1</sup> en base seca, que deben cumplir los tipos de composta.

Nivel – tipo	As	Cd	Cr total	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Nivel 1 –tipo A	0.1	0.7	70	70	0.4	25	45	200

Nivel 2 – tipo B	0.7	1	70	150	0.7	60	120	500
Nivel 3 – tipo C	2.0	3	250	400-500	3	100	200	1200-1800

6.4.2.2. Especificaciones microbiológicas. Para la venta de composta en el Distrito Federal, ésta debe cumplir con las especificaciones microbiológicas y los procedimientos de análisis contenidos en Normas Oficiales Mexicanas, establecidas por la Secretaría de Salud y son las que se especifican en la tabla 5.

Tabla 5. Valores máximos permisibles para especificaciones microbiológicas.

Microorganismos	Tolerancia
Coliformes fecales	<1000 NMP*/g ( en base seca)
Salmonella	<3 NMP en 4 g (en base seca)
Huevos de Helmintos viables	1 en 4 g (en base seca)

\*Número más probable

6.4.2.3. Impurezas. La tolerancia a la presencia de material inerte en los tres tipos de composta se indica en la tabla 6.

Tabla 6. Máximos permitidos de materias inertes, en % de MS para partículas mayores a 5 mm.

Tipo de material	Tipo A	Tipo B	Tipo C*
Roca	Ausente	< 3 %	< 5 %*
Plástico	Ausente	< 0.5 %	< 1 %*
Vidrio y metal	Ausente	< 1%	<2% *

\*La suma de los porcentajes de impurezas físicas debe ser menor al 5%

## Compost - Clasificación y requisitos

### Preámbulo

El Instituto Nacional de Normalización, INN, es el organismo que tiene a su cargo el estudio y preparación de las normas técnicas a nivel nacional. Es miembro de la INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO) y de la COMISION PANAMERICANA DE NORMAS TECNICAS (COPANT), representando a Chile ante esos organismos.

La norma NCh2880 ha sido preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, y en su estudio participaron los organismos y las personas naturales siguientes:

Agrolab Ltda.

Agroorgánicos Mostazal

Aguas Andinas  
Análisis Ambientales S.A.

Asociación de Productos Avícolas de Chile A.G., APA

ASPROCER  
Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA  
Comisión Nacional del Medio Ambiente,  
Región Metropolitana, CONAMA RM

Consultor

Consultor

Consultor

Ecoglobal S.A.

ECOTEMPO

EMERES

Empresa de Obras Sanitarias de Valparaíso, ESVAL S.A.

Fundación Chile

Rosa Espinoza A.  
Rodrigo Millán A.  
Francisco Brander C.  
Bárbara García V.  
Paola Arata  
Cristian Borie G.  
Alejandra Olea M.  
Felipe De La Carrera  
Mauricio Serrano R.  
Carlos Cantuarias  
Joost Meijer

Ximena Rojas LI.  
Christian Hauser  
Cristián Paredes O.  
Soledad Aliaga V.  
David Acuña M.  
Alvaro Pumarino C.  
Lucrecia Brutti  
Raúl Donoso Z.  
Marcia Antimilla P.

NCh2880

Gestión Ambiente S.A.  
Ing. Agrónomo - Asesor en Producción Orgánica  
INIA CRI La Platina  
INIA - Quilamapu  
Instituto Nacional de Normalización, INN

Municipalidad de la Pintana - Dirección Gestión Ambiental  
Pontificia Universidad Católica de Chile - Facultad de  
Agronomía

PROA/Cristi A.  
Probical  
Reciclajes Industriales S.A.  
RENACE

Servicio Agrícola y Ganadero, SAG  
SEICA Ltda.  
Servicio de Salud Metropolitano del Ambiente, SESMA

Superintendencia de Servicios Sanitarios, SISS  
Servicios Pucalán Sur  
Universidad de Chile

Fernando Alcázar  
Jorge Jorquera V.  
Angélica Sadzawka R.  
M. Cecilia Céspedes L.  
Patricia Bley L.  
José Manuel Román M.  
Carolina Torres M.

Claudia Bonomelli  
Horacio Urzúa S.  
Agustín Cristi A.  
Ximena Antiguay R.  
Martín Jaramillo F.  
Fresia Figueroa  
Alvaro Gómez  
Gonzalo Narea C.  
Ligia Chandía A.  
Alejandra Poblete L.  
Jaime Hasson M.  
Christian Lillo S.  
Felipe Ossa B.  
Pablo Alvarado V.  
María Teresa Varnero M.

Durante la consulta pública, adicionalmente se recibieron observaciones de los organismos siguientes:

Agroindustrial Pullihue  
Comisión Nacional del Medio Ambiente, CONAMA, Región del Bío Bío  
Empresa de Servicios Pucalán  
INDEX SALUS Ltda.  
Mol Ambiente Ltda.  
Municipalidad de Pudahuel  
Municipalidad de Peñalolén  
PROFO Semillas Orgánicas del Maule  
Universidad del Mar - Escuela de Agronomía  
Universidad de Talca

Por no existir Norma Internacional, en la elaboración de esta norma se tomaron en consideración las normas AS 4454-1999 Australian Standard *Compost, Soil Conditioners and Mulches*; NF U44-095. Norme Française. *Amendements Organiques. Composts contenat des matieres d'intéret agronomique, issues du traitement des eaux*. AFNOR 2002; normas TMECC de métodos de ensayo para compost y antecedentes técnicos nacionales.

#### 4 Clasificación

De acuerdo a su nivel de calidad, el compost se clasifica en las Clases siguientes:

- a) **Compost Clase A:** producto de alto nivel de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase A. Debe cumplir con la concentraciones máximas de metales pesados de Tabla 3. Su conductividad eléctrica debe ser menor a tres decisiemens por metro (3dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 25. Este producto no presenta restricciones de uso.
- b) **Compost Clase B:** producto de nivel intermedio de calidad que cumple con las exigencias establecidas en esta norma para el compost Clase B. Debe cumplir con las concentraciones máximas de metales pesados de Tabla 4. Su conductividad eléctrica debe ser menor a ocho decisiemens por metro (8dS/m) y su relación carbono/nitrógeno debe ser menor o igual a 30. Este producto puede presentar algunas restricciones de uso si su conductividad eléctrica es mayor de tres decisiemens por metro (3dS/m).

## 5 Requisitos

### 5.1 Requisitos generales

5.1.1 El compost debe cumplir con los requisitos de esta norma.

5.1.2 Los métodos de ensayo para comprobar el cumplimiento de los requisitos se indican en cláusula 10 de esta norma.

5.1.3 Para certificar una partida de compost se debe presentar informes de resultados de laboratorios acreditados, de, a lo menos los ensayos siguientes: coliformes fecales, salmonella, humedad, relación carbono/nitrógeno, conductividad eléctrica, pH y madurez. La Autoridad Competente podrá exigir otros ensayos si lo estima conveniente.

### 5.2 Requisitos de la materia prima

5.2.1 Todos los residuos orgánicos agrícolas, forestales, ganaderos, urbanos, sólidos y líquidos, de agroindustria, y otros, no contaminados con materias no biodegradables por sobre las tolerancias de esta norma pueden ser utilizadas como materia prima para compostaje.

5.2.2 Se consideran materias primas para compostaje los materiales compostables siguientes:

- a) de la producción agrícola de frutas, hortalizas, legumbres, cereales, fibras, aceites comestibles, tabaco y otros similares;
- b) de industrias de conservas, deshidratados, congelados, packings, industrias de tabaco e industrias de levaduras;
- c) de sistemas pecuarios;
- d) de industrias de preparación y transformación de carnes, pescado y subproductos de sistemas pecuarios;
- e) de la industria azucarera;
- f) de la industria lechera;
- g) de la industria panadera, pastelera y confitera;
- h) de la industria de bebidas alcohólicas y analcohólicas;
- i) de la industria del papel;
- j) de la selección en procesos de la industria de fibras naturales;
- k) de la industria del cuero que no contengan cromo;

NCh2880

- l) de residuos orgánicos domiciliarios;
- m) de materias vegetales de parques, cementerios, clubes, jardines, podas de árboles;
- n) de la industria de la madera;
- o) del aseo de ferias libres, vegas, mercados y supermercados;
- p) de lodos de plantas de tratamientos secundarios provenientes de la agroindustria;
- q) de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas;
- r) de aserrines de la industria aceitera;
- s) de la industria fúngica; y
- t) de otras que establezca la Autoridad Competente.

**5.2.3** No se deben incluir como materia prima para compostaje los productos siguientes:

- a) residuos infecciosos;
- b) residuos peligrosos, tales como aquellas provenientes de plantas impregnadoras de maderas, de baños antimanchas, y otros;
- c) animales muertos por zoonosis o por otras enfermedades de alto riesgo, determinadas por la Autoridad Competente;
- d) aspirado de polvo de calles; y
- e) otros que establezca la Autoridad Competente.

**5.2.4** Las materias primas para compostaje deben presentar un nivel de elementos traza, no mayor a los valores establecidos en Tabla 1 siguiente:

**Tabla 1 - Concentración máxima de metales pesados en materias primas para compostaje**

Elementos traza	Concentración máxima (mg/kg) base seca <sup>1)</sup>
Cadmio	10
Cobre	1 500
Cromo	1 000
Mercurio	10
Níquel	200
Plomo	800
Zinc	3 000

La Autoridad Competente podrá autorizar valores superiores si se dan condiciones específicas que así lo ameriten.

5.2.5 Los lodos estabilizados para ser compostados deben contener una humedad menor o igual a 85%, expresada sobre base húmeda.

### 5.3 Requisitos del producto compostado

5.3.1 Puede ser almacenado sin alteraciones ni tratamientos posteriores bajo condiciones ambientales adecuadas.

#### 5.3.2 Requisitos sanitarios

Todas las clases de compost deben cumplir con los requisitos de tolerancia de patógenos como se establece en Tabla 2 siguiente:

Tabla 2 - Requisitos microbiológicos

Tipo de microorganismo	Tolerancia
1. Coliformes fecales	< a 1 000 NMP por gramo de compost, en base seca
2. <i>Salmonella sp</i>	3 NMP en 4 g de compost, en base seca
3. Huevos de helmintos viables <sup>1)</sup>	1 en 4 g de compost, en base seca
NMP = Número Más Probable.	
1) El análisis sólo será exigible a requerimiento expreso de la Autoridad Competente.	

### 5.4 Requisitos físicos y químicos

#### 5.4.1 Contenido de nutrientes

El compost debe tener contenidos de nitrógeno total mayor o igual a 0,5%, expresado sobre base seca.

#### 5.4.2 Olores

El compost debe presentar olores característicos de este producto sin olores desagradables como por ejemplo, compuestos sulfurosos, amoniacales, mercaptanos y/o de azufre reducido, entre otros.

#### 5.4.3 Humedad

El compost debe presentar un contenido de humedad entre 30% y 45% de la masa del producto, en base húmeda.

NCh2880

#### 5.4.4 Metales pesados

- a) El compost Clase A, proveniente de lodos estabilizados o tratados o de otras materias primas establecidas en la presente norma, debe cumplir con los requisitos de concentraciones máximas de metales pesados indicados en Tabla 3 siguiente:

Tabla 3 - Concentraciones máximas de metales pesados en compost

Metal pesado	Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca) <sup>1)</sup>
Arsénico	15
Cadmio	2
Cobre	100
Cromo	120
Mercurio	1
Níquel	20
Plomo	100
Zinc	200
1) Concentraciones expresadas como contenidos totales.	

- b) El compost Clase B, proveniente de lodos estabilizados o tratados o de otras materias primas establecidas en la presente norma, que no cumpla con los requisitos establecidos en Tabla 3 debe, a lo menos, cumplir con los requisitos de concentraciones máximas permitidas de metales pesados indicados en Tabla 4 siguiente:

Tabla 4 - Concentraciones máximas de metales pesados en compost producidos en base a lodos

Metal pesado	Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca) <sup>1)</sup>
Arsénico	20
Cadmio	8
Cobre	1 000
Cromo	600
Mercurio	4
Níquel	80
Plomo	300
Zinc	2 000
1) Concentraciones expresadas como contenidos totales.	

#### 5.4.5 Conductividad eléctrica

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de conductividad eléctrica, medida en base a una dilución 1:5, siguientes:

- a) Para el compost Clase A, la conductividad eléctrica debe ser menor a 3 dS/m.
- b) Para el compost Clase B, la conductividad eléctrica debe ser menor o igual a 8 dS/m.

#### 5.4.6 Relación carbono/nitrógeno (C/N), expresada como el cociente entre carbono orgánico total y nitrógeno total

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de relación C/N siguientes:

- a) Para el compost Clase A, la relación C/N debe ser menor o igual a 25.
- b) Para el compost Clase B, la relación C/N debe ser menor o igual a 30.

#### 5.4.7 Madurez

El compost debe cumplir los requisitos de madurez que se establecen en los puntos a) y b) siguientes:

- a) La relación C/N debe ser menor o igual a 30. Si no cumple esta condición, el compost se considera inmaduro y no se le aplica otro ensayo.
- b) Presentar niveles dentro de los rangos establecidos para compost maduro en dos ensayos elegidos libremente, uno de entre los que componen el grupo 1 y otro de entre los que componen el grupo 2, como se indica en Tabla 5 siguiente:

Tabla 5 - Análisis complementarios para determinar madurez de compost

Test del Grupo 1	Rangos de aceptación para compost
Evolución de $CO_2$ (Respiración)	Menor o igual a 8 mg de $C-CO_2$ /g de materia orgánica por día
Absorción de $O_2$	Menor o igual a 3,5 mg de oxígeno/g de materia orgánica por día
Autocalentamiento	Menor o igual a 20° C
Test del Grupo 2	
Relación Amonio / Nitrato	Menor o igual a 3
Concentración de Amonio	Menor o igual a 500 mg/kg
Contenido de ácidos orgánicos volátiles	Menor o igual a 300 mg/kg
Germinación de rabanitos	Mayor o igual a 80%

## NCh2880

- c) Como alternativa válida para reemplazar a los ensayos indicados en b), se puede realizar el Test de Solvita<sup>®</sup>, los valores deben ser mayor o igual a 4 para Solvita  $NH_3$  y mayor o igual a 7 para Solvita  $CO_2$ .

NOTA - El test de Solvita está basado en una escala de colores, cuyos rangos varían de 1 a 5 para el nivel relativo de Solvita  $NH_3$  y de 1 a 8 para el nivel relativo a Solvita  $CO_2$ .

### 5.4.8 pH

El pH del compost debe estar comprendido entre 5,0 y 8,5.

### 5.4.9 Materia orgánica

El compost debe tener un contenido de materia orgánica mayor o igual a 20%.

### 5.4.10 Presencia de semillas viables de malezas

Para todas clases de compost, deben germinar un máximo de 2 propágulos de malezas por litro de compost, en cámara de crecimiento, por siete días.

### 5.4.11 Tamaño de partículas

Para todas las clases de compost, el tamaño máximo de las partículas que lo integran debe ser menor o igual a 16 mm, determinado en su mayor dimensión.

### 5.4.12 Materias inertes

- a) No se permiten materias inertes de un tamaño mayor a 16 mm, determinado en su mayor dimensión, en ninguna de las clases de compost.
- b) Para todas las clases de compost, la tolerancia de impurezas de tamaño menor o igual a 16 mm no debe superar los valores indicados en Tabla 6 siguiente:

Tabla 6 - Contenido máximo de materias inertes de tamaño  $\leq 16$  mm en compost

Material	Dimensión (mm)	Cantidad (% masa en base seca)
Plásticos flexibles y/o películas	Mayor a 4	Menor o igual a 5
Piedras y/o terrones de barro	Mayor a 4	Menor o igual a 5
Vidrio y/o metales y/o caucho y/o plásticos rígidos	Mayor o igual a 2	Menor o igual a 0,5

### 5.4.13 Densidad aparente

Para todas las clases de compost, la densidad aparente debe ser menor o igual a 700 kg/m<sup>3</sup>.

### **5.5 Requisitos específicos del compost para la agricultura orgánica**

El compost para la agricultura orgánica debe cumplir todos los requisitos establecidos para el compost Clase A de la presente norma y en cuanto a materias primas sólo las permitidas por NCh2439.

### **5.6 Requisitos adicionales para acceder al área libre de plagas**

Los productores que quieran acceder con su producto compost, al área libre de las plagas, *Globodera rostochiensis*, *Globodera pallida*, *Tecaphora solani* (*Angiosorus solani*) y *Ralstonia solanacearum* (raza 3, biovar 2), deben cumplir con las exigencias adicionales en cuanto a materias primas, control del proceso, registros, y otras que establezca al efecto la Autoridad Competente.

### **5.7 Regulación de uso**

**5.7.1** La aplicación de compost Clase A o Clase B elaborado con subproductos de semilleros transgénicos debe cumplir con los requisitos que establezca la Autoridad Competente.

**5.7.2** Para la aplicación de compost Clase B se debe cumplir asimismo con los requisitos de aplicación que establezca la Autoridad Competente.

## ANEXO C. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS VEGETALES

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO02</b>
	<b>Rev. 2</b>	
	<b>INFORME DE ANÁLISIS FOLIAR</b>	

Informe N°: LN-SFA-E16-1291  
Fecha emisión Informe: 28/09/2016

### DATOS DEL CLIENTE

**Persona o Empresa solicitante:** Cristian Santiago Cornejo Soria / Agrocalidad Chimborazo  
**Teléfono:** 0984706226  
**Dirección:** Ciudadela El MOP  
**Correo Electrónico:** santy\_cs@icloud.com  
**Provincia:** Chimborazo      **Cantón:** Riobamba  
**N° Orden de Trabajo:** 06-2016-07  
**N° Factura/Documento:** 2568

### DATOS DE LA MUESTRA:

<b>Tipo de muestra:</b> Foliar		<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco	
<b>Cultivo:</b> ----			
<b>Provincia:</b> Chimborazo		<b>Coordenadas:</b>	<b>X:</b> ----
<b>Cantón:</b> Riobamba			<b>Y:</b> ----
<b>Parroquia:</b> ----		<b>Altitud:</b> ----	
<b>Muestreado por:</b> ----			
<b>Fecha de muestreo:</b> ----		<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 13-09-2016	
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 13-09-2016		<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 28-09-2016	

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-161598	Muestra 2	Cenizas	Gravimétrico	%	9,29
		Materia orgánica	Gravimétrico	%	90,71
		Nitrógeno	Dumas	%	1,55
		Fósforo	Colorimétrico	%	0,17
		Potasio	Absorción atómica	%	2,22
		Calcio	Absorción atómica	%	0,78
		Magnesio	Absorción atómica	%	0,26
		Hierro	Absorción atómica	ppm	364,74
		Manganeso	Absorción atómica	ppm	17,84
		Cobre	Absorción atómica	ppm	4,40
		Zinc	Absorción atómica	ppm	25,14

**Analizado por:** Daniel Bedoya, Katty Pastás, Luis Cacuango

### **Observaciones:**

- El cliente entrega muestra seca y triturada.


  
**Ing. Rusbel Jaramillo**  
**Responsable de Laboratorio**  
**Suelos, Foliar y Aguas**

## ANEXO D. ANÁLISIS FÍSICOS-QUÍMICOS DE LOS RESIDUOS DE PODA DE LA ESPOCH

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	<b>LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	<b>PGT/SFA/09-FO02</b>
	<b>Rev. 2</b>	
	<b>INFORME DE ANÁLISIS FOLIAR</b>	<b>Hoja 1 de 1</b>

Informe N°: LN-SFA-E16-1291  
 Fecha emisión Informe: 28/09/2016

### DATOS DEL CLIENTE

**Persona o Empresa solicitante:** Cristian Santiago Cornejo Soria / Agrocalidad Chimborazo

**Dirección:** Ciudadela El MOP

**Provincia:** Chimborazo

**Cantón:** Riobamba

**Teléfono:** 0984706226

**Correo Electrónico:** santy\_cs@icloud.com

**N° Orden de Trabajo:** 06-2016-07

**N° Factura/Documento:** 2568

### DATOS DE LA MUESTRA:

<b>Tipo de muestra:</b> Foliar		<b>Conservación de la muestra:</b> Lugar fresco y seco	
<b>Cultivo:</b> ----			
<b>Provincia:</b> Chimborazo		<b>Coordenadas:</b>	<b>X:</b> ----
<b>Cantón:</b> Riobamba			<b>Y:</b> ----
<b>Parroquia:</b> ----		<b>Altitud:</b> ----	
<b>Muestreado por:</b> ----			
<b>Fecha de muestreo:</b> ----		<b>Fecha de inicio de análisis:</b> 13-09-2016	
<b>Fecha de recepción de la muestra:</b> 13-09-2016		<b>Fecha de finalización de análisis:</b> 28-09-2016	

### RESULTADOS DEL ANÁLISIS

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETRO ANALIZADO	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADO
SFA-161598	Muestra 2	Cenizas	Gravimétrico	%	9,29
		Materia orgánica	Gravimétrico	%	90,71
		Nitrógeno	Dumas	%	1,55
		Fósforo	Colorimétrico	%	0,17
		Potasio	Absorción atómica	%	2,22
		Calcio	Absorción atómica	%	0,78
		Magnesio	Absorción atómica	%	0,26
		Hierro	Absorción atómica	ppm	364,74
		Manganeso	Absorción atómica	ppm	17,84
		Cobre	Absorción atómica	ppm	4,40
Zinc	Absorción atómica	ppm	25,14		

**Analizado por:** Daniel Bedoya, Katty Pastás, Luis Cacuango

### **Observaciones:**

- El cliente entrega muestra seca y triturada.

  
  
**Ing. Rubel Jaramillo**  
**Responsable de Laboratorio**  
**Suelos, Foliar y Aguas**

## ANEXO E. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DE LA MUESTRA FINAL

 <b>AGROCALIDAD</b> AGENCIA ECUATORIANA DE ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AGRO	<b>LABORATORIO DE CALIDAD DE FERTILIZANTES</b> Vía Interoceánica Km. 14½ y Eloy Alfaro, Granja del MAGAP, Tumbaco - Quito Teléf.: 02-2372-842/2372-844/2372-845	<b>PGT/F/09-FO01</b>
	<b>INFORME DE ANÁLISIS</b>	<b>Rev. 3</b>  <b>Hoja 1 de 1</b>

Informe número: LN-F-E17-0693  
 Fecha emisión informe: 27-04-2017

**DATOS DEL CLIENTE**

Persona o Empresa solicitante: Ma. José Machado  
 Dirección: Tarqui y la 35  
 Provincia: Chimborazo      Cantón: Riobamba

Teléfono: 098252501  
 Correo Electrónico: pepa14dejelico@yahoo.es  
 N° Orden de Trabajo: 06-2017-16  
 N° Factura/Documento: 009-001-2772

**DATOS DE LA MUESTRA:**

Tipo de muestra: Fertilizante solido orgánico	Conservación de la muestra: Envase apropiado
Lote: ---	Tipo de envase: funda plástica
Provincia: Chimborazo	X: ---
Cantón: Riobamba	Y: ---
Parroquia: Lizarzaburo	Altitud: --
Muestreado por: Ma. José Machado	
Fecha de muestreo: ---	Fecha de inicio de análisis: 19/04/2017
Fecha de recepción de la muestra: 17/04/2017	Fecha de finalización de análisis: 26/04/2017

**RESULTADOS DEL ANÁLISIS**

CÓDIGO DE MUESTRA LABORATORIO	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO DE LA MUESTRA	PARÁMETROS ANALIZADOS	MÉTODO	UNIDAD	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN (FICHA TÉCNICA)
F170661	M1	NT	PEE/F/14	%	2.26	---
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> *	PEE/F/04	%	1.6613	---
		K <sub>2</sub> O*	PEE/F/19	%	2.9132	---

\*: Resultado obtenido por cálculo  
 NT = Nitrógeno Total, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = Fósforo, K<sub>2</sub>O = Potasio

**Analizado Por:** Ing. Melissa Rea, Ing. Cristina Flores, Ing. Wilson Castro  
**Observaciones:** Los resultados esta expresados en %ppp

**Anexo Gráficos:** ---  
**Anexo Documentos:** ---



**Ing. Wilson Castro**  
**Responsable Técnico Laboratorio**  
**de Calidad de Fertilizantes**

Nota: El resultado corresponde únicamente a la muestra entregada por el cliente en esta fecha

## ANEXO F. RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS VEGETALES Y DE PODA

a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Recolección de la muestra.
- b) Recepción de materia prima de origen orgánico vegetal.
- c) Muestra previa para análisis.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE  
CHIMBORAZO  
FACULTAD DE CIENCIAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
REALIZADO POR:  
CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ**

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA  
ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	I

## ANEXO G. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS DE LA MUESTRA EN LABORATORIOS DE LA ESPOCH

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA <b>REALIZADO POR:</b> CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ	REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST												
<p>a) Secado de las muestras.</p> <p>b) Determinación de humedad de la muestras.</p> <p>c) Determinación de materia orgánica de las muestras.</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; border: 1px solid black; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR		<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	<b>LÁMINA</b>
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO														
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO														
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR														
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR														
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR														
			1:1	11/04/2017	2										

## ANEXO H. ELABORACIÓN DEL PRIMER REACTOR PROTOTIPO EXPERIMENTAL METALICO

a)



b)



c)



### NOTAS

a) Vista interna del reactor metálico experimental.

b) Reactores experimentales metálicos.

c) Residuos dentro del reactor.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	3

## ANEXO I. REACTOR PROTOTIPO EXPERIMENTAL EN TANQUE PLÁSTICO

a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Parte lateral de reactor experimental.
- b) Parte interna del reactor experimental.
- c) Parte frontal del reactor experimental.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	4

**ANEXO J. ELABORACIÓN DEL COMPOST EN EL REACTOR**

a)



b)



c)



**NOTAS**

- a) Trituración de la materia prima.
- b) Homogenización previa de la pila.
- c) Introducción del material dentro del reactor.

**CATEGORIA DEL DIAGRAMA**

- CERTIFICADO
- APROBADO
- POR APROBAR
- POR CALIFICAR
- POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	5

## ANEXO K. MONITOREO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

a)



b)



c)



NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA REALIZADO POR: CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ	REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST												
<p><b>a)</b> Homogenización dentro del reactor experimental.</p> <p><b>b,c)</b> Monitoreo de la temperatura .</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; border: 1px solid black; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border: 1px solid black; text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border: 1px solid black; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border: 1px solid black; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="width: 20px; border: 1px solid black; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR		<b>ESCALA</b>	<b>FECHA</b>	<b>LÁMINA</b>
		<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO												
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO														
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR														
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR														
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR														
1:1	11/04/2017	6													

## ANEXO L. OBTENCIÓN DEL COMPOST

a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Extracción del material.
- b) Maduración del compost.
- c) Compost seco y maduro.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	7

## ANEXO M. MOLIENDA DEL COMPOST FINAL

a)



b)



c)



<p><b>NOTAS</b></p> <p>a) Almacenamiento del compost.                  b) Molienda del compost.                  c) Compost final, molido.</p>	<p><b>CATEGORIA DEL DIAGRAMA</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>CERTIFICADO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input checked="" type="checkbox"/></td> <td>APROBADO</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR APROBAR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR CALIFICAR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"><input type="checkbox"/></td> <td>POR VERIFICAR</td> </tr> </table>	<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO	<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO	<input type="checkbox"/>	POR APROBAR	<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR	<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>  <b>REALIZADO POR:</b>                  CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO                  MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ</p>	<p style="text-align: center;">REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST</p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 25%;">ESCALA</th> <th style="width: 25%;">FECHA</th> <th style="width: 25%;">LÁMINA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1:1</td> <td style="text-align: center;">11/04/2017</td> <td style="text-align: center;">8</td> </tr> </tbody> </table>	ESCALA	FECHA	LÁMINA	1:1	11/04/2017	8
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO																		
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO																		
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR																		
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR																		
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR																		
ESCALA	FECHA	LÁMINA																	
1:1	11/04/2017	8																	

## ANEXO N. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS Y PROCESO DE COMPOSTAJE

a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Secador de bandejas.
- b) Estufa.
- c) Mufla

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	9

## ANEXO O. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS Y PROCESO DE COMPOSTAJE

a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Balanza analítica
- b) Molino.
- c) Desecador.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	10

## ANEXOS P. EQUIPOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS Y PROCESO DE COMPOSTAJE

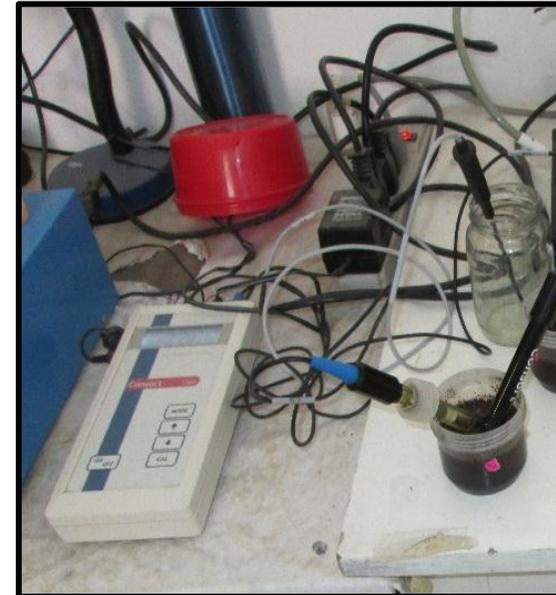
a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Trituradora.
- b) Medidor de pH.
- c) Medidor de conductividad eléctrica.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

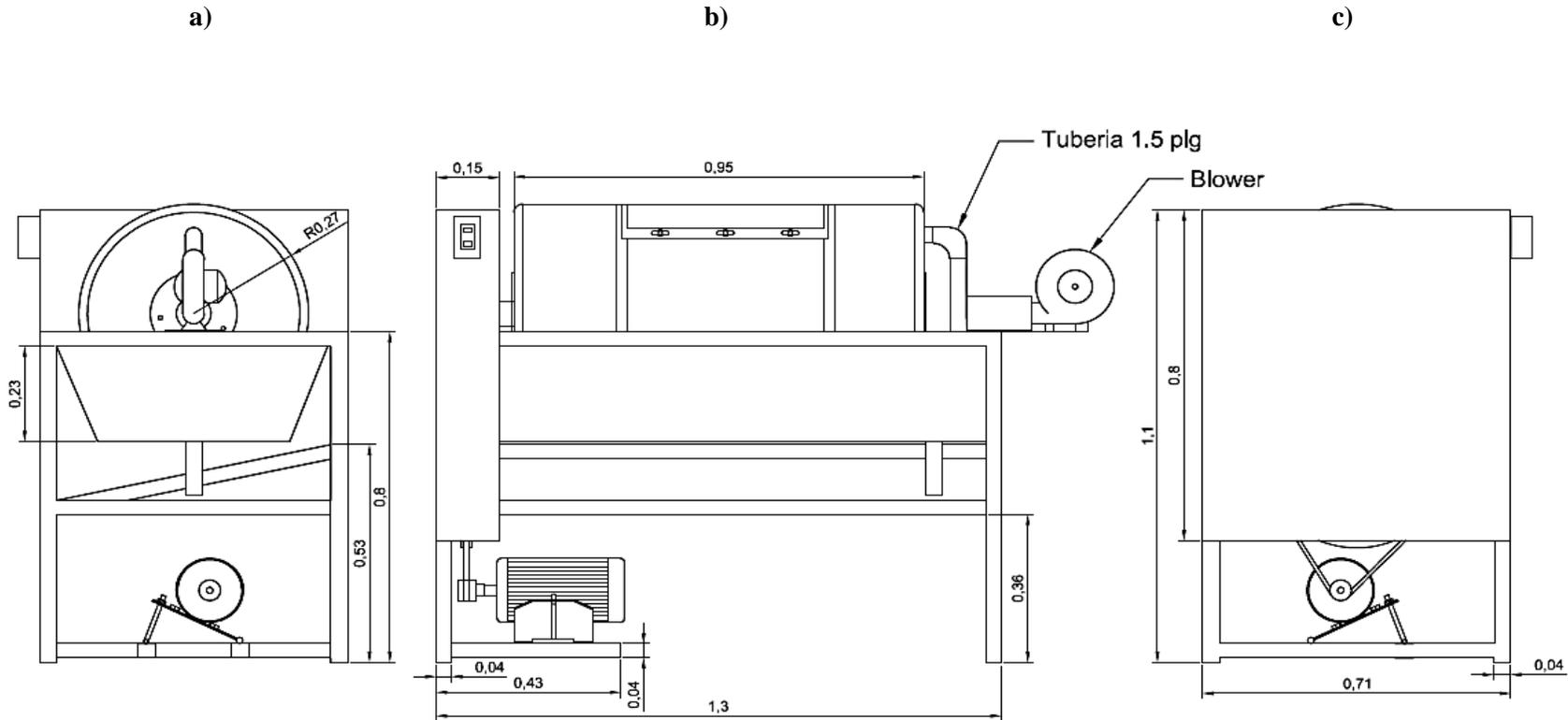
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	11

## ANEXO Q. PLANOS DEL REACTOR PROTOTIPO DE COMPOST



### NOTAS

- a) Vista lateral derecha del reactor.
- b) Vista frontal del reactor.
- c) Vista lateral izquierda del reactor.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

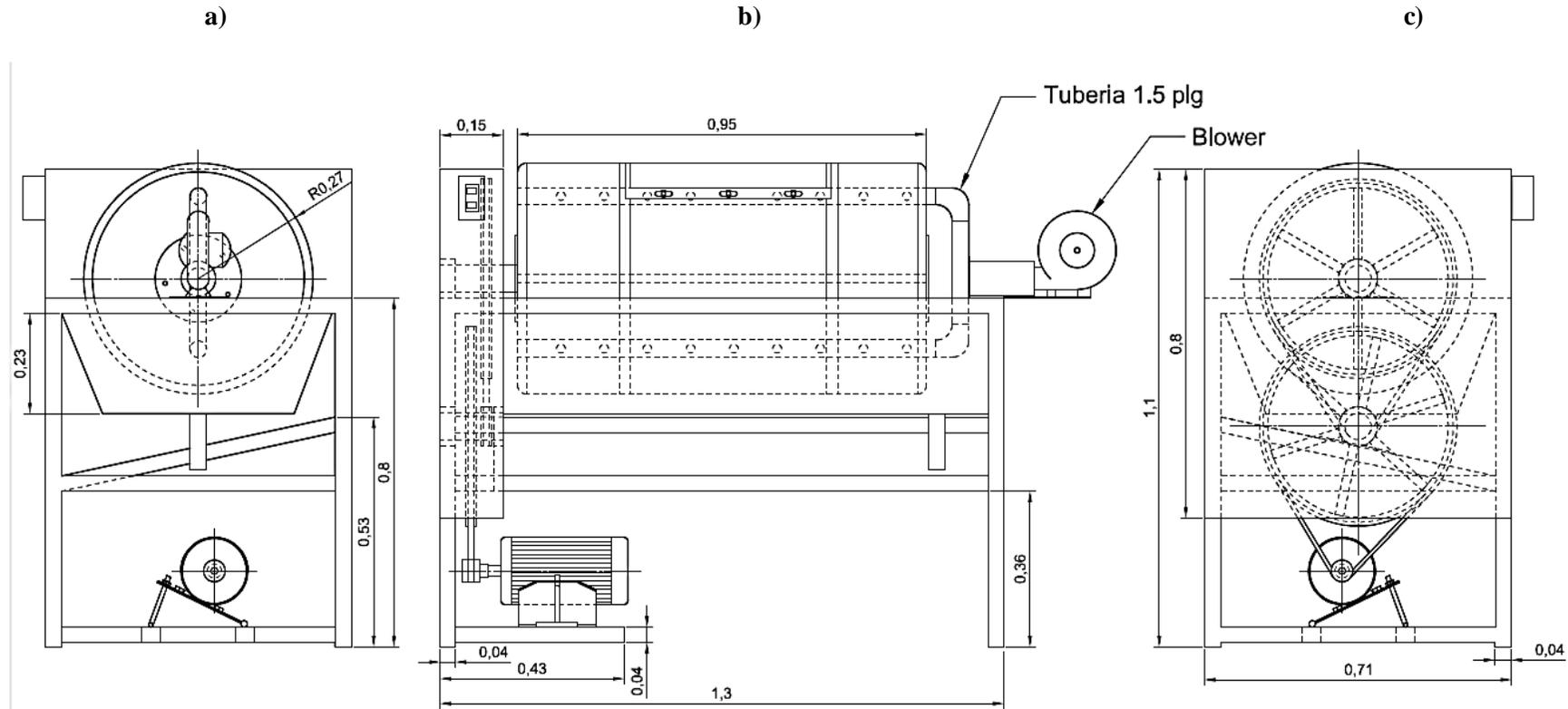
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	12

## ANEXOS R. PLANOS DE VISTAS OCULTAS INTERNAS DEL REACTOR



### NOTAS

- a) Vista oculta interna de la parte lateral derecha.
- b) Vista oculta interna de la parte frontal.
- c) Vista oculta interna de la parte lateral izquierda.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

□	CERTIFICADO
X	APROBADO
□	POR APROBAR
□	POR CALIFICAR
□	POR VERIFICAR

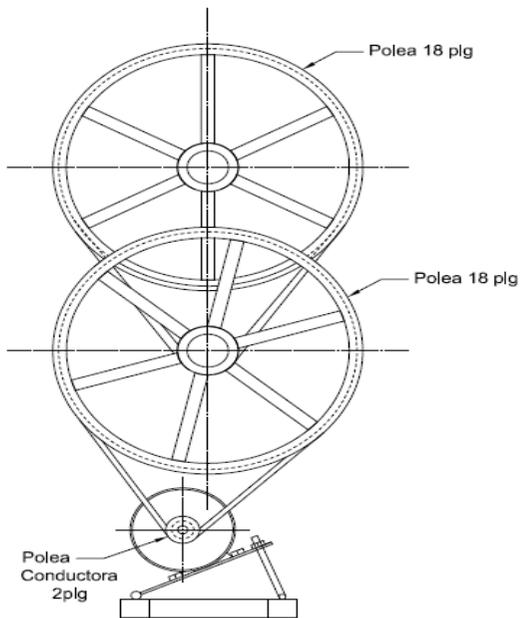
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

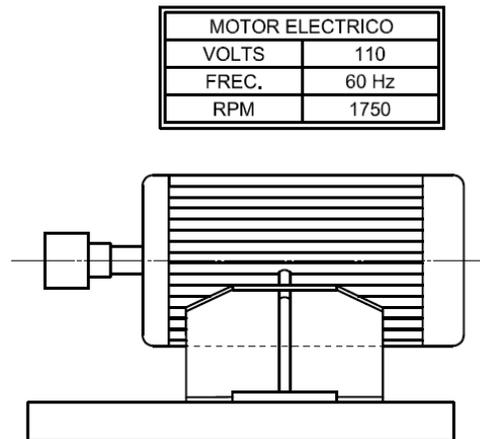
ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	13

## ANEXO S. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DEL REACTOR

a)



b)



c)

DATOS	
RELACION DE VELOCIDADES	
V o	1750 rpm
V 1	194.44 rpm
V 2	27 rpm
POLEAS CONDUCIDAS	
Ø	18 plg
Ancho	2.5 cm
Espesor	2 cm
POLEA CONDUCTORA	
Ø	2 plg
Ancho	2.5 cm
BANDAS	
Ancho	1.3 cm
Espesor	2.5 cm

### NOTAS

- a) Sistema de poleas del reactor.
- b) Motor y especificaciones.
- c) Datos del sistema de transmisión.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

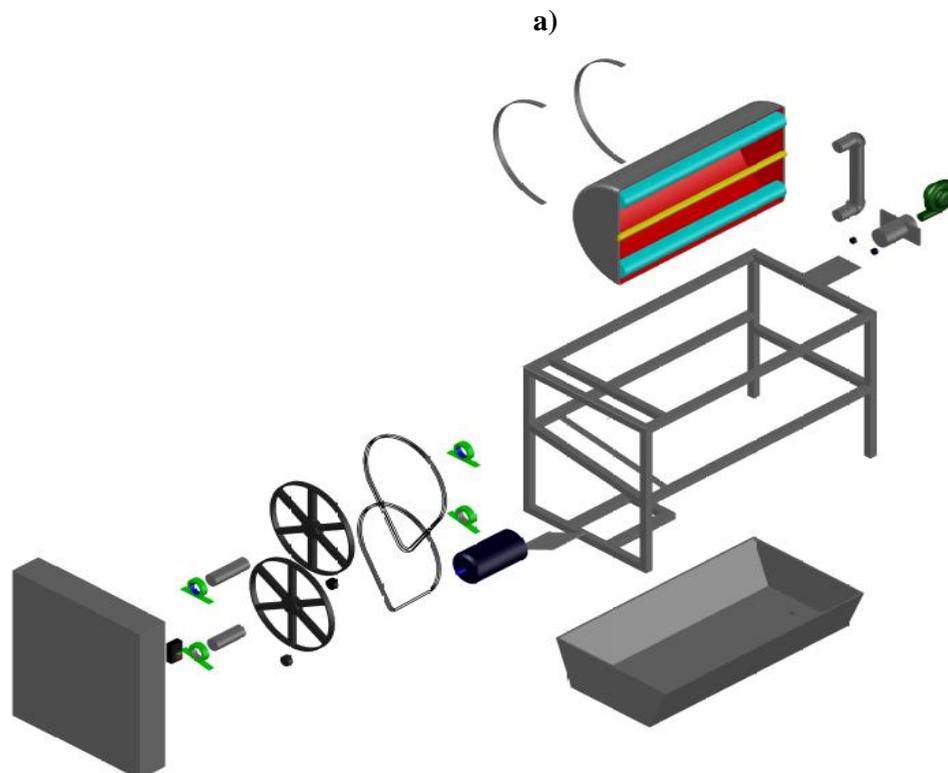
<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	14

## ANEXOS T. PLANO DEL DESPIECE DEL REACTOR



### NOTAS

a) Despiece del reactor

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

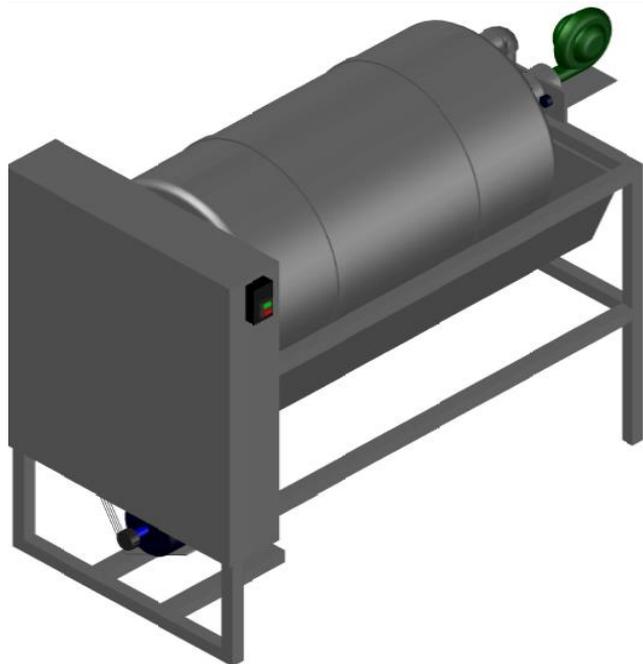
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA  
 ELABORAR COMPOST

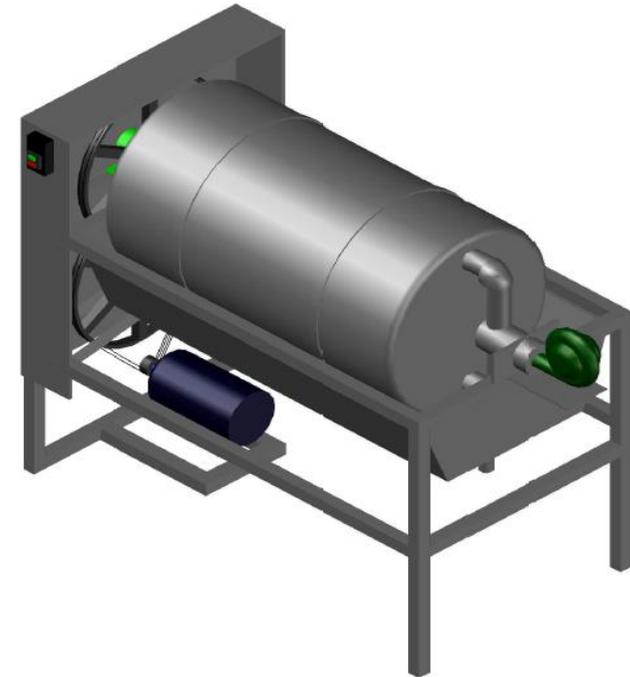
ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	15

## ANEXO U. PLANOS DEL REACTOR PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

a)



b)



### NOTAS

a) Vista isométrica de la parte lateral izquierda del reactor en 3D.  
 b) Vista isométrica de la parte lateral derecha del reactor en 3D.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

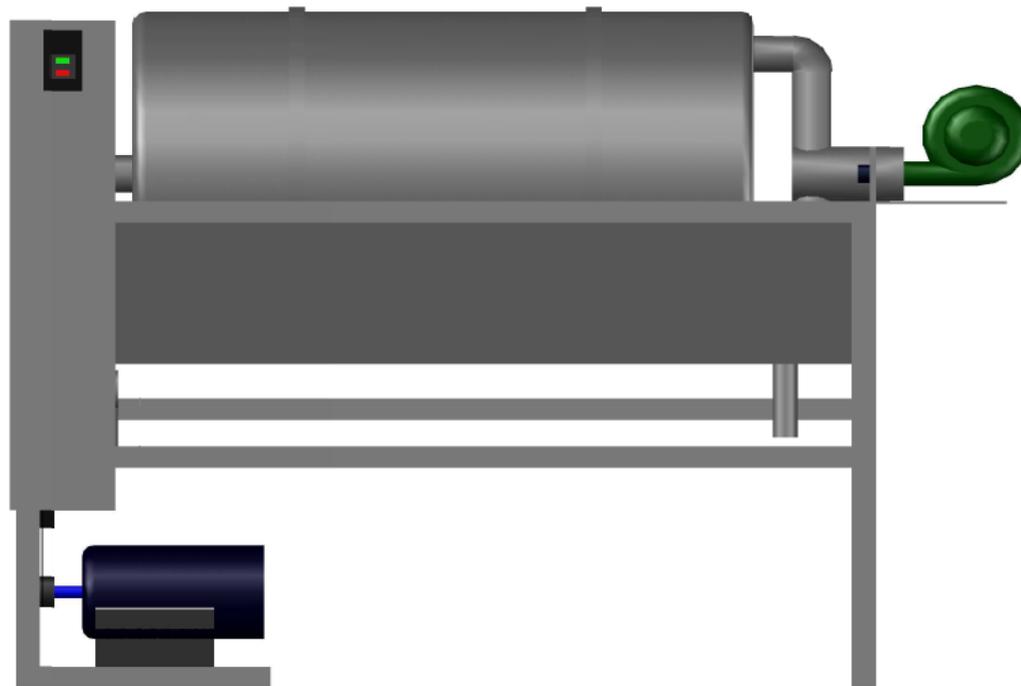
**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	16

## ANEXO V. PLANOS DEL REACTOR PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

a)



b)



### NOTAS

- a) Vista frontal del reactor en 3D  
b) Reactor batch prototipo final

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	11/04/2017	17

## ANEXO W. VALIDACIÓN DEL REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Trituración de los residuos vegetales
- b) Eliminación de impurezas de los residuos de poda.
- c) Homogenización del material.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	10/05/2017	18

## ANEXO X. VALIDACIÓN DE EL REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

a)



b)



c)



### NOTAS

- a) Materia prima lista para ser introducida en el reactor.
- b) Introducción del material en el reactor.
- c) Monitoreo de la temperatura diariamente.

### CATEGORIA DEL DIAGRAMA

<input type="checkbox"/>	CERTIFICADO
<input checked="" type="checkbox"/>	APROBADO
<input type="checkbox"/>	POR APROBAR
<input type="checkbox"/>	POR CALIFICAR
<input type="checkbox"/>	POR VERIFICAR

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**  
**REALIZADO POR:**  
 CORNEJO SORIA CRISTIAN SANTIAGO  
 MACHADO GONZAGA MARÍA JOSÉ

REACTOR BATCH PROTOTIPO PARA ELABORAR COMPOST

ESCALA	FECHA	LÁMINA
1:1	10/05/2017	19

