



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS
RESIDUALES PARA EL GOBIERNO AUTÓNOMO
DESENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA**

TRABAJO DE TITULACIÓN
TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA QUÍMICA

AUTORA: CRUZ ZHOU KATTY PAOLA.

TUTOR: ING. MAYRA PAOLA ZAMBRANO VINUEZA

RIOBAMBA – ECUADOR

2019

©2019, Katty Paola Cruz Zhou.

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo Técnico “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS RESIDUALES PARA EL GOBIERNO AUTÓNOMO DESENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA.**” de responsabilidad de la señorita egresada Katty Paola Cruz Zhou, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizado su presencia.

FIRMA

FECHA

Ing. Mayra Paola Zambrano Vinueza

**DIRECTOR DEL
TRABAJO DE TITULACION**



11 - Abril - 2019

Ing. Cesar Arturo Puente Guijarro

MIEMBRO DEL TRIBUNAL



11 - Abril - 2019

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Katty Paola Cruz Zhou declaro que el presente trabajo de titulación es de mi 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 autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 04 de abril del 2019



Katty Cruz
CI. 060399738-8

Yo, Katty Paola Cruz Zhou soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación de Grado, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Katty Paola Cruz Zhou

DEDICATORIA

Este trabajo tan arduo es con mucho cariño para las personas mas importantes de mi vida, mis padres, Eduardo Cruz y Sumiao Zhou, a mis hermanos, Susan, Belen y Eduardo Jr y a mi familia, Pablo y a pequeña hija Danna Victoria, que todos han sido los ejes fundamentales para continuar este gran proceso, después de una caída han sido mi apoyo incondicional a pesar de las circunstancias, ha saber que una meta bien definida se la puede lograr aunque el camino que debio haberse tomado sea distinto porque no importa la distancia y las dificultades si la convicción de ha donde quiero llegar es fija. Con infinito amor.

Katty

AGRADECIMIENTO

El mas sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, al Alma Mater que me ha abierto sus puertas para ser lo que hoy en hoy soy. A mis tutores, que con gran amor, paciencia y dedicación supieron guiarme en este trabajo tan largo. A mis amigos que de una u otra forma estuvieron apoyandome en cuando dificultades se me presentaban. A Pablo ya que sin El, este proceso tal vez no hubiese concluido. A la niña de mis ojos, que con su inmesa alegría y locuras inundaba mis días mas oscuros con tan solo una travesura. A mis hermanos, Susan, Belen y Junior, por sus palabras de aliento, por los días sin dormir, por las emociones propias de hermanos, por ser los mejores amigos mas cercanos que tengo. A mis padres, que con su innfinito amor me heredaron el estudio, buenos consejos, mucho amor al trabajo, fuerza en momentos dificiles, animos de seguir en momentos gratos, este es uno de los frutos que hoy consechan, no encuentro las palabras para agradecer todo lo que hacen por mi. A Dios, que me ha bendecido con tanto. Pues finalmente no me queda mas que decir un “Dios le pague”

Katty

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
CAPITULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Identificación del problema.....	2
1.2 Marco Teórico Referencial	2
<i>1.2.1 Antecedentes de la Investigación.</i>	<i>2</i>
1.3 Bases teóricas.	3
<i>1.3.1 Agua Residual.....</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2 Características del agua residual.</i>	<i>4</i>
<i>1.3.3 Tipos de agua residual.....</i>	<i>4</i>
<i>1.3.4 Subproductos en el tratamiento de aguas residuales</i>	<i>4</i>
<i>1.3.5 Lodo residual.....</i>	<i>5</i>
<i>1.3.6 Compostaje</i>	<i>9</i>
<i>1.3.7 Variables del proceso.....</i>	<i>11</i>
CAPITULO II	19
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 Objetivo general.....	19
2.2 Objetivos específicos.	19
CAPITULO III.....	20
3 ESTUDIO TÉCNICO	20
3.1 Localización del proyecto	20

3.1.1	<i>Localización geográfica</i>	20
3.1.2	<i>Micro Localización</i>	20
3.1.3	<i>Datos generales del cantón Colta</i>	21
3.2	Ingeniería del proyecto	21
3.2.1	<i>Fases del Proyecto</i>	21
3.2.2	<i>Materia prima a utilizar</i>	23
3.2.3	<i>Recepción y almacenamiento de materiales</i>	24
3.2.4	<i>Criterios de diseño</i>	25
3.2.5	<i>Métodos, técnicas e instrumentos</i>	65
3.2.6	<i>Evaluación de variables de control</i>	67
3.2.7	<i>Validación del proceso de obtención de compost</i>	70
3.2.8	<i>Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria</i>	73
3.3	RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSION	75
3.3.1	<i>Localización de la experimentación</i>	75
3.3.2	<i>Lugar del muestreo</i>	75
3.3.3	<i>Análisis de datos</i>	76
3.4	Discusión de resultados de análisis de laboratorio	90
3.5	Aplicación del compost	91
3.6	Costos	92
	CONCLUSIONES	95
	RECOMENDACIONES	96
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Composición física y química típica de un lodo residual.	5
Tabla 1-2	Principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales.	9
Tabla 1-3	Características de la aireación.	12
Tabla 1-4	Control de la aireación.	12
Tabla 1-5	Características de la humedad.	13
Tabla 1-6	Parámetros de humedad óptimos.	13
Tabla 1-7	Parámetros de temperatura óptimos	14
Tabla 1-8	Parámetros de pH óptimos.	15
Tabla 1-9	Principios de la relación carbono/nitrógeno.	16
Tabla 1-10	Control del tamaño de partícula.	17
Tabla 1-11	Características de las pilas.....	17
Tabla 1-12	Parámetros del compostaje.....	18
Tabla 3-1	Localización geográfica del proyecto.....	20
Tabla 3-2	Criterios de diseño	25
Tabla 3-3	Parámetros a considerar en la planta	25
Tabla 3-4	Características de las premezclas creadas en la etapa de pretratamiento	26
Tabla 3-5	Tipo de alimentación.....	27
Tabla 3-6	Valores de longitud en función del diámetro.....	30
Tabla 3-7	Parámetros de control en la etapa de descomposición.....	58
Tabla 3-8	Cálculo de densidad de lodos PTAR “Villa la Unión”	59
Tabla 3-9	Instrumentos durante el muestreo.....	65
Tabla 3-10	Recolección de materias primas para compost (lodos residuales).	66
Tabla 3-11	Instrumentos para la pila de compostaje.....	67
Tabla 3-12	Requisitos Microbiológicos.....	70
Tabla 3-13	Contenido de Nutrientes.....	70
Tabla 3-14	Concentraciones máximas de metales pesados en compost producidos en base a lodos.....	71
Tabla 3-15	Equipos y maquinaria.....	73
Tabla 3-16	Valores de los parámetros físicos- químicos reportados en la biopila para la obtención de compost.....	76
Tabla 3-17	Valores de los parámetros físicos- químicos reportados en la biopila blanco	82
Tabla 3-18	Costo de equipos y maquinarias para el compostaje.....	93
Tabla 3-20	Detalle de costos relacionados al producto.....	93
Tabla 3-22	Depreciación	94

INDICE DE FIGURAS

Figura 3-1	Microlocalización	20
Figura 3-2	Etapas y operaciones en el compostaje.	23
Figura 3-3	Diagrama del recipiente de la mezcladora	28
Figura 3-4	Diagrama del eje central d la mezcladora	28
Figura 3-5	Diagrama de la cinta mezcladora	29
Figura 3-6	Las propiedades mecánicas porcentajes de los elementos aleantes.	29
Figura 3-7	Ubicación de las cintas de mezclado y el producto dentro del recipiente.....	31
Figura 3-8	Diagrama de fuerzas del eje, propio peso.	37
Figura 3-9	Diagrama de fuerza del eje peso de las cintas.	41
Figura 3-10	Círculo de Mohr	46
Figura 3-11	Estado ele esfuerzos para un cilindro de pared delgada.	49
Figura 3-12	Diagrama de fuerzas para la barra soporte de las cintas	53
Figura 3-13	Diseño de pilas de compost	60
Figura 3-14	Balace de masas en el compostaje	63
Figura 3-15	Secado	64
Figura 3-16	Cribado	64
Figura 3-17	Ubicación PTAR GADM_COLTA	76

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1	Resultado temperatura biopila.....	79
Gráfico 3-2	Resultado pH biopila.....	80
Gráfico 3-3	Resultado conductividad eléctrica biopila.....	80
Gráfico 3-4	Resultado humedad biopila.....	81
Gráfico 3-5	Resultado relacion C/N biopila.....	82
Gráfico 3-6	Resultado temperatura biopila blanco.....	85
Gráfico 3-7	Resultado pH biopila blanco.....	86
Gráfico 3-8	Resultado humedad biopila blanco.....	87
Gráfico 3-9	Resultado relacion carbono nitrógeno biopila blanco.....	88

INDICE DE ANEXOS

- Anexo A** Esquema general del sistema de tratamiento
- Anexo B** Diseño de la mezcladora
- Anexo C** Análisis preliminares de metales pesados
- Anexo D** Montaje de la pila de compostaje
- Anexo E** Medición de parámetros en el laboratorio
- Anexo F** pH y Salinidad
- Anexo G** Temperatura in-situ
- Anexo H** Resultados de análisis de compost

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue realizar el diseño de un aprovechamiento de lodos residuales para el Gobierno Autonomo Descentralizado del Cantón Colta, mediante un sistema de compostaje. Para ello, se realizo un diagnostico previo de los lodos residuales, consecuentemente el trabajo se dividió en varias etapas como son la recepción y almacenamiento de la materia prima, trituración de los desechos orgánicos y material de soporte, mezclado y homogenización de los lodos con la materia prima, etapa de descomposición, etapa de maduración, post tratamiento, almacenamiento del compost y finalmente operaciones complementarias. Durante el proceso se mantuvo tres variables de control, temperatura, pH y humedad. Al cabo de 90 días se obtuvo un compost de clase B según la Norma chilena NCH2882.C2003. Entre los resultados mas relevantes son la ausencia de Coliformes fecales y Ausencia EN 25 mg de Samollena, Nitrogeno Total igual a 0,93%, Nitrogeno Anomical igual a 51,9 mg/L y 25% de materia orgánica. Tras este estudio se comprobo que los lodos tienen gran carga bacteriana capaz de descomponer materia organica menor tiempo que un sistema de compost. Se evaluo las características fisico quimico y microbiologica del compost dando cumplimiento a la Norma Chilema NCH2882.C2003. Se recomienda utilizar fuentes de carbono accesibles como los residuos organicos de los mercados con el fin de minimizar la contaminación, reciclar y economizar recursos.

Palabras claves:

<INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES>, <LADOS RESIDUALES>, <COMPOSTAJE>, <COMPOST>, <MICROORGANISMOS>, <RESIDUOS ORGANICO>



ABSTRACT

The objective of the present work was to perform the desing of residual sludges' harnessing for the Autonomous Decentralized Government of Colta Canton, through a composting system. To this, it was done a residual sludge' previous diagnostic, consequently, the work was divided in several stages like reception and storage of raw material, crushing of organiic wastes and supporting material, mixing and sludges' homogenization with raw material, decomposition stage, maturity stage, post- treatment, compost storage, and finally complementary operations. During the process it was kept three control variables, temperature, pH, and moisture. After 90 days a class B compost was obtained according to the Chiliaan Standard NCH2882.C2003. Among the most remarkable results are fecal coliforms absence and salmonella absence in 25 mg, Total Nitrogen= 0,93%, Anomical Nitrogen=51,9 mg/L and 25% of organic matter. Following this sstudy it was proved that sludges have a great bacterial load able to descompose organic matter, less time than a compost system. It was evaluated the physico-chemical and microbiological characteristic of compost in compliace with the Chilean Standard NC8822003. It recommeded to use accessible carbon sources such as organic waste from markets in order to minimize pollution, recycle and economize resources.

Key words:

<ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY>, <WASTEWATER TREATMENT>, <WASTE SLUDGES>, <COMPOSTING>, <COMPOST>, <MICROORGANISMS>, <ORGANICWASTE>



CAPITULO I

1 INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales es un conjunto de acciones de ingeniería que involucran tanto procesos como operaciones de carácter físico, químico y biológico, que son necesarias para la mitigación del impacto ambiental producido por las descargas en cuerpos de agua dulce o sistemas de alcantarillado de aguas residuales generadas a partir de actividades domésticas, comerciales o industriales (Osejos, y otros, 2017).

El procesamiento de las aguas residuales se realiza en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que están gestionadas en las diferentes ciudades del país por Empresas Públicas (Empresas Municipales de Agua Potable y Alcantarillado (EP-EMAPA).(Fernández, 2015) .

El tratamiento del agua residual genera un impacto ambiental positivo y negativo sobre el recurso agua, suelo y aire. (RAMALHO, 1996, p. 26) El impacto ambiental positivo hace referencia a la recuperación de la calidad ambiental del recurso agua mediante la mitigación o remoción de la carga contaminante presente permitiendo la reutilización o su vertimiento directo en cuerpos de agua dulce y/o sistemas de alcantarillado (Osejos, y otros, 2017). Por el contrario, el impacto ambiental negativo ocurre por los subproductos generados durante el tratamiento de estas aguas, es decir, está relacionado directamente con el hecho de que únicamente se mitigue este impacto en la materia prima (agua residual), olvidando parcial o totalmente el tratamiento que deben recibir los subproductos generados a partir de esta materia prima (Osejos, y otros, 2017). Por ejemplo, el recurso aire se puede ver afectado negativamente por la emisión de gases nocivos producidos por la actividad biológica de los microorganismos aerobios utilizados en estos procesos de depuración. El uso de estos microorganismos requiere la utilización de sistemas abiertos que satisfagan su demanda de oxígeno, por lo que los gases generados son liberados sin control (Ortiz, 2017). A su vez el recurso suelo puede verse afectado negativamente si los lodos residuales generados en el proceso son liberados al medio sin previo tratamiento.

Estos lodos pueden presentar una alta concentración de sustancias químicas, de organismos patógenos y de materia orgánica, razón por la cual pueden ser altamente contaminantes. El hecho de presentar una alta carga de materia orgánica lo hace susceptible de ser reutilizado para actividades agrícolas como bioabono, pero para poder darles este uso antes deben ser tratados

para eliminar tanto los organismos patógenos como aquellas sustancias químicas que puedan ser perjudiciales para el ambiente y/o para las personas (Gil, y otros, 2012).

Los lodos residuales generados a partir de sus fosas sépticas y de sus filtros biológicos de flujo ascendente, son depositados en dos lechos de secado donde sufren un proceso de deshidratación natural por efecto de la presión atmosférica y de la temperatura ambiente como único tratamiento. Se considera que este tratamiento es insuficiente y no aprovecha de ninguna manera el uso potencial que posee este lodo residual para la obtención de bioabono (Gil, y otros, 2012).

1.1 Identificación del problema

El GAD Municipal del Cantón Colta actualmente cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales “Villa La Unión”, los cuales producen una cantidad de aproximadamente $1,5 m^3$ anuales de material sedimentable derivados uno de los procesos del tratamiento de las aguas residuales (Públicas, 2014), las mismas que son desalojadas en un botadero a condiciones abiertas donde factores climáticos, como las aguas lluvia, o aguas superficiales generan lixiviados, estos fluidos contaminados se filtran por las arenas del botadero anteriormente mencionado llevando consigo agentes nocivos para el sector agrícola, ganadero y plantaciones, como también para el posterior tratamiento de agua potable para el consumo humano.

Con ello el presente proyecto plantea un tratamiento correctivo de todo el material sólido recuperado mediante la formación de composta con material orgánico que será recogido del mercado municipal del mismo cantón.

1.2 Marco Teórico Referencial

1.2.1 Antecedentes de la Investigación.

El progresivo interés de mejorar la calidad ambiental de las aguas residuales ha generado una creciente demanda de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en el país. Estas plantas de tratamiento están concebidas para mitigar el impacto ambiental generado por la presencia de agentes contaminantes en las aguas residuales ya sean estas domésticas y/o industriales. Sin embargo, su actividad también puede constituir un problema legal, ambiental y económico cuando los lodos residuales, que son generados no reciben un tratamiento adecuado antes de su disposición final. De esta manera incumplirían la normativa ambiental al ser

descargados de forma directa a cuerpos de agua, sistemas de alcantarillado o rellenos sanitarios afectando al ambiente y ocasionando que la PTAR reciba una sanción de las entidades de regulación ambiental relacionados al manejo y disposición de estos desechos sólidos.

El suelo es un ecosistema capaz de degradar residuos y reciclar elementos nutritivos a través de los vegetales, siempre que no se abuse de su poder depurador. Este subproducto presenta una alta carga de materia orgánica y de otros elementos beneficiosos para el crecimiento de la plantas, propicia que este sea susceptible de ser utilizado en actividades agrícolas como abono orgánico, por lo que si se establece un adecuado tratamiento para la eliminación de la carga contaminante, podría representar una potencial fuente de ingresos para la empresa. Al darle un valor agregado a este producto de desecho, también se está evitando el consumo de recursos por el traslado del lodo residual al relleno sanitario actividad que no reporta ningún beneficio económico y de igual forma para evitar que la aplicación agrícola de lodos se convierta simplemente en un vertido encubierto que pueda generar: problemas en los cultivos y dispersión de nutrientes (en exceso) y de contaminantes en el entorno, es necesario fijar las condiciones de aplicación, realizando un trabajo coordinado e interdisciplinario.

En la PTAR “Villa La Unión”, el único tratamiento que emplean para los lodos residuales es la deshidratación natural, llevada a cabo en estructuras cubicas descubiertas con pendiente y canales filtrantes, llamados lechos de secado. Este tratamiento o es totalmente eficaz, ya que la carga contaminante disminuye únicamente en la capa superficial al reducir el contenido de humedad. A pesar de conseguir una disminución del volumen de este lodo para facilitar su manipulación, no se garantiza una eliminación adecuada de su carga contaminante, por lo que su descarga al medio podría representar un problema legal y por lo tanto económico, incluso el de que se realice la disposición final adecuada en el relleno sanitario.

1.3 Bases teóricas.

1.3.1 Agua Residual.

Las aguas residuales son una mezcla compleja de residuos orgánicos e inorgánicos, generada por una población, la cual es transportada por un sistema de alcantarillado u otro tipo de sistema (Osejos, y otros, 2017).

1.3.2 Características del agua residual.

Las aguas residuales urbanas tienen una constitución más o menos uniforme, que facilita los procesos de tratamiento, y las distingue visiblemente de las aguas residuales industriales, cuya variedad en muchos casos es indescriptible. Tres grupos de caracteres se pueden tener en cuenta para los diferentes componentes del agua: Físicos, Químicos y Biológicos (CHALÁQUIMIS, 2015)

1.3.3 Tipos de agua residual

El tipo de agua residual está relacionado con la fuente de origen así como también de su composición física, química y biológica (González, y otros, 2008).

Los tipos de agua residual son:

- **Agua residual doméstica o Urbana**

El agua residual doméstica o urbana es procedente de los domicilios de la población, producto de las actividades diarias que generalmente cumplen como por ejemplo lavar, cocinar, etc. Su composición en este tipo de agua es diversa ya que ninguno de los hábitos de las poblaciones es realizada por igual, presentando un alto contenido de materia orgánica, grasas y detergentes (Ortiz, 2017).

- **Agua residual industrial**

El agua residual industrial es generada por los diversos procesos o actividades industriales, cuya composición y carga contaminante varía según la empresa o industria (Sánchez, 2016).

1.3.4 Subproductos en el tratamiento de aguas residuales

Las plantas de tratamiento de aguas residuales tratan un gran volumen de agua como producto de las diversas actividades que realiza el hombre; como principal subproducto que se generan en el tratamiento de estas aguas residuales son los lodos, los cuáles poseen una cierta concentración de contaminantes que la propia agua (Molina, y otros, 2006).

1.3.5 Lodo residual

Los lodos residuales son sólidos almacenados y separados de los líquidos (agua residual), considerados como el subproducto de mayor escala debido a la gran cantidad en la que estos son generados (Molina, y otros, 2006).

Características y composición del lodo residual

Las características que se deben considerar en los lodos residuales son:

- **Características físicas:** conductividad eléctrica, humedad.
- **Características químicas:** potencial hidrógeno, nitrógeno orgánico, materia orgánica, calcio, fósforo, potasio, relación Carbono: Nitrógeno.
- **Características biológicas:** microorganismos patógenos (bacterias) (Merchan, 2016).

Dicha composición está relacionada directamente con su origen y el tipo de tratamiento que ha recibido (Merchan, 2016).

Antes de saber cuál sería su disposición final es necesario evaluar los componentes contaminantes. En la Tabla 1-1 se resume la composición típica presente en estos lodos, debiendo considerarse tanto el tratamiento del mismo como el del líquido separado durante el procesamiento.

Tabla 1-1: Composición física y química típica de un lodo residual.

Concepto	Unidad	Lodo
Sólidos secos totales	%	2-8
Sólidos Volátiles	% ST	60-80
Proteína	% ST	20-30
Nitrógeno (N)	% ST	1.5-4
Fosforo (P ₂ O ₅)	% ST	0.8 – 2.8
Potasio (K ₂ O)	% ST	0 – 1
pH	u. pH	5 -8
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	500 – 1500
Ácidos Orgánicos	mg HAc /L	200 – 2000
Contenido energético	MJST/Kg	23000 – 29000

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1996).

Características físicas

- **Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica se define como la “habilidad de una solución acuosa para transportar corriente eléctrica”, es decir, es una manera de medir la presencia de sales en solución (Aponte, 2016).

- **Humedad**

La humedad o contenido de humedad, es la relación referida como porcentaje del peso de agua en una masa dada de suelo, es decir, al peso de las partículas sólidas (Aponte, 2016).

Características químicas

- **Potencial hidrógeno (pH)**

El potencial hidrógeno (pH) del lodo influye en la solubilidad de los metales, en la acción biológica del lodo, así como también en la alcalinidad del suelo (Aponte, 2016).

Así:

- ✓ **pH básico (> 11.5):** elimina bacterias.
- ✓ **pH ácido (< 8.6):** ayuda a que los metales pesados queden fuera de la solución del suelo limitando su disponibilidad para ser absorbidos por las raíces de las plantas.
- ✓ **pH neutro:** inmoviliza metales pesados (Aponte, 2016).

- **Materia orgánica**

La materia orgánica en el lodo es vital ya que ayuda en el mejoramiento del suelo, reduce la erosión, regula la temperatura del suelo, ayuda a almacenar la humedad mejorando la fertilidad y las propiedades del suelo, además es un alimento necesario para los organismos del suelo (Ortiz, 2017)

- **Calcio**

El calcio es un nutriente secundario preciso para el crecimiento y fortalecimiento de la raíz y tallo de la planta, además reduce la acidez del suelo favoreciendo la absorción de nitrógeno (Ortiz, 2017).

- **Fósforo**

El fósforo es un elemento esencial en el crecimiento de las plantas, formación y abundancia de raíces resistentes, además contribuye en la formación y maduración de los frutos y semillas (Ortiz, 2017).

- **Nitrógeno**

El nitrógeno es el elemento químico de mayor importancia para la formación de proteínas, nutrición y desarrollo de las plantas y ayuda en la coloración verde del follaje (Ortiz, 2017).

- **Potasio**

El potasio es un macronutriente primario importante en la síntesis de carbohidratos y proteínas, aumentando su resistencia a condiciones adversas (sequía, heladas y salinidad). Una cantidad adecuada de potasio protege a la planta de enfermedades (Ortiz, 2017).

- **Relación Carbono: Nitrógeno**

La relación Carbono: Nitrógeno es la cantidad de carbono en relación con la cantidad de nitrógeno presente en un material (Ortiz, 2017)

Características Biológicas

- **Microorganismos patógenos**

Los microorganismos patógenos son responsables de causar padecimientos presentando un riesgo para la salud pública; la supervivencia de estos microorganismos depende de las condiciones favorables del lugar (humedad, pH y temperatura) (Ortiz Ramos, 2013)

Los microorganismos considerados como patógenos que se encuentran son:

Coliformes totales y fecales: son bacilos cortos Gram negativos no formadores de esporas, fermentan la lactosa con formación de gas en un período de 48 horas a una temperatura que fluctúa entre 35 °C a 37 °C, estimados como bacterias patógenas presentes en el intestino de animales de sangre caliente y humanos (Ortiz Ramos, 2013).

Los coliformes no solamente son de origen fecal, para cual se han desarrollado diferentes pruebas para diferenciarlos y por lo tanto emplearlos como indicadores de contaminación debido a que su presencia es numerosa y de fácil identificación con respecto a los organismos patógenos (bacterias, virus y parásitos). Por lo tanto, los coliformes totales son la totalidad del grupo, y los coliformes fecales son de origen intestinal (Ortiz Ramos, 2013).

Nematodos: los nematodos o larvas de suelo son un grupo de animales pluricelulares que se desarrollan de huevos, pasando por una serie de estadios larvales antes de llegar a la etapa adulta. Este grupo de microorganismos se encuentran formando parte de la fauna del suelo, ya sea en forma de parásitos y/o de forma libre (Ortiz Ramos, 2013).

Salmonella spp.: son bacilos gram-negativos que fermentan de manera específica la glucosa y manosa sin generar gas pero comúnmente producen sulfuro de hidrógeno (H₂O). En su mayoría son patógenos para el hombre y animales debido a su ingestión ocasionando fiebre tifoidea y enterocolitis (Ortiz Ramos, 2013).

Algunos de los organismos parásitos y patógenos mostrados en la siguiente tabla están presentes en estos lodos, debiendo considerarse en el tratamiento del mismo.

Tabla 1-2: Principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales.

Grupo	Agentes	Efectos en la salud
Bacterias	<i>Salmonella Typhi</i>	Fiebre tifoidea, paratifoidea
	<i>Salmonella paratyphi A y B</i>	Disentería bacilar
	<i>Shigella p.</i>	Cólera
	<i>Vibrio cholerae</i>	Gastroenteritis agudas, diarreas
	<i>Escherichia coli</i>	Diarreas
	<i>Salmonella sp.</i>	
	<i>Giardia lamblia intestinales</i>	Gastroenteritis
Helmintos	<i>Taenia saginata</i>	Cisticercosis
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
	<i>Tricheuris trichiuria</i>	Tricofalosis o tricuriasis
	<i>Toxocara spp.</i>	Toxoplasmosis

Fuente: (Ortiz Ramos, 2013)

1.3.6 Compostaje

Es un proceso que lleva tiempo en su desarrollo, utilizado principalmente en la agricultura mediante el acopio de residuos de la casa, excrementos animales y restos de cosecha, al descomponerse se convierte en materiales de fácil manejo y aprovechamiento para mejorar el suelo mejorando el tiempo y la eficacia de las cosechas (Cataluña, 2016).

El compostaje es un método de tratamiento de residuos orgánicos biodegradables basado en una actividad microbiológica compleja, realizada en condiciones controladas (siempre aeróbicas y mayoritariamente termófilas). Esta crea un producto estable que se puede almacenar sin inconvenientes y que se higieniza sanitariamente (Cataluña, 2016).

Las particularidades más destacables del proceso de compostaje son las siguientes: reduce el volumen de residuos, facilita el almacenamiento de estos residuos, permite un mejor aprovechamiento agrícola, y más flexible, y minimiza el riesgo sanitario inherente a todas las operaciones anteriores (Cataluña, 2016).

Tiene un fundamento simple, es muy fuerte y variable, se puede aplicar a diferentes tipos de residuos orgánicos y mezclas, y a escalas de trabajo muy diversas, y requiere sistemas tecnológicos mucho o poco sofisticados (Cataluña, 2016).

Fases del compostaje

El compostaje es un proceso biológico, que ocurre en condiciones aeróbicas (presencia de oxígeno). Con la adecuada humedad y temperatura, se asegura una evolución higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas (Román, y otros, 2013).

El compostaje es posible interpretar como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost (Román, y otros, 2013)

Primera etapa o etapa Mesófila

Con el material de partida se inicia el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este incremento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La desintegración de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días) (Román, y otros, 2013).

Segunda etapa o etapa Termófila o de Higienización

Si el compost alcanza temperaturas de 45°C o mayores, se produce la descomposición de las fuentes más liadas de carbono como la lignina y la celulosa por microorganismos termófilos que a estas temperaturas reemplazan a los mesófilos iniciales, estos actúan transformando las fuentes de nitrógeno en amoníaco aumentan así el pH de la pila de compostaje (Román, y otros, 2013).

Al llegar las pilas a los 60 °C las bacterias que causan esporas y actinobacterias empiezan a aparecer, estas descomponen otros compuestos de carbono complejos como la hemicelulosa y la lignina. Esta etapa dura desde unos días hasta meses, según el material de inicial, y los factores climáticos y del lugar (Román, y otros, 2013).

Tomando el nombre de fase de higienización debido a que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp*, excluyendo también los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que se encuentran en el material de partida, dando un producto higienizado y sin ningún tipo de hongo o bacteria que pueda afectar el proceso (Román, y otros, 2013).

Fase de Enfriamiento o Mesófila II

En esta etapa se agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, se extiende la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista (Román, y otros, 2013).

Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración (Román, y otros, 2013).

Fase de Maduración

Esta fase se desarrolla a temperatura ambiente, dando paso a reacciones de polimerización y condensación utilizando los compuestos carbonados para la generación de ácidos húmicos y fúlvicos. Como en este transcurso actúan microorganismos que se le puede considerar como un proceso biológico teniendo en cuenta los factores que pueden afectar el crecimiento de los mismo como, por ejemplo: la relación C: N, temperaturas de las distintas fases, humedad y pH (Román, y otros, 2013).

El resultado de todo nuestro proceso de compostaje obedecerá principalmente a las condiciones ambientales, del material o materiales que se usen y sobre todo del método que se utilice. Por lo que se debe monitorear constantemente todos estos factores a lo largo del proceso (Román, y otros, 2013).

1.3.7 Variables del proceso.

Aeración o nivel de oxígeno.

Este paso al necesita de oxígeno, debe tener una estructura adecuada para permitir el ingreso y salida de los gases liberados como por ejemplo el CO₂ en los procesos respiratorios de los microorganismos. Esto beneficia al proceso evitando que la pila se compacte (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-3: Características de la aireación.

Exceso de aireación	Baja Aireación
Disminución de la temperatura	Reducción de la evaporación del agua
Perdida de humedad	Ambiente de anaerobiosis
Interrupción del proceso de descomposición en la pila	Producción de malos olores
Interrupción de la actividad enzimática por los microorganismos	Humedad excesiva
Producción de esporas por algunos organismos	Producción de ácido acético
Interrupción de la degradación de la pila de compost	Producción de ácido sulfúrico
	Producción de metano en cantidades excesivas

Fuente: (Román, y otros, 2013)

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Tabla 1-4: Control de la aireación.

% de aireación	Inconvenientes		Tratamientos
Inferior al 5 %	Baja aireación	Se crea un ambiente de anaerobiosis por la gran cantidad de humedad y la falta de evaporación del agua.	Volteo de la pila y adición de material estructurado que permite la oxigenación.
5%- 10% Rango ideal			
Superior al 5 %	Exceso de aireación	Se evapora el agua y disminuye la temperatura en la pila	Trituración de materia prima a fin de disminuir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Controlar la humedad, proporcionando agua al material.

Fuente: (Román, y otros, 2013)

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Dióxido de Carbono (CO₂)

En las pilas de compostaje debido a la respiración de los microorganismos se elimina dióxido de carbono dependiendo así su concentración de CO₂ con la actividad de éstos y el medio en que se desarrollen. Por lo general se estima que se generan entre dos y tres toneladas por día de CO₂ en el proceso de compostaje. El dióxido de carbono generado durante el proceso de compostaje, no

genera un gran impacto ambiental, debido a que es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis (Román, y otros, 2013).

Humedad

La cantidad total de humedad para el compost es aproximadamente es el 55%, aunque puede variar dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas compostadas, así como el tipo o estructura de la pila utilizada para este proceso (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-5: Características de la humedad.

Humedad por debajo de 45%	Humedad mayor al 60%
Disminuye la actividad de las bacterias	El agua satura los poros
Impide el progreso de la degradación	Interferencia en la oxigenación
Producto inestable biológicamente	

Fuente: (Román, y otros, 2013).

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Es recomendable cuando se utilicen materiales más secos como paja, astillas de madera y hojas secas, regarlas más a menudo durante el compostaje, al contrario, con los residuos de hojas verdes, desechos de césped y frutas no es muy recomendable debido a que estos ya contienen agua. Se puede utilizar la técnica del puño para determinar la cantidad de humedad (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-6: Parámetros de humedad óptimos.

Porcentaje de humedad	Problema		Soluciones
Menor al 45 %	Humedad insuficiente	Puede reducir la velocidad del compostaje por falta de agua para los microorganismos	Añadir agua o materiales frescos a las pilas
45 % -60 % Rango ideal			
Mayor al 60 %	Oxígeno insuficiente	Pilas de compostaje muy húmedas, el oxígeno queda desplazado. Puede generar zonas de anaerobiosis.	Volteo de las pilas y añadir materiales con bajos niveles de humedad y elevada composición en carbono

Fuente: (Román, y otros, 2013).

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Temperatura

El proceso de compostaje empieza con una temperatura ambiente la cual va aumentando hasta llegar a los 65°C sin necesidad de ninguna actividad como el calentamiento y a medida que se llega a la etapa de maduración se tienen nuevamente una temperatura igual a la del ambiente que la rodea. Se recomienda que la temperatura no disminuya demasiado rápido debido a que se consigue una mayor velocidad de descomposición e higienización a temperaturas elevadas (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-7: Parámetros de temperatura óptimos

Temperatura (°C)	Causas asociadas	Soluciones
Temperaturas bajas (T° ambiente menor a 35 °C)	Humedad insuficiente. La temperatura puede disminuir debido a la falta de humedad, afectando la actividad de los microorganismos.	Humedecer las pilas de compostaje para ayudar a la actividad microbiana.
	Escaso material o forma de la pila inapropiada para que se llegue a una temperatura adecuada.	Añadir más materia prima a las pilas de compostaje.
	Carencia de nitrógeno o baja relación C:N Al tener un alta relación C:N los microorganismos no tienen N para producir enzimas y proteínas disminuyendo su actividad	Añadir más fuentes de nitrógeno a la pila
Altas temperaturas	Falta de oxigenación y agua. Al tener una temperatura alta inhibe el proceso de descomposición	Voltear la pila y comprobar que la humedad debe estar entre 55 – 60 %. Adición de materiales con alto contenido de carbono de lenta degradación

Fuente: (Román, y otros, 2013).

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Potencial de hidrogeno

En estos procesos los valores de pH son afectados esencialmente por los materiales iniciales que se utilizaron y varían en cada etapa. En el inicio los niveles de pH descienden debido a que se producen ácidos orgánicos, en la fase termófila se produce la transformación del nitrógeno en amoníaco por lo que el pH aumenta alcalinizando la pila de compost para finalmente neutralizarse (Román, y otros, 2013).

El potencial de hidrógeno influye en la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y proliferación (Román, y otros, 2013).

Las bacterias se activan a pH 6,0- 7,5, mientras que las actividades fúngicas se producen a pH 5,5-8,0. El rango óptimo es de 5,8 a 7,2. (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-8: Parámetros de pH óptimos.

pH	Causas asociadas		Soluciones
Menor a 4,5	Abundancia de ácidos orgánicos	La materia vegetal libera muchos ácidos orgánicos y acidifican la pila de compost.	Incremento de materia rica en nitrógeno.
4,5-8,5 Rango ideal			
Mayor a 8,5	Abundancia De Nitrógeno	Si la materia prima tiene un exceso de nitrógeno se producen reacción que alcalinizan el medio debido a la producción de amoníaco.	Anadir materiales secos y de fuentes vegetales que Proporcionen carbono.

Fuente: (Román, y otros, 2013).

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

Es la variable primordial que afecta al progreso del proceso del compostaje, es así que para evitar la dificultad biológica del nitrógeno se confina el uso de material mucho más rico en carbono que en nitrógeno. Si el compostaje almacena demasiada cantidad de elementos con contenido en carbono, se producirá una evacuación en forma de dióxido de carbono a la atmosfera (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-9: Principios de la relación carbono/nitrógeno.

C: N	Causas asociadas		Soluciones
Mayor a 35:1	Abundancia de carbono	En el compost se encuentra mucho rico en carbono. El proceso se enfría y ralentiza.	Aumento de materias ricas en nitrógeno hasta conseguir una relación C: N adecuada.
15:1-35:1 Rango ideal			
Menor a 15:1	Abundancia de Nitrógeno	En el compost hay una mayor cantidad de elementos ricos en nitrógeno, el proceso se calienta en exceso y producen malos olores por el amoníaco liberado.	Aumento de materias vegetales con mayor contenido en carbono.

Fuente: (Román, y otros, 2013).

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Tamaño de partícula

El volumen de las partículas aqueja la actividad de los microorganismos, facilitando o no el acceso al sustrato. Si posee partículas pequeñas, existe una mayor superficie específica, lo que facilita el acceso al sustrato. Para iniciar el proceso de compostaje el tamaño respetable del material es de 5 a 20 cm. Es importante tener una densidad inicial entre 150 – 200 kg/m³ teniendo en cuenta la cantidad de agua y el nivel de aireación que se le dé, mientras avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y la densidad aumenta, 600 – 700 kg/m³. (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-10: Control del tamaño de partícula.

Tamaño de partícula (cm)	Problema		Soluciones
Mayor a 30 cm	Abundancia de aireación	Esto se debe a que al tener partículas grandes se crean conductos de aireación que bajan la temperatura y desaceleran el proceso.	Obtener un tamaño de partícula de 10-20 cm mediante la trituración.
5-30 cm Rango ideal			
Menor a 5 cm	Compactación	Los materiales demasiado finos crean poros pequeños que se llenan de líquido, compactando fácilmente el material y teniendo un flujo restringido de aire, generándose anaerobiosis.	Girar y añadir material de tamaño mayor a las pilas de compost.

Fuente: (Román, y otros, 2013).

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Tamaño de la pila o volumen en compostaje

El proceso de compostaje se puede realizar en composteras abiertas o cerradas, al igual que en pilas. En los procesos de compostaje utilizando pilas, en cuanto al tamaño de la pila (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-11: Características de las pilas

Pilas altas	Pilas bajas y anchas
Afectan el contenido de humedad	Pierde fácilmente calor
El contenido de oxígeno	No conserva temperatura
Cantidad de temperatura.	

Fuente: (Román, y otros, 2013).

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

El cuerpo de una pila se establece por la cantidad de materia prima que se va a utilizar y el espacio en que se las va a ubicar. Para empatar el volteo de las pilas es recomendable hacerlas de 1,5 y 2 metros de alto, y de un ancho de entre 1,5 y 3 metros. Y el área y manejo de las mismas son las que determinaras su longitud. Es necesario tener en cuenta al momento de

estimar su tamaño que las pilas en el proceso disminuyen o más o menos hasta un 50% en volumen debido en parte a la compactación y en parte a la pérdida de carbono en forma de CO₂ (Román, y otros, 2013).

Tabla 1-12: Parámetros del compostaje.

Parámetros	Rango ideal al inicio (2-5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílicas II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro (3-6 meses)
C: V	25:1-35:1	15/20	10:1-15:1
Humedad	50%-60%	45%-55%	30%-40%
Concentración de Oxígeno	~10%	~10%	~10%
Tamaño de partícula	<25 cm	~15 cm	<1,6 cm
Ph	6,5-8,0	6,0-8,5	6,5-8,5
Temperatura	45-60 °C	45°C – temperatura Ambiente	Temperatura Ambiente
Densidad	250-400 kg/m ³	<700 kg/m ³	<700 kg/m ³
Materia orgánica (Base seca)	50%-70%	>20%	>20%
Nitrógeno Total (Base seca)	2,5-3%	1-2%	~1%

Fuente: (Román, y otros, 2013).

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

CAPITULO II

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- ✓ Diseñar un aprovechamiento de lodos residuales para el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Colta, en la provincia de Chimborazo.

2.2 Objetivos específicos.

- ✓ Caracterizar los lodos obtenidos del tratamiento de depuración de las aguas residuales.
- ✓ Determinar los parámetros de diseño para el tratamiento de los lodos residuales.
- ✓ Evaluar las variables de control necesarias para el diseño del sistema de tratamiento de lodos residuales.
- ✓ Validar el proceso de obtención de compost mediante la caracterización del mismo en base a la norma chilena NCH2880.C2003, el mismo que establece los requerimientos para el proceso, así como también para el producto terminado

CAPITULO III

3 ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

La presente pila de compostaje está diseñada para compostar los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Villa la Unión del cantón Colta.

3.1.1 Localización geográfica

Tabla 3-1: Localización geográfica del proyecto

País	Ecuador
Región	Sierra
Provincia	Chimborazo
Cantón	Colta
Lugar	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
Latitud	1° 42´
Longitud	78° 45´
Altitud	3212 msnm

Realizado por: Cruz Katty 2019.

3.1.2 Micro Localización



Figura 3-1: Microlocalización

3.1.3 Datos generales del cantón Colta.

El Cantón Colta se encuentra ubicado en la parte Noroccidental de la Provincia de Chimborazo, a 18 Km. de la ciudad de Riobamba. Se sitúa entre una altitud de 2750 a 3500 msnm y su temperatura media es de 12 °C (GADPChimborazo, 2012).

Tiene una superficie total de 850 Km² (85000 Ha) destinadas al cultivo agrícola y la producción de pastos para la cría de ganado de leche, los cultivos que se destacan son: papa, cebolla colorada, maíz, cebada, hortalizas; los cuales sirven para la alimentación interna así como para la generación de ingresos producto de su comercialización (GADPChimborazo, 2012).

La superficie geográfica de este cantón es irregular, debido a que atraviesa la cordillera Occidental que sirve en parte de límite con la provincia de Bolívar (GADPChimborazo, 2012).

Además separa la Hoya Central del Chambo, de la Hoya lateral del Chimbo, abriéndose en varios ramales hacia el sur – occidente y centro occidente principalmente, en las que sobresalen las montañas: Portachuelo (4389 m.s.n.m); Puyal (4332 m.s.n.m); Pucara (3600 m.s.n.m); Cullca (3403 m.s.n.m); y también los páramos de Pangór, Navag, LlinLlin y Cañi. Pequeñas mesetas, cerros, llanuras y depresiones forman el lugar (GADPChimborazo, 2012).

Limita al norte con los cantones Riobamba y Colta, por el oeste y sudoeste con el cantón Pallatanga, al sur con Alausí y al este con la provincia de Morona Santiago (GADPChimborazo, 2012).

El cantón se divide en cinco parroquias que en total suman 44971 habitantes. Se considera que el 93% de la población vive en pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI) y el 64% se encuentra en extrema pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI) (GADPChimborazo, 2012).

3.2 Ingeniería del proyecto

3.2.1 Fases del Proyecto

El presente trabajo se dividió en tres fases: estudio de bibliografía, estudio de generación de lodos en la PTAR “Villa la Unión” y el diseño de un sistema de tratamiento de lodos residuales para el gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Colta

En la primera fase se hizo un estudio documental respecto a la normativa vinculada a los procesos de compostaje, en la segunda fase se desarrolló el estudio de generación de lodos residuales en la planta de tratamiento así como su producción per cápita, y en la tercera etapa se calculó el volumen de los residuos y el dimensionamiento del sistema de tratamiento para los lodos. (Tipán, 2016)

Primera Fase (Estudio de Bibliografía)

La primera fase se basó esencialmente en el Manual de Compostaje del Agricultor (FAO).

Segunda Fase (Estudio de generación)

En esta segunda fase se realizó la cuantificación de la generación de lodos residuales a través de la información del equipo técnico del GAD Colta.

Tercera Fase (Procedimiento del diseño de la planta de compostaje)

Para el diseño de este proyecto fueron importantes los siguientes criterios:

- Sostenimiento de la planta de compostaje
- Franja de seguridad alrededor de la planta
- Localización de las instalaciones mediante vallas incluyendo los lugares donde se almacenen los residuos a tratar y el producto obtenido
- El tipo de residuos que se van a tratar y donde serán almacenados
- Conjunto de material a utilizar
- Tiempo estimado para obtener el compost
- Tecnología necesaria para el proceso
- Espacio requerido para el proceso de transformación
- Pavimentación de las zonas de procesamiento y almacenaje
- Diferenciación de zonas de ingreso de insumos, producción y salida del compost
- Zonas para almacenamiento de residuos generados como los lixiviados, agua sucias y pluviales
- Formas para reducir los impactos: polvo, olores
- Sistemas de control del proceso de compostaje (Cataluña, 2016).

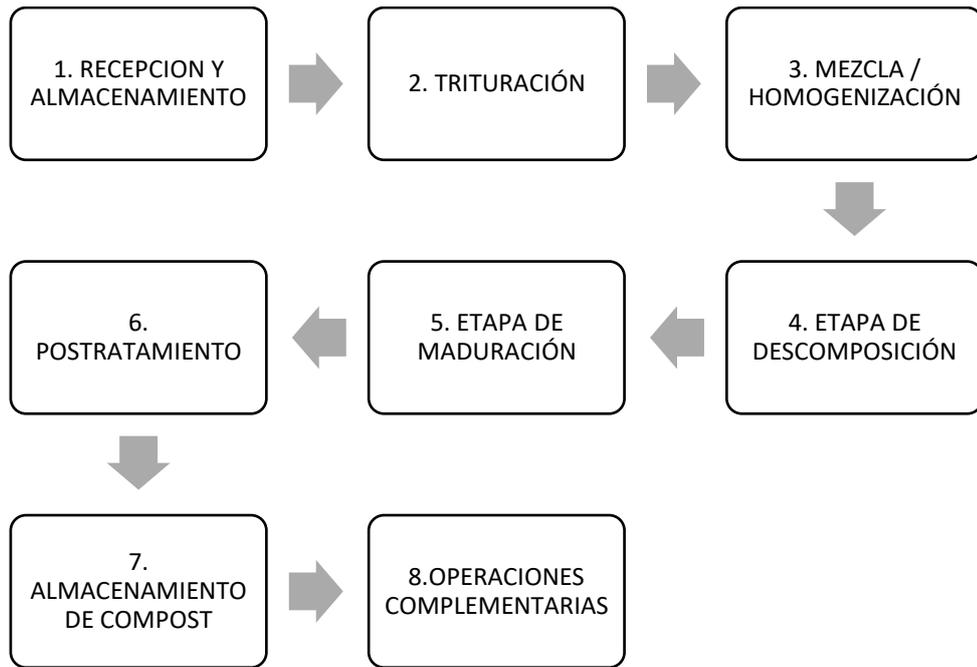


Figura 3-2: Etapas y operaciones en el compostaje.

Fuente: (Cataluña, 2016).

3.2.2 *Materia prima a utilizar*

El material que se utilizó son los lodos residuales es decir aquellos subproductos resultantes del proceso de tratamiento de la estación depuradora de aguas residuales “Villa la Unión”. Estos fangos son de gran importancia por ser una fuente potencial de la materia orgánica y energía.

La materia prima fue seleccionada y recolectada del área de secado, el material vegetativo fue recolectado de los residuos del mercado central del cantón Colta y la poda fue recogida de promontorios de hojas secas que existían dentro de las instalaciones de la PTAR Villa la Unión.

Según datos del GAD Colta la producción anual de lodos residuales es el volumen de 1.5 m^3 lo cual se divide para 12 meses para obtener una producción mensual.

$$\text{Volumen anual} = 1.5\text{m}^3$$

$$\text{Volumen} = \frac{1.5\text{m}^3}{12\text{ meses}}$$

$$\text{Volumen mensual} = 0.125\text{m}^3$$

Transformamos a Kg utilizando la densidad del lodo residual:

Según (Gómez, y otros, 2013) la densidad de lodos residuales es: $1490\text{ Kg}/\text{m}^3$

$$Densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Despejamos masa:

$$masa = densidad * volumen$$

$$masa = 1490 \text{ Kg/m}^3 * 0.125 \text{ m}^3$$

$$masa = 186.25 \text{ Kg}$$

La producción mensual de lodos es 186.25 Kg.

3.2.3 *Recepción y almacenamiento de materiales*

En esta etapa se recibe y almacena la materia prima en la planta de compostaje para realizar un pre tratamiento:

1. Recepción de materia prima a compostar.
2. Área de descarga y almacenamiento de la materia prima.
3. Identificación forzosa de los materiales tanto a la entrada como a la salida de los mismos (Cataluña, 2016).

Lugares de descarga y almacenamiento temporal

Para el diseño de las zonas de descarga del material se tomó en cuenta las características de los materiales:

- Granulometría
- Humedad
- Pastosidad (Cataluña, 2016).

Se consideró también el volumen a ser tratado, asumiendo la facilidad de limpieza de los lugares donde estos van a ingresar, proteger estos lugares de la lluvia debido a que esta puede alterar las características de los materiales dificultando así el desarrollo, evitando también la generación innecesaria de lixiviados. Y precisamente observar la posibilidad de controlar la generación de malos olores creando sistemas de extracción y tratamiento de aires (Cataluña, 2016)

3.2.4 Criterios de diseño

Tabla 3-2: Criterios de diseño

Agua de lluvia sobre:	Consideración:	
Zona de recepción y almacenamiento no cubierta	Generan lixiviados	
Fracción vegetal utilizada como estructurante.		Aguas sucias
Residuos muy húmedos en zona no cubierta sumando los mismos líquidos de los residuos pendiente de gestión	Generan lixiviados	

Fuente: (Cataluña, 2016)

La solera

Para el lugar donde van a receptor y almacenar los materiales y residuos del compostaje es necesario la implementación de soleras de hormigón pavimentadas con canales adecuados para transportar los lixiviados hasta los lugares de almacenamiento (Cataluña, 2016).

Parámetros a considerar en la planta.

Tabla 3-3: Parámetros a considerar en la planta

Fases iniciales	Descarga y almacenamiento de materiales
Operaciones complementarias	Pesaje de los materiales Identificación y control Preparación de los materiales
Tipo de material	Tipo de descarga. Tiempo de almacenamiento. Tipo de almacenamiento
Fases y operaciones complementarias	Ubicación: al aire libre, espacios cerrados, con tratamiento de aire Equipos. Espacio ocupado Tiempo máximo permitido de almacenamiento.

Fuente: (Cataluña, 2016)

Pretratamiento: trituración de materia orgánica.

En este proceso se transforma físicamente la materia orgánica, antes de ser sometidas al compostaje deben ser cortadas en partes más pequeñas cuyo tamaño oscila entre 1 cm y 3 de largo, con un diámetro menor o igual a 1 cm (Tipán, 2016).

Cuando se incorporó este material en la pila se lo realizó de forma manual con la ayuda de un machete, y así se obtuvieron residuos entre 2 y 5 cm de largo. Sin embargo con la máquina trituradora propuesta para esta operación, se estima que los restos orgánicos después del triturado, obtengan entre 1 cm y 3 cm de largo (Tipán, 2016)

Esta operación permite optimizar el contacto con los microorganismos biodegradantes, y como consecuencia un mayor porcentaje de degradación al final del proceso, con estas especificaciones podemos considerar que la materia al ser procesada durante esta operación no sufre pérdidas en peso, debido a que solo se ejecuta un cambio físico; por lo tanto la cantidad que ingresa será igual a la que sale (Tipán, 2016)

Pretratamiento: mezcla u homogeneización.

Para que el compostaje sea factible realizarlo y tenga un correcto progreso es indispensable que todos los parámetros que lo sobresaltan estén dentro de los valores correctos. Solo algunos tipos de materiales caen dentro de este rango es por eso que se necesita recurrir a una preparación previa mezclándolos con otro para integrar y así obtener un valor ideal para ser compostado (Cataluña, 2016).

Tabla 3-4: Características de las premezclas creadas en la etapa de pretratamiento

Estructura	Para mantener la porosidad de la pila de compost.
Humedad y pH	Ideales para mantener la actividad de los microorganismos.
Porosidad	Permita la correcta aireación y retenga el agua adecuadamente.
Proporción de materia orgánica biodegradable	En la cantidad adecuada para que el proceso se pueda iniciar y terminar correctamente.
Contenidos de otros elementos	Ayudan a mantener la actividad de los microorganismos
Relación C/N	Para minimizar la pérdida de nitrógeno y limitar el proceso.

Fuente: (Cataluña, 2016)

Materiales complementarios

A las pilas de compost iniciales se pueden integrar materiales complementarios que faciliten aún más el proceso de compostaje impidiendo la pérdida de nutrientes y ayudando a que pase por todas las fases correctamente, mejorando así las características del producto obtenido. Estos materiales se añaden para alcanzar los siguientes objetivos:

- Corregir aumentando o disminuyendo la relación de C y N.
- Mejorar su estructura
- Incrementar la cantidad de materiales degradables
- Aumentar la porosidad de los materiales.
- Corregir el pH
- Controlar la humedad (Cataluña, 2016).

Equipos para dosificación y preparación de premezclas

Si es necesario la creación o elaboración de premezclas lo más importante es elegir el tipo de alimentación que se va a tener de los diferentes materiales con sus proporciones adecuadas según los siguientes datos:

Tabla 3-5: Tipo de alimentación

Alimentación discontinua	Alimentación continua
Realizada por una pala mecánica	Más rápida
Más versátil al utilizar materiales diferentes	Rangos ilimitados de componentes
Limita las proporciones de la mezcla y el número de constituyentes.	Se tienen mezclas más constantes proporcionalmente.
Depende de la capacidad de los equipos y las palas cargadoras.	Los equipos no siempre son aptos para determinar los tipos de materiales a utilizar

Fuente: (Cataluña, 2016)

Equipos de mezcla u homogeneización

Acatando el diseño de nuestra instalación y su capacidad de tratamientos se puede escoger los equipos de homogeneización o mezclado, hay que tomar en cuenta el tipo de alimentación, ya que puede ser continua o discontinua, dependiendo del tamaño de los materiales, verificar la necesidad de ser triturados o no, que sean capaces de incorporar líquidos, lleven o no un sistema de pesa (Cataluña, 2016).

- **Diseño de la mezcladora**

La máquina que realiza el mezclado tendrá forma semicircular en la parte inferior mientras que en la parte superior se mantendrá la forma rectangular (Vallejo, 2017).

La forma semicircular se debe a que con ella se evita al máximo la acumulación del producto en el recipiente, en la parte superior no hay problema debido a que la gravedad lo evita y más bien se requiere un espacio abierto para permitir que el producto al mezclarse pueda circular con cierto grado de libertad y además poder realizar las operaciones de mantenimiento (Vallejo, 2017).

En el interior del cilindro se colocará el mecanismo que proporcionara el movimiento del producto para realizar el mezclado de este. Primero se colocara un eje macizo circular que soportara a las hélices del mezclador y a la vez transmita la potencia necesaria para producir la rotación de las aspas (Vallejo, 2017).

Montado el eje estará el mecanismo de mezclado que será de cintas de acero, en forma de hélice y concéntrico. Las cintas estarán soldadas a unas barras cortas que servirán de soporte para las mismas, las cuales irán soldadas al árbol principal (Vallejo, 2017).

La potencia requerida para accionar el mecanismo la suministrara un motor eléctrico de 25 HP de potencia, trifásico de 1700 rpm. Dicha potencia será transmitida al árbol por medio de un sistema piñón cadena, además, como la velocidad de rotación del eje es baja, comparándose con la velocidad de operación del motor, se requiere usar un sistema de reducción de velocidades o motor reductor (Vallejo, 2017).

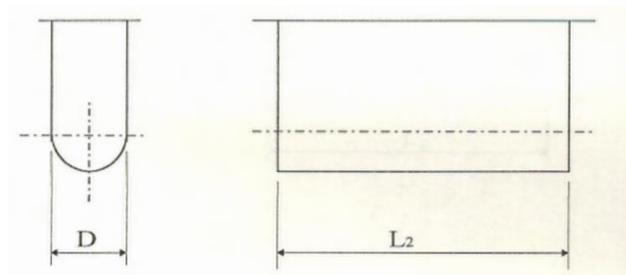


Figura 3-3: Diagrama del recipiente de la mezcladora

Fuente: Vallejo, 2017

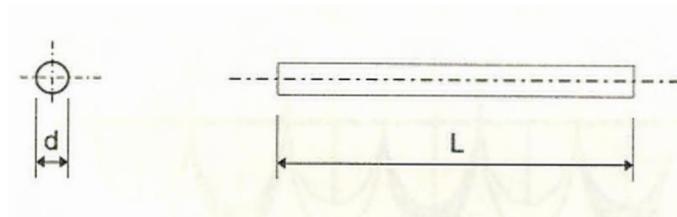


Figura 3-4: Diagrama del eje central de la mezcladora

Fuente: Vallejo, 2017

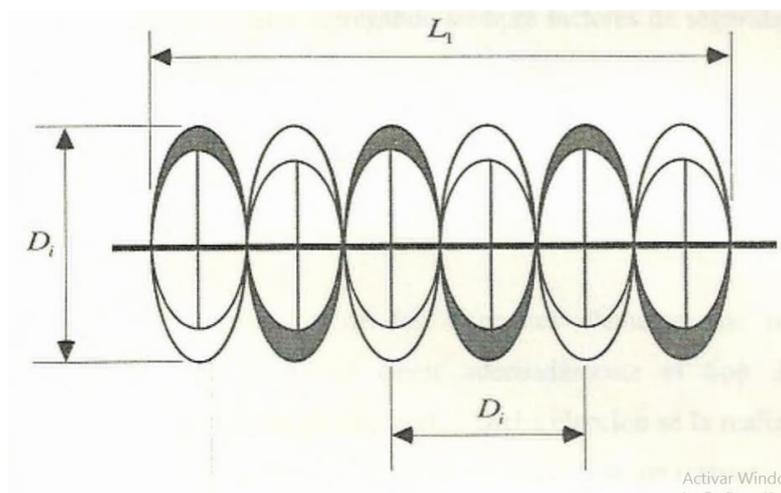


Figura 3-5: Diagrama de la cinta mezcladora

Fuente: Vallejo, 2017

Cálculo y dimensionamiento de las partes constitutivas de la mezcladora

Para realizar estos cálculos se utilizó las teorías de falla de diseño, al igual que criterios como fluencia y fatiga, agregando siempre factores de seguridad al diseño de los mismos (Vallejo, 2017).

Materiales de construcción.

Esta elección se realiza en bases a factores como: resistencia del material, propiedades de ductilidad, elementos aleantes, etc. (Vallejo, 2017).

Para el árbol principal el recipiente y las barras de soporte se utilizara acero inoxidable del tipo AISI 304, mientras que para las cintas que forman las hélices, acero inoxidable AISI C 1045 (Vallejo, 2017).

ACERO AISI 304	
Composición:	
C ≤ 0.08 %	Si ≤ 1.00 %
Mn ≤ 2.00 %	P ≤ 0.045 %
S ≤ 0.03%	Ni 8.00 - 10.50 %
Cr 18.00 - 20.00 %	
Propiedades mecánicas:	
Resistencia a la tensión :	85 000 psi (585.65 Mpa.)
Resistencia a la fluencia:	35 000 psi (241.15 Mpa.)
ACERO AISI C 1045	
Composición:	
C 0.43 - 0.50 %	P ≤ 0.040 %
Mn 0.60 -0.90 %	S ≤ 0.050 %
Propiedades mecánicas:	
Resistencia a la tensión :	640 N/mm ² (637.43 Mpa.)
Resistencia a la fluencia:	340 N/mm ² (343.23 Mpa.)

Figura 3-6: Las propiedades mecánicas porcentajes de los elementos aleantes.

Fuente: Vallejo, 2017

Dimensionamiento preliminar

Calculo del volumen

Basada en las especificaciones del producto a mezclar se tienen los siguientes valores:

Datos:

$$m = 250 \text{ Kg}$$

$$\rho = 233.29 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho = \frac{m}{v}$$

$$v = \frac{m}{\rho}$$

$$v = \frac{250}{233.29}$$

$$v = 1.07 \text{ m}^3$$

Considerando el recipiente cilíndrico se calcula las dimensiones externas del mismo, en base al volumen requerido para albergar el producto; se tiene:

$$v = \frac{\pi * D^2}{4} * L_2$$

$$L_2 = \frac{4 * v}{\pi} * \frac{1}{D^2}$$

Por tanteo se busca el valor de la longitud L_2 en función del diámetro D, esto es:

Tabla 3-6: Valores de longitud en función del diámetro

D (m)	L_2 (m)
1.0	1.175298041
0.9	1.450985236
0.8	1.836403189
0.7	2.398567431

Fuente: (Vallejo, 2017)

Ahora pruebo valores para seleccionar las dimensiones del recipiente, relacionándolas con las correspondientes a las hélices del mezclador (Vallejo, 2017).

Como el mecanismo de mezclado tendrá dos series de espiras, también hay que dimensionar el diámetro de cada una de ellas. Para el diámetro de la hélice externa se debe tomar en cuenta que esta debe estar en contacto con la totalidad del **producto**, para poder realizar una buena operación de mezcla; entonces, deberá cubrir casi la totalidad del volumen de la parte inferior del recipiente (Vallejo, 2017).

En el caso de las mezcladoras de cintas se realiza un movimiento convectivo del producto, produciéndose un corte del mismo. Las capas de producto adyacentes a la cortada se mueven consecutivamente, mientras que las adyacentes a la pared tienden a permanecer en reposo; esto produce abrasión debido a la fricción existente entre el material del recipiente y el producto, por lo que los fabricantes de máquinas similares recomiendan un espaciamiento entre la pared y la hélice (externa) de un centésimo (1 / 1 00) del diámetro (interno) del recipiente (Vallejo, 2017).

Entonces:

$$claro = \frac{D}{100}$$

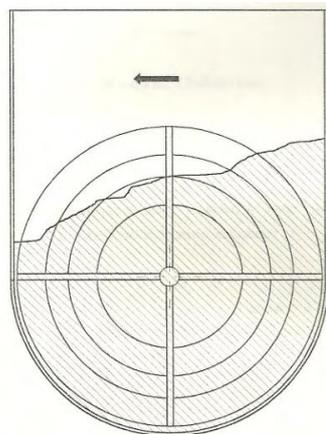


Figura 3-7: Ubicación de las cintas de mezclado y el producto dentro del recipiente.

Fuente: (Vallejo, 2017)

$$Si D_1 = 1 m$$

$$claro = 0.01 m$$

$$D_2 = D_1 - 2 * claro$$

$$D_2 = 1 - 2(0.01m)$$

$$D_2 = 0.98 m$$

Seleccionando hélice estándar, se tiene que el paso de la misma es igual al diámetro, entonces:

$$L_2 = n * \text{paso}$$

Dónde:

$$n = \text{número de espiras}$$

O bien:

$$L_2 = n_1 * D_1$$

Dónde:

$$n_1 = \text{número de la } i - \text{ésima espira}$$

$$D_1 = \text{diámetro de la } i - \text{ésima espira}$$

Entonces:

$$n_1 = \frac{L_2}{D_1}$$

$$n_1 = \frac{1.451 \text{ m}}{1 \text{ m}}$$

$$n_1 = 1.451$$

Con los valores restantes de diámetro D y longitud L_2 mostrados en la tabla anterior, realizo un proceso de tanteo similar a lo anterior, encontrando que las mejores dimensiones son:

$$n_2 = 1.2$$

$$L_2 = 1.451$$

$$D = 1 \text{ m}$$

$$D_2 = 0.98$$

$$\text{Claro} = 0.01 \text{ m}$$

El recipiente será semicilíndrico en su parte inferior, pero en la superior. Será rectangular para facilidad de mantenimiento (Vallejo, 2017).

Además, de acuerdo a recomendaciones de fabricantes, el volumen total de la máquina deberá estar comprendido entre 1.5 y 3 veces el volumen del producto; entonces:

$$v_{\text{prod.}} = 1.07 \text{ m}^3$$

$$v_{s.c.} = \frac{\pi * D^2 * L_2}{8}$$

$$v_{s.c.} = \frac{\pi * 1^2 * 1.451}{8}$$

$$v_{s.c.} = 0.57 \text{ m}^3$$

$$v_{recip} = 2 v_{prod.}$$

$$v_{recip} = 2 (1.07) = 2.14$$

$$v_{recip} = 2.14 \text{ m}^3$$

$$v_{pf} = v_{recip} - v_{s.c.}$$

$$v_{pf} = 2.14 - 0.57$$

$$v_{pf} = 1.57 \text{ m}^3$$

$$Vf = b * h * L_2$$

Dónde:

$$b = \text{base} = D$$

$h = \text{altura sobre semicilindro}$

Entonces:

$$h = \frac{v_{pf}}{D * L_2}$$

$$h = \frac{1.57 \text{ m}^3}{1 \text{ m} * 1.451 \text{ m}}$$

$$h = 1.08 \text{ m}$$

Para encontrar el diámetro D, de la espira interior, realizo un balance de masa (conservación de masa); entonces, se tiene:

$$V_1 = \frac{\pi * D_1^2}{4} * L_2$$

$$V_2 = \frac{\pi * (D_2^2 - D_1^2)}{4} * L_2$$

Para que el producto fluya uniformemente se debe cumplir que el flujo de volumen V_1 sea igual a aquel del volumen V_2 , es decir:

$$ni_1 = ni_2$$

Como las densidades son las mismas, y el lapso de tiempo igual, se tiene:

$$V_1 = V_2$$

$$\frac{\pi * D_1^2}{4} * L_2 = \frac{\pi * (D_2^2 - D_1^2)}{4} * L_2$$

$$D_1^2 = (D_2^2 - D_1^2)$$

$$D_2^2 = 2 * D_1^2$$

$$D_2 = \sqrt{2} * D_1$$

$$D_1 = \frac{D_2}{\sqrt{2}}$$

$$D_1 = \frac{0.98 \text{ m}}{\sqrt{2}}$$

$$D_1 = 0.693 \text{ m}$$

Para hélice estándar:

$$n_1 = \frac{L_2}{D_1}$$

$$n_1 = \frac{1.451 \text{ m}}{0.693 \text{ m}}$$

$$n_1 = 2.09$$

Analizando velocidades lineales promedio, comparo el flujo de área, entonces:

$$v_{ij} = \omega * \frac{D_j}{2}$$

Donde:

$i = \text{volumen a considerarse}$

$j = \text{punto a considerarse}$

$$v_{11} = 0.025 \omega$$

$$v_{12} = 0.3465 \omega$$

$$v_{21} = 0.3465 \omega$$

$$v_{22} = 0.49 \omega$$

Entonces puedo calcular las velocidades promedio para cada volumen, teniendo en cuenta que la velocidad lineal varía en relación directa a la distancia a partir del eje neutro. Así:

$$v_1 = \frac{\Sigma v_i}{2}$$

$$v_1 = 0.18575 \omega$$

$$v_2 = 0.41825 \omega$$

Ahora

$$m_1^\circ = m_2^\circ$$

$$V_1^\circ = V_2^\circ$$

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

$$0.186 \omega * \frac{\pi * D_1^2}{4} = 0.418 \omega * \frac{\pi * (D_2^2 - D_1^2)}{4}$$

$$D_2^2 = 1445 * D_1^2$$

$$D_1 = \frac{D_2}{1.202}$$

$$D_1 = 0.815 \text{ m}$$

Debido a que las recomendaciones técnicas establecen que el producto ocupará el 90 % del espiral y dada la forma del recipiente, se toma el valor anterior pero redondeado a 0.700 m. para obtener un número exacto de espiras (Vallejo, 2017).

Ahora es necesario determinar el espacio libre que habrá entre el final del recipiente y los cojinetes que soportarán el eje (Vallejo, 2017).

Este espacio debe ser el suficiente para facilitar el servicio de ensamble, y la limpieza de los retenedores de polvo que se fijarán al eje y el mantenimiento en general (Vallejo, 2017).

De acuerdo a esto, y en compatibilidad con las demás dimensiones de la máquina, selecciono un espacio de 300 mm (Vallejo, 2017).

Además, de un extremo del eje, debo adicionar un lugar para ubicar el mecanismo de transmisión de potencia, que en este caso será un sistema piñón - cadena; por ende, agrego 50 mm más de longitud al eje (Vallejo, 2017). Entonces:

$$b_1 = 50 \text{ mm}$$

$$b_2 = 300 \text{ mm}$$

De esta manera, la longitud total del árbol de transmisión será:

$$L = L_2 + 2b_2 + b$$

Entonces, las dimensiones quedaran de la siguiente manera:

$$D = 1 \text{ m}$$

$$D_1 = 0.7 \text{ m}$$

$$D_2 = 0.98 \text{ m}$$

$$b_1 = 0.050 \text{ m}$$

$$b_2 = 0.300 \text{ m}$$

$$L_2 = 1.470 \text{ m}$$

$$L_1 = 2.070 \text{ m}$$

$$L = 2.120 \text{ m}$$

Análisis de los elementos de maquina: resistencia, falla estática y por fatiga

Calculo del eje

Para calcular la flexión del eje central que soportará el mecanismo de mezclado, primeramente calculo la flexión debida al peso propio del eje, luego la debida al peso de las espiras, y luego combino los efectos aplicando el principio de superposición (Vallejo, 2017).

Calculo de flexión debida al peso propio del eje

Para calcular la flexión debida al peso del eje realizo un diagrama de fuerza cortante y momento flector, basado en el estado de cargas que presento, de esta manera podré obtener el (los) valor (es) de momento máximo requeridos en los cálculos de resistencia que seguirán (Vallejo, 2017).

Primeramente determino, por medio de la estática, las resistencias en los apoyos del eje, para luego graficar los diagramas respectivos, entonces:

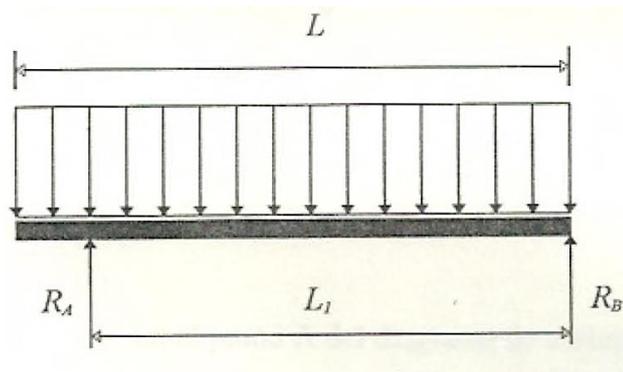


Figura 3-8: Diagrama de fuerzas del eje, propio peso.

Fuente: (Vallejo, 2017)

$$\Sigma M_A = 0$$

$$\frac{\omega * L_1^2}{2} - \frac{\omega b^2}{2} - R_B * L_1 = 0$$

$$R_B = \frac{\omega * (L_1^2 - b^2)}{2 * L_1}$$

$$+\uparrow \Sigma F_Y = 0$$

$$R_A - \omega L + R_B = 0$$

$$R_A = \frac{\omega * L^2}{2 * L_1}$$

En el punto a del diagrama de cortante, tendré:

$$Cortante_A = R_A - \varpi * b$$

$$\frac{\varpi * (2 L L_1 - L_1^2 + b^2)}{2 L_1} = \varpi * (L - L_1)$$

$$Cortante_A = \frac{\varpi * (L_1^2 - b^2)}{2 L_1}$$

Para el punto x donde el momento es máximo:

$$\frac{\varpi * (L_1^2 + b^2)}{2 L_1} = \varpi * x$$

$$x = \frac{(L_1^2 + b^2)}{2 L_1}$$

$$M_1 = \frac{(\varpi b_1)(b_1)}{2}$$

$$M_2 = \frac{\left[\frac{(L_1^2 + b^2)}{2 L_1} \right] \left[\frac{\varpi (L_1^2 + b_1^2)}{2 L_1} \right]}{2}$$

$$M_2 = \frac{\varpi (L_1^2 + b_1^2)^2}{8 L_1^2}$$

Aboca reemplazo en las ecuaciones previas, los correspondientes valores de los datos que tengo seleccionados, para encontrar los momentos máximos, considerando que voy a utilizar un acero que tiene una masa distribuida uniformemente (Vallejo, 2017); así:

$$\varpi_{acero} = 16.21 \frac{Kg}{m}$$

$$\varpi_{acero} = 159,0201 \frac{N}{m}$$

$$R_A = 172,63 \text{ N}$$

$$R_B = 164,49 \text{ N}$$

Flexión debida al peso de las espiras.

Además del peso propio del eje, el peso de las espiras que formarán la hélice del mezclador también ejerce flexión sobre el eje, por lo que es necesario calcularlo (Vallejo, 2017).

Para ello procedo matemáticamente y en base a las espiras estándar, puedo calcular la longitud de las espiras; así:

$$L_f = \sqrt{D^2 + \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

$$L_f = \frac{\sqrt{5D}}{2}$$

$$L_f = \frac{L_f}{2} \theta$$

$$L_f = 1.76 D$$

$$L_f = 2L_f$$

$$L_f = 3.52 D_i$$

$$L_f = 3.52 D_i \eta_i$$

Como:

$$D_1 = 0.700m$$

$$D_2 = 0.980m$$

$$L_{f1} = 5.1597 \text{ m}$$

$$L_{f2} = 5.1597 \text{ m}$$

Para espiras utilizo láminas de acero de 10 x 75 mm de sección con un peso distribuido de:

$$\varpi_{espi.} = 7.1 \frac{Kg}{m}$$

Entonces, procedo a calcular el peso total de las cintas, *con la siguiente fórmula:*

$$\varpi_i = \frac{\varpi_{espi.} * L_{fi}}{L_1}$$

Obteniendo:

$$\varpi_1 = 244,475 \frac{N}{m}$$

$$\varpi_2 = 244,475 \frac{N}{m}$$

$$\varpi_T = \varpi_1 + \varpi_2$$

$$\varpi_T = 488,950 \frac{N}{m}$$

Ahora, calculo las reacciones que son producidas por el peso de la espiral de cintas; y, de acuerdo al diagrama de la fig. 8, realizo primero en sumatorio de momentos respecto al punto B y obtengo:

$$\oplus \downarrow \Sigma M_B = 0$$

$$\frac{\varpi_T L_2 L_1}{2} + R_A L_1 = 0$$

$$R_A = \frac{\varpi_T L_2}{2}$$

$$R_A = 359,378 \text{ N}$$

Similarmente, para la reacción en el punto A, realizo un sumatorio de fuerzas, encontrando:

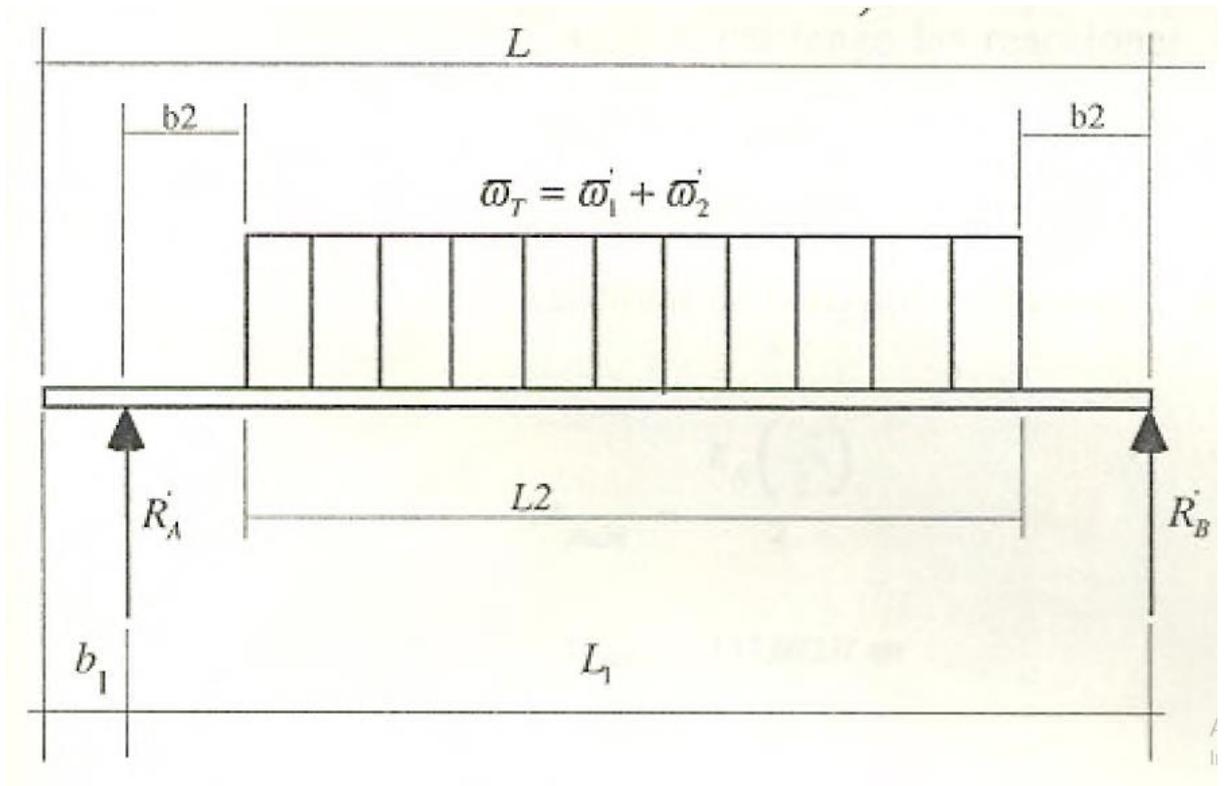


Figura 3-9: Diagrama de fuerza del eje peso de las cintas.

Fuente: (Vallejo, 2017)

$$\oplus \downarrow \Sigma F_y = 0$$

$$-w_T L_2 + R_A + R_B = 0$$

$$R_A = R_B$$

$$R_B = 359,378 \text{ N}$$

Una vez que tengo las reacciones, realizo los diagramas de fuerza cortante y momento flector para la carga del peso de las cintas, obteniéndose así:

$$M_{\text{máx}} = \frac{R_A \left(\frac{L_2}{2} \right)}{2}$$

$$M_{m\acute{a}x} = 132,0720 \text{ N.m}$$

$$x = \frac{L_2}{2}$$

$$x = 0,735 \text{ m}$$

El punto "x" en el que tiene lugar el máximo momento flector debido al peso de las cintas es aproximadamente el mismo que para el caso del peso propio del eje (Vallejo, 2017).

Entonces, para trabajar del lado de la seguridad, sumo los momentos máximos individuales, por simple aplicación del principio de superposición. Así:

$$M_{m\acute{a}xT} = M_{m\acute{a}x \text{ cin.}} + M_{m\acute{a}x \text{ eje}}$$

$$M_{m\acute{a}xT} = 174,925 \text{ N.m}$$

Calculo de torque.

Una vez determinado el momento máximo, procedo a calcular el torque requerido por la máquina para poder mover la masa total de producto (Vallejo, 2017).

Debido a que, como mencioné anteriormente, el movimiento del producto durante el proceso de mezcla debe tener un carácter turbulento (al azar), es muy complicado dar un modelo matemático simple que describa tal variación (Vallejo, 2017). Sin embargo, se puede proceder de la siguiente manera:

Con la cinta externa se desplazará un volumen V_2 :

$$V_2 = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4} * L_2$$

$$V_2 = 0.5431 \text{ m}^3$$

Mientras tanto, con la cinta interna se desplazará un volumen V_1 :

$$V_1 = \frac{\pi D_1^2 L_2}{4}$$

$$V_1 = 0.5657 \text{ m}^3$$

De acuerdo a las recomendaciones sobre el volumen de trabajo de las mezcladoras, multiplico el volumen V_2 por un factor 0,9 debido a que se especifica que el volumen de producto a mezclar debe cubrir el 90 % del volumen de las cintas mezcladoras, aproximadamente (Vallejo, 2017). Entonces:

$$V_2 = 0.5431 \text{ m}^3 * 0.9$$

$$V_2 = 0.489 \text{ m}^3$$

Una vez conocido el volumen a mover, se puede calcular el torque necesario para poder accionar el mecanismo, así:

Espira exterior:

$$V_2 = 0.489 \text{ m}^3$$

$$P_2 = m_2 g$$

$$P_2 = \rho V_2 g$$

$$P_2 = 3105,356 \text{ N}$$

Entonces, el torque será:

$$T_2 = P_2 * \frac{D_2}{2}$$

$$T_2 = 1521,624 \text{ N.m}$$

En forma similar, para la espira interior se tendrá:

$$V_1 = 0.5657 \text{ m}^3$$

$$P_1 = m_1 g$$

$$P_1 = \rho V_1 g$$

$$P_1 = 3609,099 \text{ N}$$

Y el torque será:

$$T_1 = P_1 * \frac{D_1}{2}$$

$$T_1 = 1263,185 \text{ N.m}$$

Ahora, para calcular el torque total se debe sumar las torques requeridas para desplazar cada volumen por separado; entonces:

Torque total:

$$T_T = T_1 + T_2$$

$$T_T = 2784,809 \text{ N.m}$$

Diámetro del eje

Una vez que conozco los valores de momento flector máximo y torque requerido para accionar e l mecanismo, procedo a realizar un análisis del elemento que soportará la flexión y torsión, árbol de transmisión, determinando los valores de los respectivos esfuerzos normal y cortante para el estado de esfuerzo en cuestión (Vallejo, 2017).

De esta manera, hago un análisis en base al criterio de fluencia y considerando los dos efectos, de flexión y torsión. Así mismo, considero:

- Cargas estáticas.
- Eje macizo de sección circular.

El esfuerzo debido al efecto de flexión está dado por la fórmula:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Donde c es la distancia del eje neutro a la fibra de estudio, e I es la inercia del elemento. Para la parte exterior del eje que es donde el esfuerzo es máximo, se tiene:

$$\sigma = \frac{32M}{\pi d^3}$$

Donde M es el momento flector total calculado anteriormente.

Básicamente, considero la acción de las cargas sobre el eje, como que actúan en una sola dirección (dirección x), por lo que la fórmula anterior indica el esfuerzo de flexión en la dirección " x ", considerándolo nulo en la dirección " y " (Vallejo, 2017).

Para torsión, se tiene una fórmula muy parecida, que es:

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

Donde reemplazando el momento polar de inercia por el apropiado para el caso de un eje macizo, se tiene:

$$J = \frac{\pi d^4}{32}$$

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3}$$

En dicha fórmula, T es el torque aplicado en el eje, cuyo valor se calculó en la parte anterior correspondiente (Vallejo, 2017).

Una vez que he determinado los esfuerzos normal y cortante para el estado de esfuerzo dado, utilizo el círculo de Mohr para hallar los valores de esfuerzos principales y cortante máximo (Vallejo, 2017).

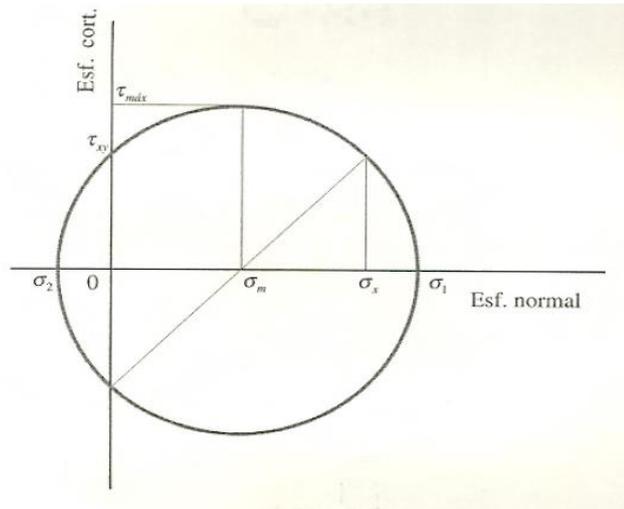


Figura 3-10: Círculo de Mohr

Fuente: (Vallejo, 2017)

Analizando la geometría del círculo de Mohr, obtengo fácilmente las expresiones de esfuerzos principales y de corte máximo. Así:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\sigma_m^2 + \tau_{xy}^2}$$

$$\sigma_x = \sigma_m$$

⇒

$$\tau_{m\acute{a}x} = \sqrt{\left(\frac{16M}{\pi d^3}\right)^2 + \left(\frac{16T}{\pi d^3}\right)^2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{16}{\pi d^3} \sqrt{M^2 + T^2}$$

Ahora:

$$\sigma_1 = \sigma_m + \tau_{m\acute{a}x}$$

$$\sigma_2 = \sigma_m - \tau_{m\acute{a}x}$$

⇒

$$\sigma_1 = \frac{16}{\pi d^3} \left(M + \sqrt{M^2 + T^2} \right)$$

$$\sigma_2 = \frac{16}{\pi d^3} \left(M - \sqrt{M^2 + T^2} \right)$$

Para estos valores literales, se puede dar el correspondiente numérico cuando se determine las dimensiones que faltan (Vallejo, 2017).

Luego de haber encontrado la magnitud de los esfuerzos principales y de corte máximo, analizo el elemento para prevenir las fallas. Para ello voy a utilizar el criterio de fluencia y la teoría del esfuerzo cortante máximo (Vallejo, 2017). Dicha teoría establece que el esfuerzo cortante máximo no debe ser igual a la mitad del límite de fluencia, es decir:

$$\frac{S_y}{2} = \tau_{m\acute{a}x}$$

$$\frac{S_y}{2} = \frac{16}{\pi d^3} \left(\sqrt{M^2 + T^2} \right)$$

A este criterio hay que combinar el de factor de seguridad, que disminuye aún más el máximo esfuerzo al corte que resistirá el elemento en cuestión (Vallejo, 2017). Así:

$$\frac{S_y}{2\eta_y} = \frac{16}{\pi d^3} \left(\sqrt{M^2 + T^2} \right)$$

Donde:

$$\eta_y = \text{factor de dise\~{n}o}$$

Para el eje tomo un factor de seguridad de 2, y con el límite de fluencia del material de construcción, acero tipo SAE 304, se tendrá:

$$S_y = 35000 \text{ psi}$$

$$S_y = 241,15 \text{ MPa}$$

$$\eta = 2$$

Como:

$$\frac{S_y}{2\eta_y} = \frac{16}{\pi d^3} (\sqrt{M^2 + T^2})$$

\Rightarrow

$$d = \sqrt[3]{\frac{32 \eta}{\pi S_y} \sqrt{M^2 + T^2}}$$

Ahora reemplazo los valores correspondientes en la ecuación anterior, para determinar el diámetro necesario del eje, para que el mismo no falle al estar sometido a las cargas de estudio; es decir cuando este en operación (Vallejo, 2017). Entonces:

$$d = 0.06177 \text{ m}$$

Con este valor del diámetro puedo ya determinar los esfuerzos a que está sometido el eje, al igual que las torques y momentos que actúan sobre él (Vallejo, 2017). De esta manera:

$$\sigma_x = 7.6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{xy} = 60.18 \text{ MPa}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = 60.30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = 64.09 \text{ MPa}$$

$$\sigma_2 = 56.52 \text{ MPa}$$

Calculo del recipiente.

Como mencioné anteriormente, el recipiente será un cuerpo compuesto por un semicilindro de pared delgada en la parte inferior, y un prisma hueco en la superior (Vallejo, 2017).

Las dimensiones externas ya fueron calculadas en la sección 3.2.2, quedando en esta parte el cálculo del espesor de pared.

Para calcular el espesor de pared, debo considerar el valor mínimo dado por la teoría de pared delgada, más un valor adicional considerando la corrosión. Generalmente, este último factor es el que domina el diseño (Vallejo, 2017).

Cilindro de pared delgada.

Para el cálculo de la parte semicircular de la base del recipiente de la mezcladora.

Utilizo la teoría de los cilindros de pared delgada.

Sin embargo, dicho cilindro soportará una presión muy pequeña, por lo que obtendré un valor de espesor de pared muy pequeño (Vallejo, 2017).

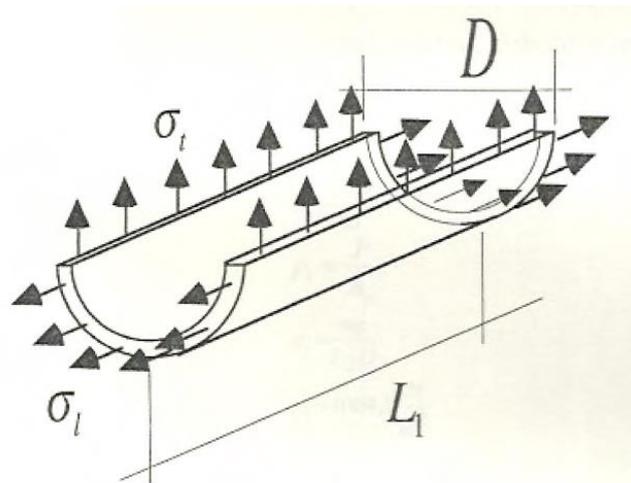


Figura 3-11: Estado de esfuerzos para un cilindro de pared delgada.

Fuente: (Vallejo, 2017)

En la figura anterior, se muestra un diagrama donde se aprecian los esfuerzos que actúan en el cascarón cilíndrico, donde considero que la presión exterior es nula (Vallejo, 2017).

Entonces, para calcular el espesor de pared, y de acuerdo a la teoría de cilindro de pared delgada, empleo el esfuerzo circunferencial, debido a que representa el doble del esfuerzo longitudinal (Vallejo, 2017). Así:

$$\sigma_t = \frac{P_i D}{2t}$$

$$P_i = \frac{P}{A_p}$$

$$P_i = \frac{mg}{L_2 D}$$

$$P_i = 4004.1 \frac{N}{m^2}$$

Empleando un factor de seguridad de 2.

$$t = \frac{P_i D}{2 \sigma_1}$$

$$t = \frac{P_i D}{S_y}$$

Utilizaré acero ATST 304 con S_y 35Kpsi. Entonces, el espesor de las planchas obtenido será:

$$t = 0.0000166 \text{ m}$$

Factor de corrosión

Para determinar este valor se emplea la fórmula:

$$F.C. = V_c V_u$$

Donde:

$$F.C. = \text{factor de corrosión}$$

$$V_c = \text{velocidad de corrosión}$$

$$V_u = \text{vida útil}$$

El valor de velocidad de corrosión lo obtengo de la tabla para dicho fin, tomando como tipo de atmósfera la industrial, debido a que este será el medio en que operará la máquina (Vallejo, 2017).

La vida útil es un parámetro que básicamente lo define el cliente y/o diseñador (Vallejo, 2017).

Sin embargo, un tiempo razonable de operación de la máquina es 25 años, que será lo que usaré. Así:

$$F.C. = \left(5 \times 10^{-3} \frac{\text{pul}}{\text{año}} \right) (25 \text{ años})$$

$$F.C. = 0.125 \text{ pul}$$

$$F.C. = 3.175 \text{ mm}$$

Espesor total.

Como ya mencioné, el espesor total será la suma de los valores antes calculados, entonces:

$$t_T = t + F.C.$$

$$t_T = 3.1751 \text{ mm}$$

Este espesor es el mínimo necesario para satisfacer los requerimientos de diseño; sin embargo, comercialmente no es factible por lo que *se* tomara un espesor de 4 mm, tomando en consideración que el recipiente deberá ser lo suficientemente rígido (Vallejo, 2017).

De la misma manera, y puesto que la parte inferior es la crítica y la que soportará el volumen del producto, utilizaré un espesor de 4 mm para el resto del recipiente, dándole así rigidez y homogeneidad al mecanismo (Vallejo, 2017).

Calculo del sin fin de cintas

Las hélices del mezclador constituyen elementos ya estandarizados, y las dimensiones de su sección transversal se encuentran enlistadas (tabla 4), de acuerdo al valor del diámetro y/o paso de las mismas (Vallejo, 2017).

Entonces, para la sección transversal rectangular de las cintas. Tendré:

$$b = 3 / 8 \text{ pul} = 9,53\text{mm.}$$

$$h = 3\text{pul} = 76,2 \text{ mm}$$

Una vez determinadas estas dimensiones, investigo comercialmente los materiales y selecciono una platina de 10x75mm.

Calculo de las barras soporte de las hélices.

Las hélices estarán soportadas y unidas al eje por medio de barras de sección circular soldadas a las mismas (Vallejo, 2017).

Para calcular el diámetro necesario de las barras para que operen libres de falla, las idealizo como empotradas y sometidas a flexión pura. Así, realizo el análisis de cortante y flector para calcular el momento máximo que actuará sobre ellas, de acuerdo a las cargas mostradas (Vallejo, 2017).

$$\oplus \downarrow \Sigma M_A = 0$$

$$-P_2 \frac{D_2}{2} - P_1 \frac{D_1}{2} + M_A = 0$$

$$M_A = \frac{P_1 D_1 + P_2 D_2}{2}$$

$$M_A = 2784,831 \text{ N.m}$$

$$\oplus \downarrow \Sigma F_y = 0$$

$$R_w = P_1 + P_2$$

$$R_w = 6714,5 \text{ N}$$

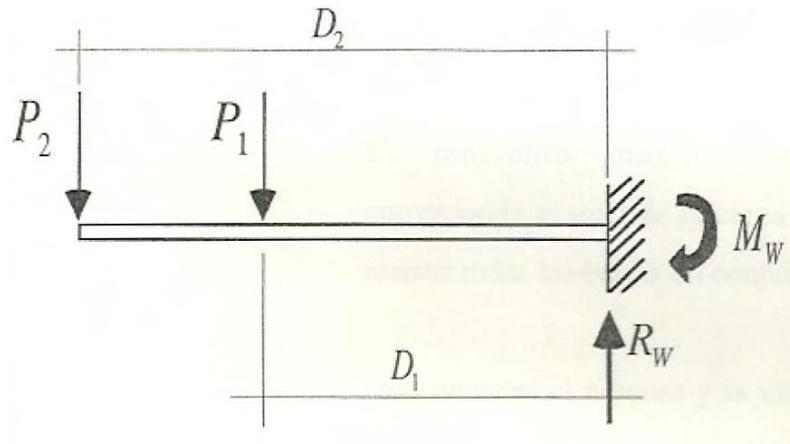


Figura 3-12: Diagrama de fuerzas para la barra soporte de las cintas

Fuente: (Vallejo, 2017)

Ahora, con las reacciones calculadas, trazo el diagrama de cortante y flector para la barra y determino el momento flector máximo (Vallejo, 2017).

Del diagrama de momento flector de la figura correspondiente, se observa que el momento máximo corresponde al de empotramiento (Vallejo, 2017).

El momento máximo encontrado corresponde al total de la carga que deben resistir todas las barras en conjunto. Para conocer el número y la ubicación de las barras, me baso en las recomendaciones que establecen que las barras deben ir colocadas *cada 90* grados alternadamente, una vertical y otra horizontal (Vallejo, 2017).

Como anteriormente calculé que las hélices tendrían 1.5 espiras, puedo establecer el número de barras que se necesitarán (Vallejo, 2017).

Si cada espira tiene 360 grados entonces habrán 12 barras; por lo tanto el momento máximo se repartirá entre las 12 barras (Vallejo, 2017). Entonces:

$$M_{m\acute{a}x. \text{ barra}} = 232,07 \text{ N.m}$$

El esfuerzo de flexión será:

$$\sigma_{\text{barra}} = \frac{32 M}{\pi d^3}$$

$$\sigma_{barra} = \frac{2363,838 \text{ N.m}}{d^3}$$

Ahora considero que la barra está soportando flexión pura, es decir el esfuerzo cortante es cero. Por lo tanto, del círculo de Mohr, tengo que el esfuerzo cortante máximo del elemento será la mitad del esfuerzo de flexión (Vallejo, 2017). Es decir:

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{\sigma_{barra}}{2}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{1181,919 \text{ N.m}}{d^3}$$

Una vez determinado el esfuerzo cortante máximo del elemento, aplico el criterio de fluencia y la teoría del esfuerzo cortante máximo para determinar la dimensión que necesito (Vallejo, 2017).

$$\frac{S_y}{2} = n\tau_{m\acute{a}x}$$

$$d^3 = \frac{4724,67594}{S_y} m^3$$

$$d = 0,0269 \text{ m}$$

Entonces, selecciono un diámetro que exista comercialmente; así elijo para este elemento un diámetro de 30 mm (Vallejo, 2017).

Sistema dinámico de la máquina, cálculo de la potencia

Para determinar el valor de la potencia que el sistema requiere, primero se calcula la potencia teórica necesaria (nominal), agregando luego una cantidad adicional debido a las pérdidas que podrán existir.

La potencia requerida para el accionamiento de la máquina se calcula conociendo el torque que se necesita transmitir y la velocidad a la que rotará el árbol central de la mezcladora. El primero ya determiné al momento de realizar el cálculo del eje, mientras que para determinar la

velocidad de operación me remito a pruebas y datos estadísticos, los que han demostrado que dicha velocidad debe estar entre las 35 y 50 rpm (Vallejo, 2017). De esta manera, selecciono como velocidad de rotación del árbol. 50 rpm, siendo entonces la potencia requerida la siguiente:

$$N = 50rpm$$

$$T = 2784.81 N.m$$

$$P = T * N$$

$$P = 14581.22538 W$$

$$P = 14.6 KW$$

Este valor de potencia es básicamente el valor nominal, pues para poder dar el valor total es necesario considerar las pérdidas que tendrá el motor. Para obtener dicho valor, me remito al valor de la eficiencia de la máquina, que para el presente caso es del 80 % (Vallejo, 2017). Entonces, la potencia total requerida será:

$$P_{TOTAL} = P_{NOMINAL} * \frac{100}{Eficiencia}$$

$$P_{TOTAL} = 24.44 HP$$

De acuerdo al valor calculado anteriormente, investigo la del motor en el mercado y los encuentro a disposición en 25 HP, que es el valor idóneo para la aplicación de estudio (Vallejo, 2017).

Calculo de los componentes mecánicos para la máquina.

Moto-reductor

Para el accionamiento de la mezcladora se utilizará un motor cuya potencia calculé anteriormente. En el mercado existen a disposición paquetes de moto-reductores, el cual selecciono debido a que el mecanismo de mezclado debe rotar a bajas velocidades; por lo tanto selecciono un moto-reductor de 25 HP y 70 rpm (Vallejo, 2017).

Sistema piñón-cadena

Para la transmisión de la potencia utilizaré un sistema de piñón - cadena, pues éste es el sistema idóneo para trabajar a bajas revoluciones. Para ello, utilizo el catálogo MARTIN, SPROCKET AND GEAR, en el que selecciono los elementos de acuerdo a la potencia y revoluciones requeridas para el trabajo (Vallejo, 2017).

De esta manera utilizo la tabla E 164 del referido catálogo y encuentro que debo emplear una cadena No. 140 con 25 dientes, con el consiguiente tipo de piñón. Las dimensiones de interés las encuentro en el mismo catálogo (Vallejo, 2017).

Para calcular el número de dientes del piñón restante debo considerar la velocidad a que operará la mezcladora, utilizando para ello la-relación de velocidades siguiente:

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{Z_2}{Z_1}$$

Z_1 Es el número de dientes del piñón mayor, cuyo valor se desea determinar, N es el número de revoluciones de cada piñón y Z_2 es el número de dientes del piñón menor. Los valores conocidos son:

$$N_1 = 70 \text{ rpm}$$

$$N_2 = 50 \text{ rpm}$$

$$Z_1 = 25 \text{ dientes}$$

Entonces, Z_2 será de 35 dientes. Con este valor recalculo la velocidad que tendré en el eje y encuentro que será la que necesito, es decir, 50 rpm.

De esta manera el sistema piñón-cadena estará formado por:

Cadena: No. 140

Piñón menor: No. 140; 25 dientes

Piñón mayor: No. 140; 35 dientes.

Chumaceras

Para seleccionar estos elementos debo determinar la carga radial que soportará al estar en operación, y con ello remitirme a los catálogos correspondientes (Vallejo, 2017).

Al analizar el árbol de transmisión, encontré las reacciones que se deben soportar debidas al peso propio del eje y al peso de las cintas mezcladoras, siendo ambas en dirección vertical dirigidas hacia abajo; por lo tanto, aplicando el principio de superposición, encuentro la carga que debe soportar el cojinete (Vallejo, 2017).

Así:

$$R_A = 532.01 \text{ N}$$

$$R_B = 523.87 \text{ N}$$

Con la tabla LTFE-SERVICE FACTOR CHART determino el factor de servicio para el presente caso, utilizando una vida mínima (L-10) requerida de 5 000 horas y la recta de carga moderada; así obtengo un factor de 3.2 y la carga máxima del cojinete será este factor multiplicado por la reacción del apoyo, es decir:

Carga máxima = factor de servicio * Reacción de apoyo

Carga máxima = J 702.43 N

En el catálogo SKF para rodamientos, determino la chumacera en función del diámetro del árbol de transmisión, seleccionando una chumacera de 65 mm de diámetro cuya designación es 630313 BA, presentando una capacidad de carga muy superior a la que se requiere, por lo que su elección es correcta.

Cabe indicarse que el efecto de carga axial en las cintas de mezclado se contrarresta, debido a que existe un movimiento relativo de producto en direcciones contrarias, por lo que puede ser despreciado (Vallejo, 2017).

Cilindro neumático

La descarga del producto, una vez que se ha cumplido con la operación de mezcla, se realiza a un extremo del recipiente aprovechando el movimiento de las partículas. Para tal efecto se diseña una compuerta en la parte inferior del recipiente, la misma que será accionada por un cilindro neumático (Vallejo, 2017).

La compuerta de descarga consistirá en un cuadrado de 30 cm de lado, y será del mismo material del recipiente, es decir, Acero AISI 304; por lo tanto se puede fácilmente calcular el peso de la misma, siendo de 4.0 Kg Con este valor se puede seleccionar el cilindro, de acuerdo a la capacidad de carga y a la carrera del émbolo que se requiera (Vallejo, 2017).

Para el caso de estudio se requiere un cilindro neumático de doble efecto, con capacidad de anclamiento, y que pueda desplazarse una carrera de 30 cm; la capacidad de carga mínima deberá ser de 15 Kg (Vallejo, 2017).

Incorporación de líquidos

En el compostaje se generan lixiviados que pueden ser utilizados en estos procesos cuando el grado de humedad de los materiales a utilizar está por debajo de los valores deseados para que se desarrolle el proceso correctamente a (Cataluña, 2016).

Etapas de descomposición

En esta etapa se da la descomposición por acción de los microorganismos de las moléculas más fácilmente degradables de los lodos residuales liberando energía en forma de calor, lo cual aumenta la temperatura de las pilas de compostaje y evapora parte del agua contenida en este material, también se forman ácidos orgánicos lo que influye en los valores de pH acidificando la mezcla compostada (Cataluña, 2016).

Por el proceso de descomposición disminuyen los tamaños de las pilas cambiando así su volumen y peso inicial, llevando a la estabilidad parcial y la higienización del material si las condiciones son óptimas para la actividad microbiana (Cataluña, 2016).

Como esta etapa es la que requiere de la mayor actividad biológica hay que controlar cuidadosamente las condiciones de trabajo y así prevenir:

Tabla 3-7: Parámetros de control en la etapa de descomposición.

Perdidas de nitrógeno en forma de NH ₃	Vigilar la relación C/N de las pilas con lodos residuales añadiendo materiales complementarios.
Condiciones anaerobias	Voltear las pilas de compost cada 3 días o controlar el tamaño de las partículas en el compost.
Temperaturas excesivas	Aírear, agregar agua necesaria.

Fuente: (Cajas, 2018)

Superficie necesaria

En la determinación del área necesaria de descomposición de cada pila hay que tener en cuenta factores como el volumen de los materiales a utilizar, en este caso los lodos residuales para lo cual se realizó el siguiente análisis para determinarlo (Cajas, 2018).

- Densidad de los lodos residuales

Para el cálculo de la densidad se tomó datos utilizando un recipiente cilíndrico de peso inicial 2kg y una muestra de lodos residuales obtenidos la cual se colocó dentro del recipiente previamente pesado y tarado por varios días (Cajas, 2018).

Tabla 3-8: Cálculo de densidad de lodos PTAR “Villa la Unión”

Días	Peso del recipiente vacío	Recipiente más muestra	Peso de la muestra
1	2,00	18,02	16,02
2	2,00	18,05	16,05
3	2,00	19,00	17,00
4	2,00	18,04	16,04
5	2,00	18,90	16,90
6	2,00	18,00	16,00
7	2,00	18,30	16,30

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Después se realizó el cálculo del promedio de pesos de las muestras con la siguiente fórmula:

$$Promedio = \frac{P1 + P2 + P3 + P4 + P5 + P6 + P7}{7}$$

$$Promedio = \frac{114,31}{7}$$

$$Peso promedio = 16,33 Kg$$

Para la obtención de la densidad dividimos para el volumen del recipiente utilizado.

$$Densidad = \frac{Masa}{Volumen}$$

$$Densidad = \frac{16.33 Kg}{0.07 m^3}$$

$$Densidad = 233.29 Kg/m^3$$

Cálculo y diseño de las pilas de compostaje

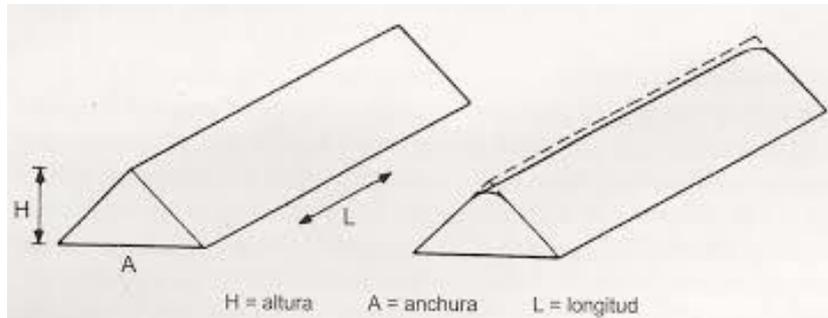


Figura 3-13: Diseño de pilas de compost

Se calculó el volumen de lodos obtenido mensualmente más la cantidad de residuos orgánicos que se estimó para procesar, se dividió la totalidad de los residuos entre el peso volumétrico de estos.

Cálculo del valor volumétrico para el diseño de las pilas de compost:

$$\text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

$$\text{volumen} = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}}$$

$$\text{volumen: } \frac{250 \text{ kg}}{233.29 \text{ Kg}/\text{m}^3}$$

$$\text{volumen} = 1.07 \text{ m}^3$$

Se dispone procesar unos 250 kilogramos de lodos los cuales al tener una densidad de $233.29 \text{ Kg}/\text{m}^3$ dio un valor volumétrico de 1.07 m^3 , valor que es aceptable para la creación de pilas debido a que el valor mínimo es de 1 m^3 (ENAC, 2015) .

Determinación del largo del montículo.

$$Volumen = \pi * h * ancho * \frac{largo}{2}$$

Sustituyendo, volumen, altura y ancho recomendados se obtiene:

$$Largo = \frac{Volumen}{\pi * 1 * 1} * 2$$

$$Largo = \frac{1.07 m^3}{\pi * 1 * 1} * 2$$

$$Largo = 1 m$$

Por lo tanto las dimensiones del montículo que se genera en una semana son:

$$Largo = 1 m$$

$$Ancho = 1 m$$

$$Altura = 1 m$$

Para el diseño del sistema de tratamiento de lodos residuales, se determinó la cantidad de fango que produce la Planta “Villa la Unión”, con estos datos se calculó el número, dimensiones y volumen de las pilas que se deben formar, para ello se calculó el volumen de un montículo que se obtiene en un mes de la recolección de lodos residuales.

La superficie que el GAD de Colta destinada para la construcción de la planta de compostaje es de $50m^2$, considerando que el tiempo requerido por las pilas para completar el proceso y quedar lista como composta es de 3 meses en promedio.

Basándonos en los cálculos del taller – técnicas de compostaje (FAO 2013), para la obtención de una pila de composta y con los pesos obtenidos del estudio de generación de materia orgánica, se obtuvieron las medidas de un montículo que se puede formar en un mes.

Con el fin de diseñar la planta de compostaje se calculó el volumen de residuo mensual que ésta recibirá, dividiendo la cantidad de residuos esperados entre el peso volumétrico de ellos.

Se hizo el cálculo con los resultados del ingreso de materia orgánica que se genera el mercado central del cantón Colta.

Etapas de maduración.

Es la etapa final del proyecto en la que se obtiene un compost estable a base de lodos residuales con características parecidas a las del suelo, aunque en esta etapa todavía se puede observar la disgregación de materia orgánica, es aquí que se puede demostrar que la temperatura que fue monitoreada durante varias semanas tiende a bajar hasta llegar a la temperatura ambiente la cual revela el fin del proceso de compostaje (Tipán, 2016).

Se puede comprobar que la actividad de los microorganismos es menos crítica que la anterior y por tal motivo no la controlamos tan exhaustivamente, pero hay que vigilarla para evitar:

- Temperaturas elevadas
- Falta de humedad (Tipán, 2016).

Sistemas tecnológicos

Los recursos tecnológicos o tecnología que podemos emplear en esta fase son parecidos a los de la etapa de descomposición, pero debido a que en la etapa de maduración no realizamos un control exhaustivo se puede trabajar con alternativas más simples como es la utilización de las pilas comunes de compostaje las cuales no afectan a esta etapa (Tipán, 2016).

Estimación del compost obtenido al final del proceso.

Para considerar la cantidad del compost que se puede obtener al final del proceso se debe establecer las salidas junto con las entradas en cada operación unitaria, haciendo un balance de materiales en las operaciones en donde exista alguna pérdida o ganancia, ya sea en peso, volumen, humedad, transformación física, etc. (Tipán, 2016).

Balances de masa en el proceso de compostaje.

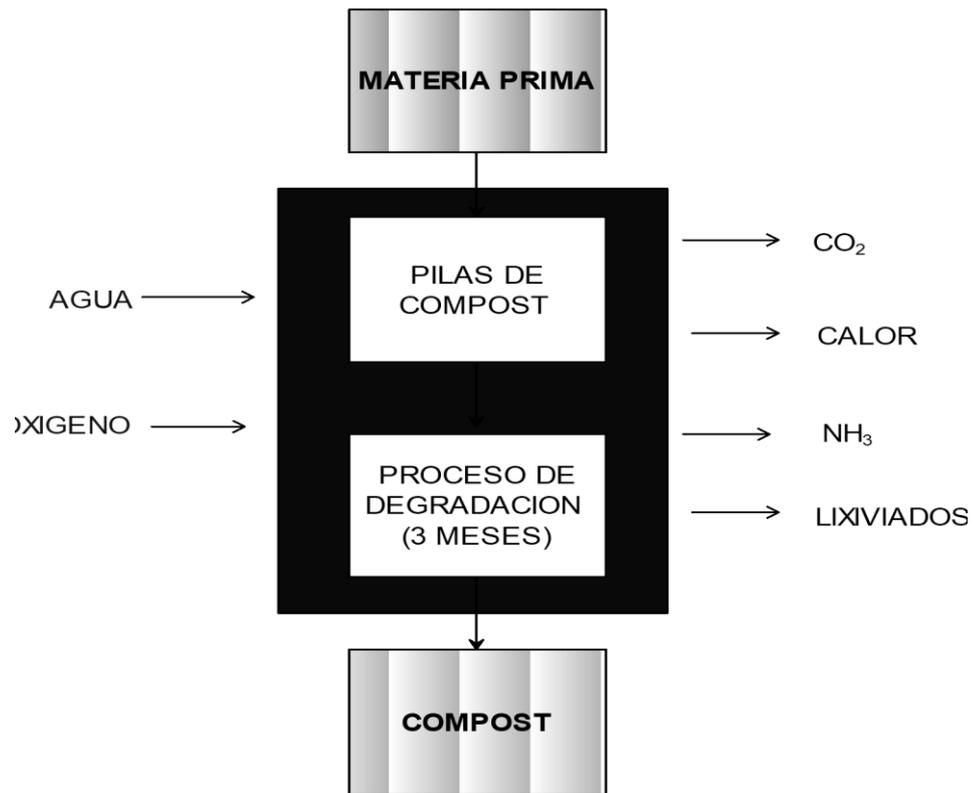


Figura 3-14: Balance de masas en el compostaje

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Secado

En este proceso la humedad puede descender, quedando una pila de hasta un 40 % en peso. El volteo se lo realizó con el fin de seguirle suministrando oxígeno a la pila de compostaje. (Miriam Alcolea & Cristina G. 2000 p.14).

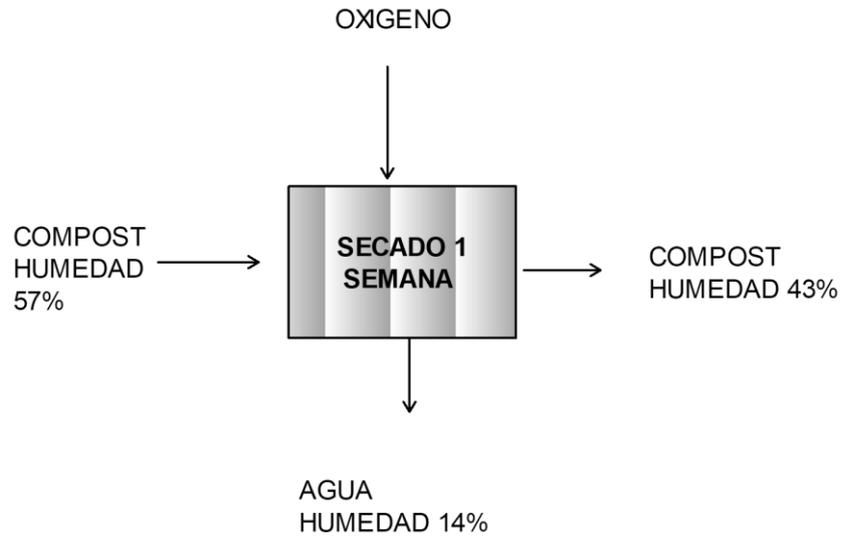


Figura 3-15: Secado

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Cribado

En esta operación unitaria se obtienen tanto el compost como los residuos que no lograron degradarse por completo, pudiendo ser restos de frutas dado que estos materiales son los más complejos para su degradación por su tamaño y dureza (Tipán, 2016).

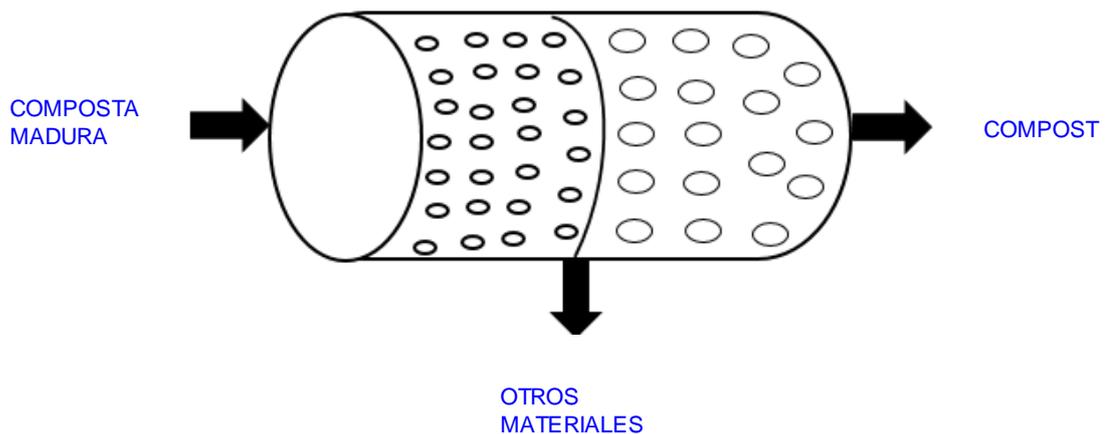


Figura 3-16: Cribado

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Para estimar la cantidad de compost obtenido al final de esta operación es necesario utilizar los datos de las estimaciones que se consideraron respecto a las pérdidas de peso durante el proceso (Tipán, 2016).

3.2.5 Métodos, técnicas e instrumentos.

Procedimiento para muestreo de lodos residuales en la planta de Tratamiento de Aguas Residuales Villa la Unión.

- Ensayos a realizar metales pesados: cadmio, cromo, cobre, mercurio, níquel, plomo, zinc.
- Georreferenciación del punto de muestreo.
- Se usó guantes de látex para la manipulación de los lodos residuales.
- Se utilizó un envase de vidrio para recolectar la muestra de lodo residual.
- Se pesó 250 gramos de lodos para la muestra en la balanza digital.
- Se etiquetó la muestra indicando: Tipo de muestra, número de muestra, fecha, hora y responsable del muestreo.
- La botella de vidrio herméticamente sellada se colocó en un cooler con geles refrigerantes congelados.
- Se completó todos los campos del registro.
- La muestra fue almacenada y mantenida a una temperatura de refrigeración constante.
- Se firmó la Cadena de custodia para la entrega de la muestra a los técnicos del laboratorio CESTTA de la ciudad de Riobamba para su posterior análisis (ENAC, 2015)

Método de análisis

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD
Cadmio	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg
Cromo	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg
Cobre	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg
Níquel	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg
Plomo	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg
Zinc	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg
Mercurio	EPA 3051 a / EPA 245.5	mg/Kg

Tabla 3-9: Instrumentos durante el muestreo

Durante el Muestreo.	
• 1 Cooler con gel refrigerante	• Botas de caucho
• 1 botella de vidrio	• Casco
• 1 rapidografo	• Cámara fotográfica.
• GPS GPS Sport / Randonnée Garmin ETREX 10	• Libreta para apuntes
• Balanza Digital	• Guantes desechables
	• Mascarillas

Realizado por: Cruz Katty 2019.

Tabla 3-10: Recolección de materias primas para compost (lodos residuales).

Materiales para recolección de materia prima	
• 1 Balde	• Botas de caucho
• 1 Lampa	• Casco
• 1 Azadón	• Cámara fotográfica.
• Fundas de basura	• Libreta para apuntes
	• Guantes desechables
	• Mascarillas

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Montaje de la pila de compost.

- La pila de compost fue preciso localizarla en un lugar resguardado de las condiciones climáticas adversas.
- La preparación se realizó manualmente.
- Las dimensiones de la pila fueron 1 m. de ancho por 1 m. de alto y 1 m de longitud.
- La pila se hizo en capas: la primera capa llevo restos de poda verde (hojas verdes), la segunda capa restos vegetales (cascaras de papas, vainas de frijoles, vainas de arvejas, cascaras de zanahoria, restos de cebollas), la tercera capa lodos residuales (de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales “Villa la Unión”) la cuarta capa estiércol de porcino la quinta capa restos de poda seca (hojas de árboles secas) y así sucesivamente hasta alcanzar la altura deseada, por último se añadió melaza y panela molida.
- A medida que se fue elaborando la pila fuimos agregando agua para que se humedezca bien los diferentes mantos y para que provoque la fermentación aerobia.
- Se tomó la temperatura y el pH in-situ para obtener los primeros datos de estos parámetros de la pila.
- Se tomó también una muestra para obtener la humedad y salinidad inicial.

- Finalmente se cubrió con un plástico negro para mantener las condiciones de temperatura y humedad y se aseguró el plástico con ladrillos para que este se mantenga en su posición.
- Se realizó un control diario de los parámetros.
- Se realizó volteo semanal para mantener una adecuada aireación y humedad en la pila (Román, y otros, 2013).

Métodos

Para crear el diseño de la pila de compostaje como propuesta técnica, 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. La materia orgánica vegetal poda verde y la poda seca de los árboles se sometió a un proceso de reducción de tamaño. Una vez ya puestos todos los residuos en la pila de compostaje se procedió a controlar diariamente la temperatura, pH, humedad salinidad para realizar volteos semanales. Ya finalizado el proceso se tomó muestras para hacer los respectivos análisis del compost final (Cornejo, y otros, 2017).

Tabla 3-11: Instrumentos para la pila de compostaje

Materiales	Herramientas y Equipos
Restos de podas verdes	Palas
Restos de Leguminosas	Azadones
Restos de vegetales	Baldes
Podas secas	Plástico negro
Lodos residuales	Ladrillos
Melaza	Medidor de pH
Panela	Conductímetro
Estiércol de porcino	Desecador
Agua	Mufla
	Balanza digital

Realizado por: Cruz Katty 2019.

3.2.6 Evaluación de variables de control.

Entre las variables más importantes a contralar tenemos la temperatura, la humedad, pH y salinidad.

Para el control de las condiciones se realizar con las siguientes técnicas:

PARAMETRO	FUNDAMENTO	PROCEDIMIENTO	CÁLCULO
Temperatura	<p>La temperatura tiene un amplio rango de variaciones de la fase del proceso. El compostaje ambiente y puede subir hasta los 65 °C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (Calentamiento Externo) (Cornejo, y otros, 2017).</p> <p>Es necesario que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización. (Cornejo, y otros, 2017).</p> <p>Se toma la temperatura con un termómetro que será introducido en distintos puntos dentro de la pila de compostaje, donde la debe estar entre 35° C a 70°C (Cornejo, y otros, 2017).</p>	<p>Procedimiento</p> <p>Se toma la temperatura in-situ.</p> <p>Se introdujo directamente el termómetro de Hg en la pila de compost.</p> <p>Y se procedió a la lectura de la temperatura (Cornejo, y otros, 2017).</p>	Lectura directa
Humedad	<p>La humedad es un parámetro estrechamente vinculado a los microorganismos. La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor de 55 %, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas. Se obtendrán los valores por el método gravimétrico (Cornejo, y otros, 2017).</p>	<p>Pesamos 500 g de la muestra a peso constante</p> <p>Colocamos la muestra dentro de la estufa a 80°C de 12 a 24 horas</p> <p>Volteamos la muestra cada cierto tiempo</p> <p>Sacamos la muestra de la estufa y la colocamos dentro de un desecador para que esta se enfríe.</p> <p>Pesamos la muestra hasta obtener un peso constante</p> <p>Calculamos los porcentajes de humedad con la siguiente formula: (Cornejo, y otros, 2017).</p>	$\%H = \frac{\text{peso húmedo} - \text{peso seco}}{\text{peso húmedo}} \times 100$

pH	El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso. El pH define la supervivencia de los microorganismos, donde la mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0-7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5- 8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2.	En un vaso de precipitación pesamos 5 g de muestra Agregamos 50 ml de agua destilada y agitamos hasta que la solución este homogenizada Introducimos los electrodos del medidor de pH y esperamos el valor calculado de pH Retiramos los electrodos y lavamos con agua destilada (Cornejo, y otros, 2017).	Lectura directa en el medidor de pH
Conductividad Eléctrica	La conductividad eléctrica esta determina por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su composición de sales y en menor grado por la presencia de iones amonio o nitratos formados durante el proceso (Cornejo, y otros, 2017). La conductividad eléctrica tiene generalmente a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, hecho que produce un aumento de la concentración de nutrientes. Ocurre a veces un descenso de la conductividad eléctrica durante el proceso, lo que puede deberse a fenómenos de lixiviación en la masa, provocados por la humectación excesiva de la misma (Cornejo, y otros, 2017).	En un vaso de precipitación pesamos 5 g de muestra Agregamos 50 ml de agua destilada y agitamos hasta que la solución este homogenizada Ajustamos el analizador para medir conductividad eléctrica Introducimos los electrodos y esperamos el valor de conductividad eléctrica Retiramos los electrodos y lavamos con agua destilada (Cornejo, y otros, 2017).	Lectura directa en el medidor

Realizado por: Cruz Katty 2019.

3.2.7 Validación del proceso de obtención de compost.

Validar el proceso de obtención de compost mediante la caracterización del mismo en base a la norma chilena NCH2880.C2003, el mismo que establece los requerimientos para el proceso, así como también para el producto terminado

El producto obtenido será evaluado, mediante la caracterización del mismo y comparado con la Norma Chilena NCH2880.C2003, donde indica los siguientes parámetros:

- **Requisitos sanitarios.-** Todas las clases de compost deben cumplir con los requisitos de presencia de patógenos como se establece en la Tabla:

Tabla 3-12: Requisitos Microbiológicos

Tipo de microorganismo	Tolerancia
1. Coliformes fecales	< a 1000 NMP por gramo de compost en base seca
2. <i>Salmonella sp</i>	AUSENCIA
3. Huevos de helmintos Ova helmíntica	Ausencia
4. Virus MS-2	Densidad Máxima < a 1 UFC por 4 g de compost, en base seca
5. <i>Listeria monocytogenes</i>	Ausencia
6. <i>Clostridium perfringens</i>	(10) 3 por gramo de compost
NMP= Número más Probable UFC= Unidad de Formación de Placas	

Fuente: Norma Chilena NCH2880.C2003

- **Contenido de nutrientes.-** Todas las clases de compost deben tener contenidos de nutrientes de acuerdo a la Tabla siguiente:

Tabla 3-13: Contenido de Nutrientes

Nutrientes	Contenido	Observación
Fósforo soluble	Menor o igual de 5 mg/L en extracto	Para plantas sensibles al estrés de fosforo.
Fósforo total	Menor o igual a 0.1% sobre base seca	Para plantas sensibles al estrés de fosforo.
Nitrógeno amoniacal	Menor de 300 mg/L en extracto	
Nitrógeno amoniacal más nitrógeno como nitrato	Mayor a 100 mg/L en extracto	Si se requiere que el compost contribuya a la nutrición vegetal
Nitrogeno total	Mayor o igual a 0.8%, expresado en base seca	Si se requiere que el compost contribuya a la nutrición vegetal

Boro	Menor de 200 mg/kg de masa, en base seca.	Productos con un contenido menor de 100 mg/kg de masa, en base seca, tienen uso irrestricto
Sodio	Menor de 1%, sobre base seca.	Como alternativa. A lo menos 7,7 moles de calcio más magnesio, por mol de sodio, en base seca.

Fuente: Norma Chilena NCH2880.C2003

- **Olores.-** Todas las clases de compost deben presentar olores normales para el producto, debiendo someterse, según la cercanía de las instalaciones de producción a ares obladadas, a las restricciones que establezca la Autoridad Competente respecto a las emanaciones.
- **Humedad.-** Todas las clases de compost deben presentar un contenido de humedad mayor o igual al 25% de la masa del producto y menor o igual al contenido de materia orgánica +6, si este contenido es mayor de 40% de la masa del producto; o menor o igual al contenido de materia orgánica +10, si el contenido de materia orgánica es menor de 40% de la masa del producto.
- **Metales Pesados.-** Todas las clases de compost producidos en base a lodos deben cumplir con los requisitos de concentración máxima permitida de los metales pesados, indicados en la siguiente tabla:

Tabla 3-14: Concentraciones máximas de metales pesados en compost producidos en base a lodos

Metal pesado	Concentración máxima en mg/kg de compost (base seca)
Arsénico	40
Cadmio	8
Cobre	1000
Cromo	600
Mercurio	4
Molibdeno	20
Níquel	80
Plomo	300
Selenio	50
zinc	2000

Fuente: Norma Chilena NCH2880.C2003

- **Conductividad eléctrica**

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de conductividad eléctrica siguientes:

- a) Para el compost Clase A, la conductividad eléctrica debe ser menor o igual a 5mmho/cm
- b) Para el compost Clase B, la conductividad eléctrica debe ser de entre 5mmho/cm y 12 mmho/cm.
- c) Este requisito no aplica para los compost inmaduros o subestándar

- **Relación carbono/nitrógeno (C/N)**

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 entre 10 y 25
- b) Para el compost Clase B, la relación C/N debe ser entre 10 y 40
- c) Para el compost inmaduro o subestándar, la relación C/N debe ser como máximo 50

Nota: La relación C/N esta expresada como el cociente entre carbono orgánico total y nitrógeno total.

- **pH**

- a) El pH normal del compost debe estar comprendido entre 5,0 y 7,5

- **Materia Orgánica**

Las distintas clases de compost deben cumplir con los requisitos de materia orgánica siguientes:

- a) Para el compost Clase A, el contenido de materia orgánica debe ser mayor o igual a 45%
- b) Para el compost Clase B, el contenido de materia orgánica debe ser mayor o igual a 25%
- c) Este requisito no se aplica para los compost inmaduros o subestándar

3.2.8 *Requerimientos de tecnología, equipos y maquinaria.*

Debido a que la planta de procesamiento de compostaje es nueva y no tiene una estructura base o una planta base se necesita obtener los equipos y maquinarias nuevas para su funcionamiento, con esto se va a realizar una descripción básica de las necesidades dependiendo de los recursos disponibles, así como el espacio con el que se dispone.

Los equipos y maquinarias estarán relacionados con la generación de lodos residuales que se va a tener, así como el tiempo de usos, así tenemos:

Tabla 3-15: Equipos y maquinaria

Equipo	Determinación	Cantidad
pH-metro	Potencial Hidrogeno	1
Termómetro	Temperatura	1
Pala	Recolección de material	1
Trituradora	Tamaño de partícula	1
Mezcladora	Mezcla de residuos	1
Carretilla	Transporte de material	1
Aireadores manuales	Oxigenación	1

Realizado por: Cruz Katty 2019.

➤ **Trituradora**

Modelo: F515

Zona de corte: 488*620

Número de Cuchillas: 32

Anchura de cuchillas: 16

Motor. (KW): 11

Peso: 1350

➤ **Mezcladora**

La mezcladora de paletas doble es ideal para la mezcla de dos o más polvos / gránulos con densidades diferentes. Una pequeña cantidad de líquido también puede ser rociado durante la mezcla.

➤ **Cargadora de lodos**

➤ **Balanzas**

Balanza de plataforma

Características:

Balanza calibrada por un indicador.

Instalación fácil.

Velocidad de conversión: hasta 25 mediciones por segundo.

Capacidad de 1000kg hasta 5000kg.

Dimensiones estándar:

1x1m, 1x2m, 2x3m

➤ **Termómetro**

Termómetro fluke 561 HVCPro

Termómetro por infrarrojo para todo tipo de medidas rápidas.

Rangos de temperatura: de -40°C a 550 °C

Tiempo de resolución: 500 mseg (95% de lectura)

➤ **Higrómetro**

Higrómetro PCE-310

Rangos de medición: -20 a 50 °C

Precisión: +/- 3%

Tiempo de respuesta: aprox. 60s

Resolución: 0,1 %, 0,1 °C

➤ **Palas**

Dependiendo del número de operarios se debe proveer de este equipo, garantizando su durabilidad.

Largo (mm): 1030

Ancho (mm): 265

Largo de la pala (mm): 325

Peso: 1,9 Kg

➤ **Carretillas**

Este tipo de vehiculó ayudara a mover los materiales y equipos de una zona a otra ayudando así a los operarios a no tener problemas de salud por la labor realizada.

3.3 RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSION

3.3.1 Localización de la experimentación

La experimentación del presente trabajo de titulación se llevó a cabo en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del **GOBIERNO AUTONOMO DESENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON COLTA** ubicado en las coordenadas 17M 784552.35 m Sur 763693.43 m Este 2552 m s.n.m, perteneciente a la Provincia de Chimborazo, Cantón Colta, Parroquia Cajabamba, en dónde se realizaron las biopilas correspondientes para la obtención del bioabono; Los análisis Físico Químicos se realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ubicado en las coordenadas 17M 158247.00 m Este 9816895.00 m Sur 2821 m s.n.m, perteneciente a la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia Lizarzaburu, en dónde se realizó los ensayos de verificación de las características nutritivas del bioabono.

3.3.2 Lugar del muestreo

El muestreo del lodo residual utilizado en el trabajo de titulación tuvo lugar en las cámaras de secado de la PTAR del **GOBIERNO AUTONOMO DESENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTON COLTA**



Figura 3-17: Ubicación PTAR GADM_COLTA

Fuente: Realizado por CRUZ, Katty 2019

3.3.3 *Análisis de datos*

Tabla 3-16: Valores de los parámetros físicos- químicos reportados en la biopila para la obtención de compost.

Muestra	Temperatura	pH	Conductividad Eléctrica	Humedad	Relación C/N
Unidad	°C	unidades	uS/cm	%	
Día1	18,9	5.00	2,9	56,8	36.00
Día2	19,1	5.00	3.00	60,4	36.00
Día3	20.00	5.00	4,2	53,6	36.00
Día4	30,5	5,37	3,3	50.00	36.00
Día5	35,5	5.00	2,8	57,2	35.00
Día6	42,6	5.00	3,2	60.00	35.00
Día7	44,5	5.00	4,2	57,2	34.00
Día8	45.00	5.00	3,1	56,4	34.00
Día9	46.00	7,32	4.00	55,2	28.00
Día10	45.00	6,32	3,3	62,4	27.00
Día11	48.00	7,5	4.00	66,8	26.00
Día12	50.00	7,9	3.00	68,8	28.00
Día13	51.00	7,9	2,9	65,6	27.00
Día14	52,5	7,3	3,6	63,96	26.00
Día15	58.00	7.00	3,5	67,72	28.00

Día16	59.00	7,9	2,8	69,6	27.00
Día17	52,8	7,2	3,3	60.00	26.00
Día18	60.00	6,3	3,2	54,8	25.00
Día19	58,3	6.00	4,01	58,4	34.00
Día20	55,5	7,5	4,4	61,6	24.00
Día21	58.00	6.00	2,9	60.00	23.00
Día22	55.00	8.00	3.00	57,6	23.00
Día23	55,5	8.00	4,2	62,3	22.00
Día24	56.00	8.00	3,3	55.00	22.00
Día25	49,8	6,9	2,8	62,6	21.00
Día26	48.00	7,4	4.00	60.00	20.00
Día27	46.00	7,2	3,3	67,3	20.00
Día28	43.00	6,3	4.00	50.00	19.00
Día29	40,1	8.00	2,9	66.00	19.00
Día30	39.00	7,9	3.00	67,2	18.00
Día31	41,2	7,37	4,2	65.00	18.00
Día32	43.00	7,33	3,3	58.00	18.00
Día33	40.00	7,32	2,8	57,3	18.00
Día34	39,6	6,35	2,8	60.00	17.00
Día35	43.00	7,2	3,3	62.00	16.00
Día36	44.00	6,3	3,2	65.00	16.00
Día37	45,8	9.00	3,3	64.00	15.00
Día38	41,3	9.00	3,2	68.00	14.00
Día39	41,6	6.00	4.00	59.00	14.00
Día40	42.00	7,2	3,3	63,5	13.00
Día41	40.00	7,3	3,5	66.00	12.00
Día42	39.00	6.00	2,8	64.00	10.00
Día43	39.00	5,9	3,3	58.00	10.00
Día44	38.00	6.00	3,2	57.00	10.00
Día45	37.00	7.00	4.00	64.00	10.00
Día46	29.00	8.00	3,3	67,5	15.00
Día47	28.00	7,5	4.00	64,3	14.00
Día48	39.00	6.00	3,6	66.00	14.00
Día49	28.00	7.00	3,5	63.00	13.00
Día50	29.00	9.00	2,8	59.00	12.00
Día51	27,6	7,4	3,3	67.00	10.00
Día52	29,4	6,9	3,2	59,3	10.00
Día53	33.00	7,4	4.00	58,4	10.00
Día54	31,6	7,2	3,3	64.00	10.00
Día55	30.00	6,3	4.00	69.00	10.00
Día56	28.00	9.00	4,2	55,2	15.00

Día57	29.00	7,9	3,1	62,4	14.00
Día58	30.00	7,37	4.00	64,7	14.00
Día59	29,4	7,33	3,3	40.00	13.00
Día60	33.00	7,32	4.00	52,4	12.00
Día61	31,6	8.00	3.00	53,2	10.00
Día62	29,4	7,9	2,9	62,4	10.00
Día63	33.00	6,9	3,6	60.00	10.00
Día64	31,6	7,3	3,5	56,4	12.00
Día65	30.00	7.00	2,8	55,2	10.00
Día66	28.00	7,9	4,2	50.00	10.00
Día67	29.00	7,2	3,3	65.00	10.00
Día68	30.00	6,3	2,8	58.00	12.00
Día69	31,2	6.00	2,8	57,2	12.00
Día70	32.00	7,5	3,3	62.00	10.00
Día71	33,2	6.00	3,2	66.00	10.00
Día72	30.00	7.00	3,3	53,2	10.00
Día73	29.00	7.00	3,2	57,2	10.00
Día74	29,4	7,4	4.00	62.00	10.00
Día75	30.00	7.00	3,3	66.00	10.00
Día76	31.00	6.00	3,5	53,2	12.00
Día77	32.00	6,3	2,8	62,4	10.00
Día78	33.00	6.00	3,3	60.00	10.00
Día79	28.00	6.00	3,2	56,4	10.00
Día80	28.00	7,5	4.00	55,2	10.00
Día81	25.00	6.00	3,3	40.00	10.00
Día82	24.00	5,9	4.00	52,4	10.00
Día83	23,5	6.00	3,6	53,2	10.00
Día84	23.00	7,33	3,5	52,4	10.00
Día85	22.00	6,2	2,8	50.00	10.00
Día86	21.00	5,3	3,3	46,4	12.00
Día87	20.00	5.00	3,2	45,2	10.00
Día88	19.00	5,9	4.00	40.00	10.00
Día89	19.00	5.00	3,3	39,4	10.00
Día90	18.00	5.00	3,2	39.00	10.00

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

En la tabla 3-16 se puede observar el comportamiento de los parámetros en la biopila, que inciden en la descomposición de los residuos orgánicos y de lodos residuales mismos que son indicadores del proceso de formación de compost durante un periodo de 90 días, el control diario de los parámetros ayudaron a verificar que el proceso de compostaje se realizaba con

éxito, se puede ver que la temperatura inicial es 18.9 °C, alcanzando un máximo de 58,3 °C en el Día19, hasta el Día39 la temperatura se mantiene en un rango elevado y a partir de esta muestra empieza a bajar paulatinamente hasta llegar a una temperatura final de 18 °C, el pH se mantiene en un rango de 5-7 a lo largo de todo el proceso, la conductividad eléctrica se conserva en un rango de 2,9 – 4,2; la humedad inicial es de 56.8% alcanzando un máximo de 67.72% en el Día15 a partir de entonces esta se mantiene y finalmente en el Día90 llega a 39%, todos los parámetros en el Día90 alcanzaron sus niveles mínimos indicando que el proceso de compostaje había finalizado.

Temperatura de la biopila

El material de partida inicia el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días, la temperatura aumenta hasta los 45°C. Seguido el proceso alcanza temperaturas mayores que los 45°C, desarrollando microorganismos mesófilos alcanzando hasta temperaturas de 60 ° C, agotados las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. En la fase terminal o de maduración desciende a temperatura ambiente. Según FAO, 2013.

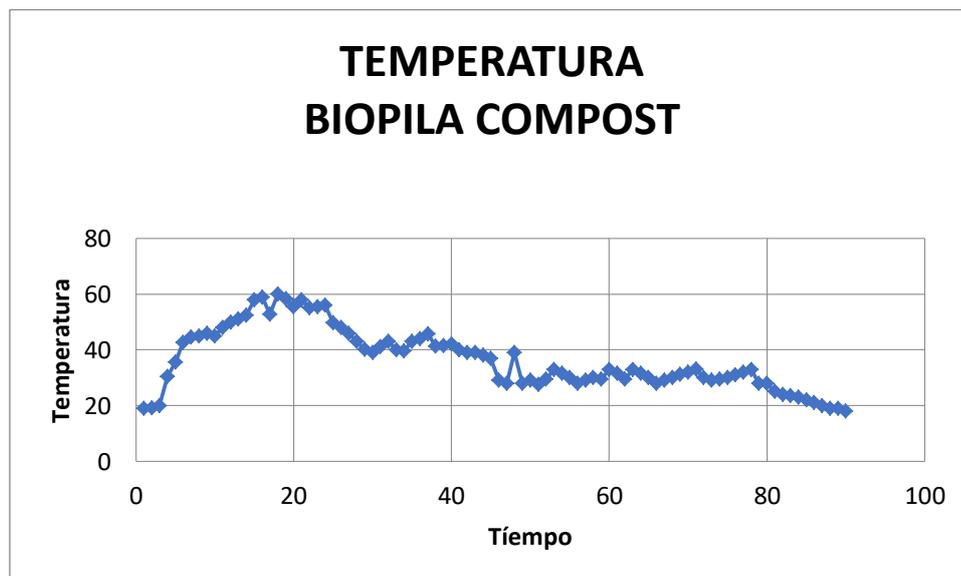


Gráfico 3-1: Resultado temperatura biopila

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

pH_ Biopila

El pH en la fase mesófila puede bajar hasta cerca de 4.0 o 4.5. Esta fase dura pocos días entre dos y ocho días, en las fases Termófila, enfriamiento y maduración siguientes mantiene un pH óptimo para el desarrollo del compost que comprende entre rangos de 6 – 7. Según FAO, 2013.

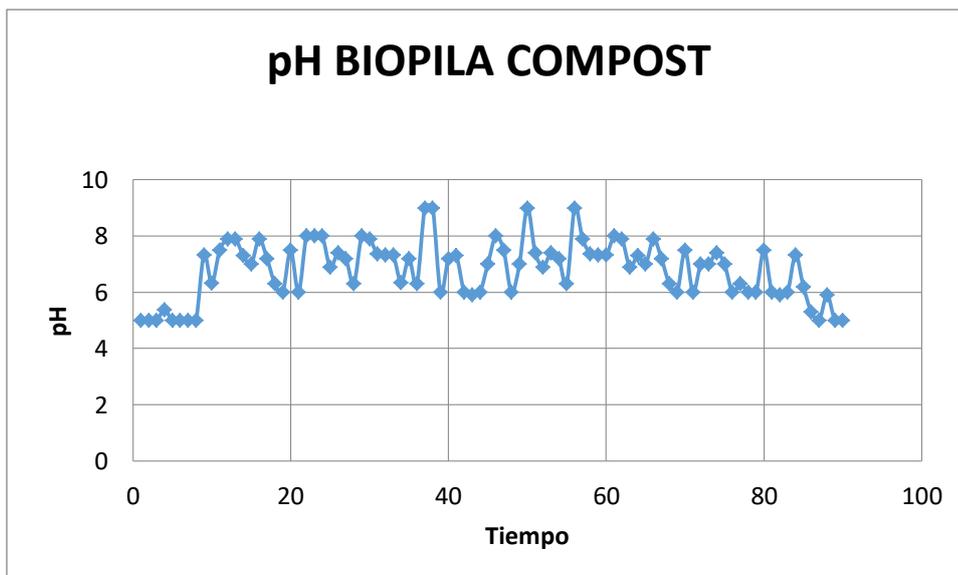


Gráfico 3-2: Resultado pH biopila

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Conductividad eléctrica de la biopila

En el trabajo que estamos desarrollando obtuvimos resultados de Conductividad eléctrica de 2,9 – 4, presentando buenos resultados en el proceso de obtención de compost a partir de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales

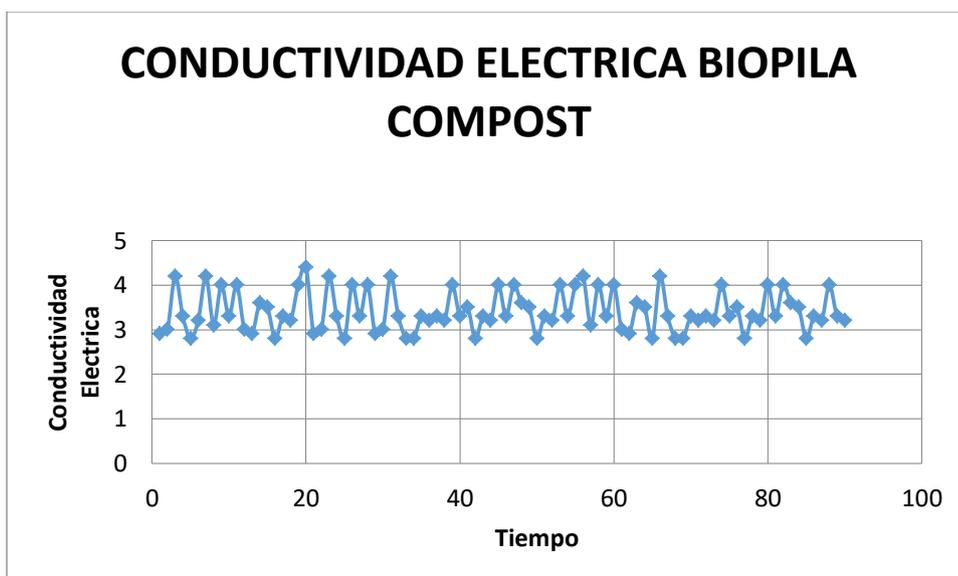


Gráfico 3-3: Resultado conductividad eléctrica biopila

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Humedad _ Biopila

Según FAO, 2013, la humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje tenemos rangos de temperatura de 50 – 67 % obteniendo benéficos resultados en nuestro estudio.

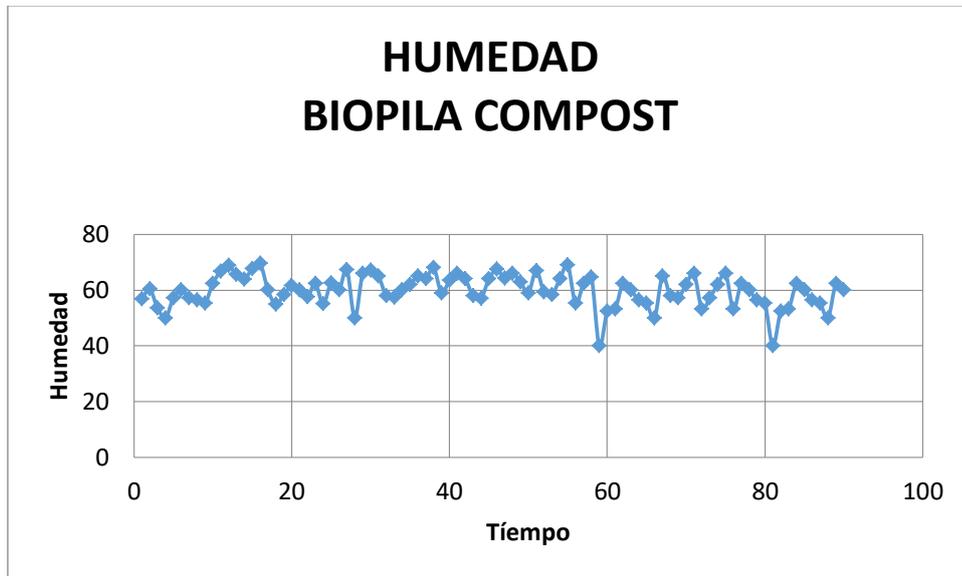


Gráfico 3-4: Resultado humedad biopila

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Relación Carbono/Nitrógeno _ Biopila

Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1. Según FAO, 2013. En nuestro estudio hemos logrado obtener estos resultados desde rangos de 35 – 10 obteniendo una descomposición eficiente de la materia orgánica para la formación del compost.

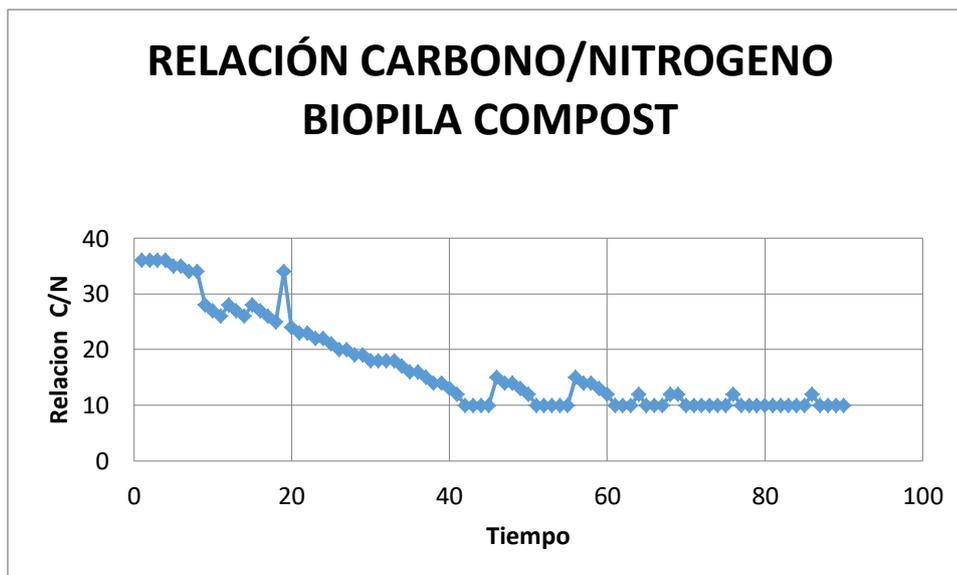


Gráfico 3-5: Resultado relacion C/N biopila

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Tabla 3-17: Valores de los parámetros físicos- químicos reportados en la biopila blanco

Muestra	Temperatura	pH	Conductividad Eléctrica	Humedad	Relación C/N
Unidad	°C	unidades	uS/cm	%	
Día1	19.00	8,33	3.00	50.00	35.00
Día2	18,5	8,33	3,3	57,2	35.00
Día3	28.00	8,35	2,8	56,4	34.00
Día4	24.00	8,37	3,2	53,2	34.00
Día5	23.00	8,33	3.00	62,4	28.00
Día6	18,6	8,32	3,1	60.00	27.00
Día7	30.00	8,35	3.00	56,4	26.00
Día8	31.00	8,38	3,3	55,2	28.00
Día9	19.00	8,32	3.00	62,4	27.00
Día10	18.00	8,32	3.00	64,7	26.00
Día11	19,5	9.00	3,3	40.00	28.00
Día12	20.00	9.00	2,8	52,4	27.00
Día13	21.00	8.00	3.00	53,2	26.00
Día14	22.00	8,3	3,3	62,4	25.00
Día15	19.00	8.00	3.00	60.00	36.00
Día16	18,8	10.00	2,9	56,4	35.00
Día17	25.00	8,2	3.00	55,2	35.00
Día18	26.00	8,3	2,9	50.00	34.00
Día19	28.00	8.00	3,3	65.00	34.00

Día20	28,6	8,9	2,8	58,00	28,00
Día21	20,00	9,00	2,8	57,2	27,00
Día22	22,00	10,00	2,8	62,00	26,00
Día23	19,00	11,00	3,3	66,00	28,00
Día24	22,00	9,00	3,2	53,2	27,00
Día25	23,00	9,00	3,3	62,4	26,00
Día26	22,00	9,9	3,2	60,00	27,00
Día27	21,00	10,00	3,00	56,4	26,00
Día28	21,4	10,00	3,3	55,2	28,00
Día29	19,00	9,00	3,5	40,00	27,00
Día30	18,00	9,00	2,8	52,4	26,00
Día31	22,4	9,37	3,3	53,2	28,00
Día32	20,00	8,33	3,00	62,4	27,00
Día33	19,00	8,32	3,3	60,00	26,00
Día34	24,00	8,35	2,8	56,4	25,00
Día35	25,00	8,2	3,2	40,00	36,00
Día36	24,6	8,3	2,6	52,4	35,00
Día37	23,00	8,00	3,1	53,2	35,00
Día38	22,00	9,00	3,00	62,4	34,00
Día39	21,00	10,00	3,3	60,00	34,00
Día40	18,00	9,00	3,00	56,4	35,00
Día41	19,00	9,3	3,00	55,2	35,00
Día42	22,00	9,00	2,9	50,00	34,00
Día43	23,00	10,00	3,6	65,00	34,00
Día44	22,00	11,00	3,5	58,00	28,00
Día45	21,00	12,00	2,8	57,2	27,00
Día46	21,4	9,00	3,3	60,00	26,00
Día47	19,00	9,00	3,2	56,4	28,00
Día48	18,00	9,00	3,3	55,2	27,00
Día49	30,00	8,9	3,2	62,4	26,00
Día50	31,00	8,37	3,3	64,7	28,00
Día51	19,00	8,33	3,2	40,00	27,00
Día52	18,00	8,9	2,9	52,4	26,00
Día53	19,5	8,5	3,3	53,2	25,00
Día54	20,00	9,00	3,5	59,3	36,00
Día55	18,00	8,9	2,8	50,00	35,00
Día56	21,00	9,00	3,00	50,00	35,00
Día57	22,00	10,00	3,3	57,2	34,00
Día58	19,00	10,00	2,8	56,4	34,00
Día59	18,8	9,00	3,2	53,2	28,00
Día60	25,00	11,00	3,00	62,4	27,00

Día61	26.00	10.00	3,1	60.00	26.00
Día62	28.00	12.00	3.00	56,4	28.00
Día63	28,6	12,5	3,3	55,2	27.00
Día64	20.00	9.00	3.00	62,4	26.00
Día65	22.00	9.00	3.00	64,7	27.00
Día66	19.00	9.00	3,3	40.00	26.00
Día67	22.00	10.00	2,8	52,4	28.00
Día68	23.00	9.00	3.00	53,2	27.00
Día69	22.00	9.00	3,3	62,4	26.00
Día70	21.00	9.00	3.00	60.00	28.00
Día71	21,4	11.00	2,9	56,4	27.00
Día72	19.00	12.00	3.00	55,2	26.00
Día73	18.00	11.00	2,9	50.00	25.00
Día74	23.00	12.00	3,3	65.00	36.00
Día75	22.00	12,3	2,8	58.00	35.00
Día76	21.00	10,3	2,8	57,2	35.00
Día77	18.00	9,5	2,8	62.00	34.00
Día78	19.00	9.00	3,3	66.00	34.00
Día79	22.00	10.00	3,2	53,2	26.00
Día80	23.00	9.00	3.00	62,4	28.00
Día81	22.00	12.00	2,9	60.00	27.00
Día82	21.00	11.00	3,6	56,4	26.00
Día83	21,4	10.00	3,5	55,2	28.00
Día84	19.00	9,2	2,8	50.00	27.00
Día85	18.00	8,9	3,3	65.00	26.00
Día86	30.00	11.00	3,2	58.00	25.00
Día87	31.00	11.00	3,3	57,2	36.00
Día88	19.00	12.00	3,2	62.00	35.00
Día89	18.00	10.00	3,3	66.00	35.00
Día90	19,5	9.00	3,2	53,2	34.00

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

En la tabla 3:17 se observa que durante los 90 días de proceso no hay alteraciones en los parámetros, es decir estos se mantienen en rangos indicándonos que no existe actividad microbiana relevante para que ocurra descomposición, es por ello que en la pila blanco se puede visualizar que la temperatura inicial es 19°C alcanzando una temperatura máxima de 24,6 °C en el Día36 y una temperatura final de 19,5 °C, el pH se mantiene en un rango de 8 - 12.3, la conductividad eléctrica está en un rango de 2.8 - 3.3, y la humedad se conserva en un rango de 50 a 64.7%, por esta razón este tipo de tratamiento no resulta viable porque los parámetros no están dentro del rango adecuado para obtención de compost.

Temperatura_ Biopila blanco

No existe variación de temperatura en el estudio de Biopila blanco tenemos rangos de temperatura ambiente aproximadamente (19 – 25 °C). No existe aumento de temperatura ya que no existe presencia de material orgánica que ayude a la descomposición de lodos residuales.

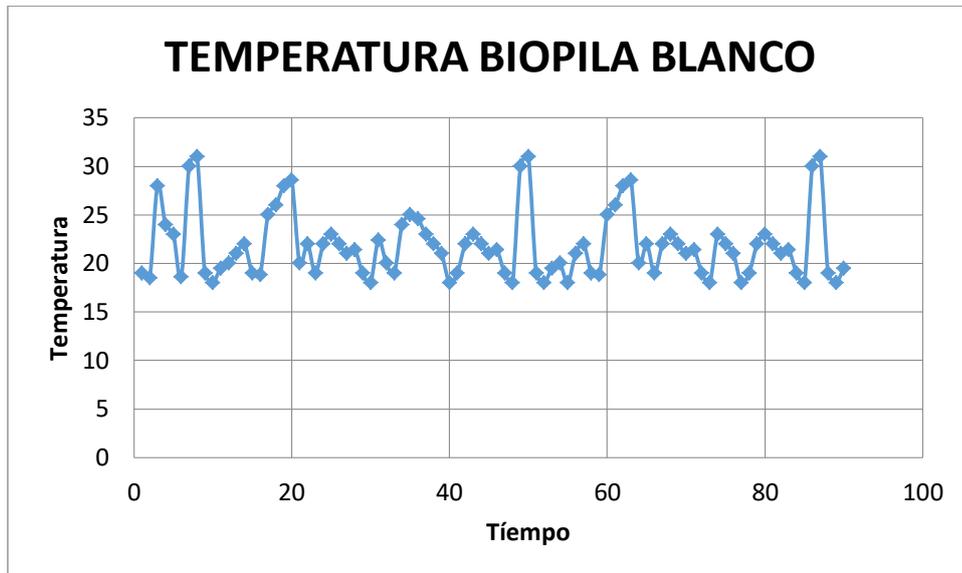


Gráfico 3-6: Resultado temperatura biopila blanco

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

pH_ Biopila blanco

No existe variación de pH en el estudio de Biopila blanco tenemos rangos de (8 – 12 unidades). No existe variación debido a que no hay presencia de material orgánica que ayude a la descomposición de lodos residuales.

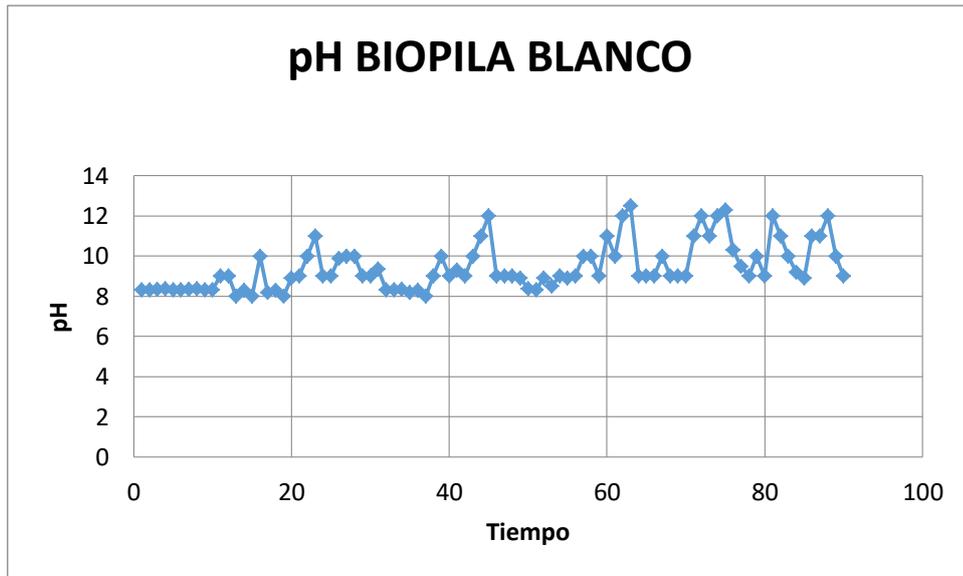


Gráfico 3-7: Resultado pH biopila blanco

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Conductividad eléctrica_ Biopila blanco

Tenemos rangos de Conductividad eléctrica_ Biopila blanco de (2- 3 uS/cm). Rangos relativamente bajos para que exista una descomposición de los lodos residuales.

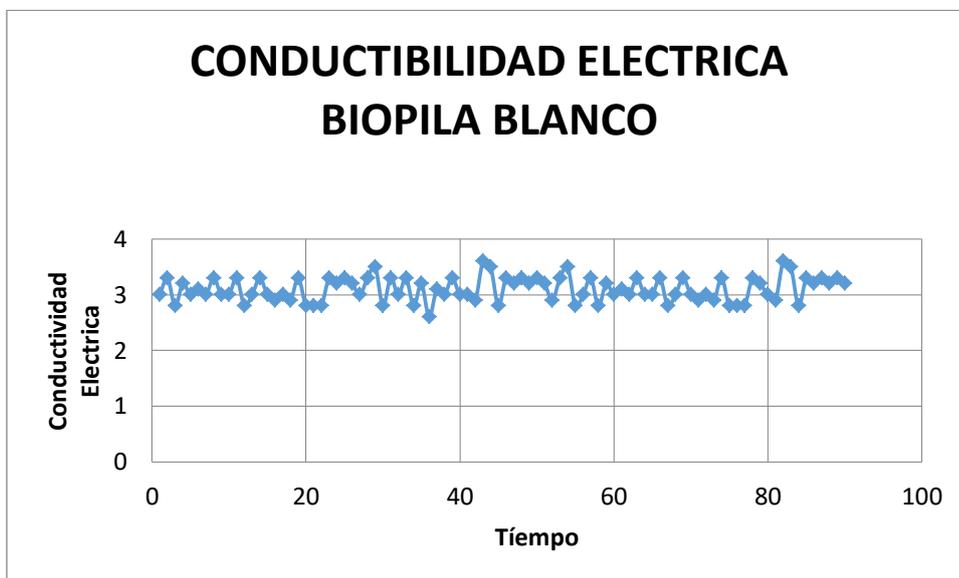


Gráfico 3-7: Resultado conductividad eléctrica biopila blanco

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Humedad_ Biopila blanco

Tenemos rangos de Humedad_ Biopila blanco de (40 – 60). Rangos relativamente adecuados para que pueda descomponerse los lodos residuales, pero al no existir materia orgánica no existe dicho proceso.

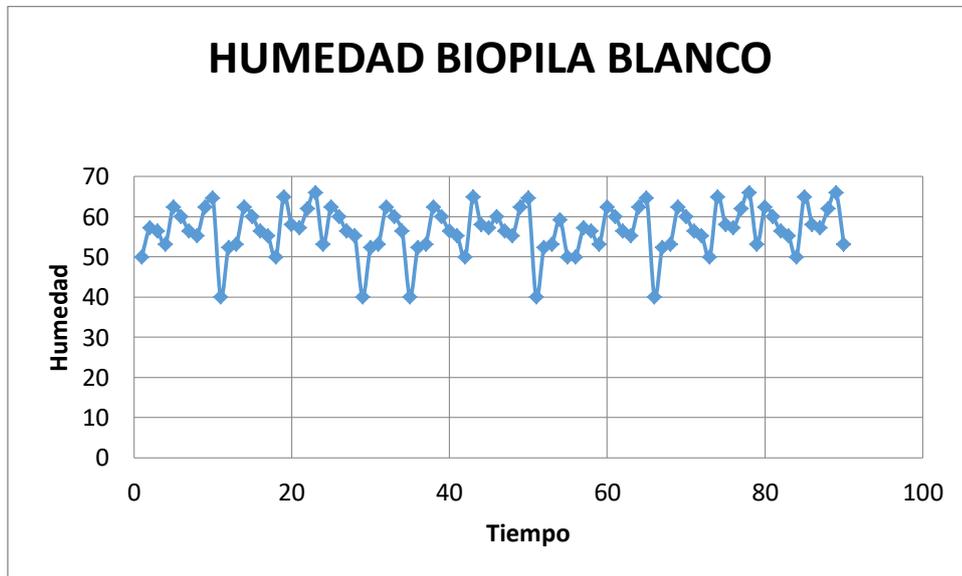


Gráfico 3-8: Resultado humedad biopila blanco

7 Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Relación C/N_ Biopila blanco

Obtuvimos rangos de 35- 25 de la Relación C/N_ Biopila blanco demostrando que no hay rasgos de descomposición de lodos, mucho menos obtención de compost.

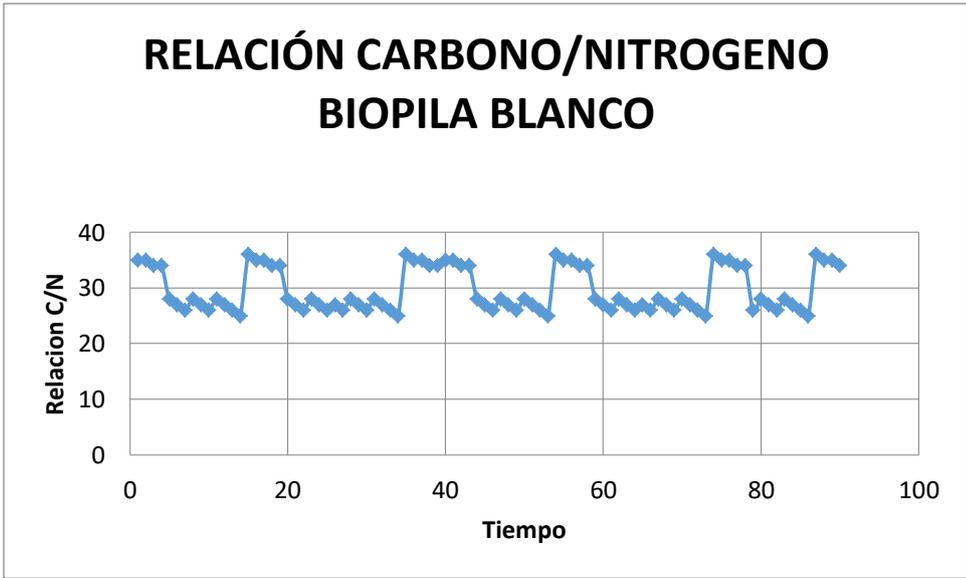


Gráfico 3-9: Resultado relacion carbono nitrógeno biopila blanco

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Tabla 3-18: Resultados de los análisis del compost.

PARÁMETROS			LÍMITE PERMISIBLE			
Elemento	Unidad	Resultado	Chile NCh2880/04	EU European Unión	Colombia 5167/04	México NTEA-006-SMARS-2006.
Boro	mg/Kg	10,08	-	-	-	-
Sodio	mg/Kg	732,68	-	-	-	-
Nitrógeno Total	%	0,93	≥ 0,5	-	-	-
Materia Orgánica	%	20,07	≥ 20	-	-	-
Nitrógeno amoniacal	%	51,90	≤ 500	-	-	-
Nitratos	mg/Kg	5,56	≤ 3	-	-	-
Fósforo total	mg/Kg	1797,46	-	-	-	-
Coliformes fecales	NMP/g	< 10	< 2000 NMP/g	< 1 x 10 ³ NMP/g	< 1000 ufc/g Enterobacterias totals	< 1000 NMP/g
Salmonella	Ausencia/Presencia	Ausencia	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	Ausente en 25 g de producto	< 3/g en bs

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

NMP= Número Más Probable, **ufc**= unidades formadoras de colonias, **bs**= base seca.

3.4 Discusión de resultados de análisis de laboratorio

El Estudio realizado demuestra que los lodos poseen gran cantidad de carga bacteriana aprovechable, siendo esto un catalizador para la transformación de materia orgánica agregada al mismo. Por otro lado cabe recalcar que la acción efectiva de estos lodos funciona únicamente junto a materia orgánica tales como residuos orgánicos de cocina, excremento de animales, entre otros, esto se muestra gracias a la pila de compost blanco, formada únicamente con lodos que tan solo se estabilizaron, no existe registro de variación de temperatura, pH, conductividad eléctrica, ni oscilaciones en los valores de la relación Carbono/Nitrógeno por lo que no se obtuvo un compost adecuado que cumpliera con los estándares establecidos en la norma de referencia.

De acuerdo con los análisis físico-químicos y microbiológicos realizados en el laboratorio del Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental (CESTTA), los valores obtenidos tras el tratamiento de los lodos residuales del Gobierno Autónomo Municipal del Cantón Colta se logró alcanzar un compost de Clase B por la cantidad de materia orgánica, relación Carbono/Nitrógeno, pH que contiene el compost, cumpliendo con los estándares establecidos en la norma chilena NCh 2880/03. Con respecto al nivel de nutrientes y metales pesados que presenta, se verifica que contiene los instaurados en la norma chilena anteriormente mencionada.

Dentro de las características principales para las consideraciones anteriores, mencionamos las siguientes :

3.4.1 *Nitrógeno Total*

En el estudio realizado de análisis del compost ,se obtiene un resultado de 0,93%, en porcentaje de nitrógeno Total, la Norma referenciada nos indica que la cantidad de NT debe ser mayor o igual que el 0.8 %, por ende nuestro compost cumple este parámetro de acuerdo al lineamiento establecido , la cantidad de NT resultante nos proyecta como un producto adecuado para fines de nutrición vegetal.

3.4.2 *Materia Orgánica*

El contenido de Materia Orgánica de acuerdo a los análisis finales del compost, da como resultado un contenido del 21% , la Fuente de verificación Chile NCh 2880/03 establece que la cantidad de Materia orgánica presente en un compost de clase A debe ser mayor o igual al 45 %, y para un compost de Clase B el contenido debe ser mayor o igual que el 25 % . De este planteamiento consideramos que nuestro compost adquieren características de Clase B.

3.4.3 *Nitrógeno amoniacal*

Representado como Nitrógeno combinado en forma de amoniaco (NH₃) o amonio (NH₄⁺), de acuerdo a la NORMA Chile NCh 2880/03 la cantidad de Nitrógeno amoniacal presente en productos de compost debe ser menor a 300 mg/L.

La muestra de compost en estudio de acuerdo a su análisis presenta una cantidad 51.9 mg/L de Nitrógeno Amoniacal como nutrientes propios de la fermentación microbiana de residuos Nitrogenados , cumpliendo con los requerimientos y especificaciones normadas.

3.4.4 *Nitratos*

El valor de nitratos analizados en el compost a partir de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA obtuvo un resultado de 5,56 mg/Kg ,la norma Chile NCh 2880/03 menciona que la cantidad de Nitratos presentes en el producto debe ser menor igual a 3 mg/Kg , en este caso la muestra analizada presenta mayor concentración de nitratos, factor que no reduce la calidad del producto final ya que la presencia de Nitratos ayuda a la generación de Nitrógeno, elemento vital para las plantas.

3.4.5 *Coliformes fecales*

La muestra analizada presenta un número más probable por gramos de compost menor a 10 cumpliendo con la norma Chile NCh 2880/03 (< 2000 NMP/g), cabe indicar que la cantidad de Coliformes fecales presentes no especifica una variación significativa en cuanto al aporte nutricional que el abono le proveerá a la planta, pero si representa una variación en la obtención de la masa final del abono maduro.

3.4.6 *Salmonella spp.*

El tratamiento realizado para obtener el compost para ser aplicado como bio fertilizante está relacionado a eliminar las bacterias patógenas y mantener las condiciones desfavorables para el crecimiento, por lo cual podemos comprobar la ausencia de este microorganismo patógeno. La norma Chile NCh 2880/04 define el lineamiento de Ausencia en 25 gramos de muestra.

3.5 *Aplicación del compost*

El compost obtenido a partir de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN

COLTA es un compost semimaduro durante el tiempo de tratamiento que se dio de 3 meses. Utilizando el mismo para lo siguiente. Según S FAO, 2013. El compost se puede aplicar semimaduro (en fase mesófila II) o ya maduro. El compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro. Por otro lado, al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas. La aplicación en horticultura del compost semimaduro es normalmente una aplicación de primavera de 4 – 5 kg/m² en el terreno previamente labrado (coliflor, apio, papa...). En cultivos extensivos, la aplicación es de 7 – 10 T/ha de compost. El compost maduro se usa en gran medida para plántulas, jardineras y macetas. Se suele mezclar (20%-50%) con tierra y otros materiales como turba y cascarilla de arroz como preparación de sustrato.

3.6 Costos

Con el fin de analizar los costes económicos del proceso de compostaje de lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA se deben analizar en primer lugar los siguientes tres factores:

- ✓ Elección del sistema a compostar (planta de tratamiento – biopila)
- ✓ Cantidad y tipo de material orgánico que se usa para compostar
- ✓ Cantidad de compost que se usará en la propia finca y cantidad destinada para venta

Usaremos una tabla de “gastos – ingresos” como la siguiente:

El ejemplo económico utilizado es el de producción de compost a partir de cama de lodos producidos de la planta de tratamiento de aguas residuales del GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA. En este sistema se produce 0,15 toneladas de compost cada mes. El balance económico de las siguientes tablas correspondiente a (1 mes) del año 2019.

Tabla 3-188: Costo de equipos y maquinarias para el compostaje

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Mini cargadora frontal	1	1.800	1.800
Carretillas	2	73,55	147
Trituradora de materia orgánica	1	5,897	6
Palas	4	11	44
Termómetro espada	1	20	20
TOTAL			2.017

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Tabla 3-19: Costos de equipos de protección personal

EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Cascos	5	10	50
Guantes	5	1,5	7,5
Mascarillas	20	1	20
Overoles	5	12	60
TOTAL			137,5

Realizado por: CRUZ, Katty 2019.

Tabla 3-190: Detalle de costos relacionados al producto

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD MENSUAL REQUERIDA	COSTO UNITARIO	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL
Sacos + diseño	Unidad	5	1	5	60
Hilo	metros	5	0,05	0,25	3
TOTALES					63

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Tabla 3-21: Costos de Mano de obra.

		NÚMERO DE OPERARIOS	COSTO MENSUAL	COSTO ANUAL
Mano de obra	unidad	4	1584	19008
TOTAL				19,008

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Tabla 20-22: Depreciación

DETALLE DEL BIEN	VIDA ÚTIL	VALOR	PORCENTAJE DE DEPRECIACIÓN	DEPRECIACIÓN ANUAL
Minicargadora	10 años	1.800	20%	360
Trituradora	10 años	5,897	20%	1179,4
TOTAL				1539,4

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Tabla 3-23: Gastos Totales

DESCRIPCIÓN	VALOR
Equipos y maquinarias para el compostaje	2,017
Equipos de protección personal	137,5
Mano de obra	19,008
TOTAL	158,525

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

Tabla 3-24: Calculo de ingresos obtenidos del compost

PRODUCTO	Compost Obtenido de cada biopila	MARGEN DE UTILIDAD		PRECIO UNITARIO	UNIDADES MENSUALES PRODUCIDAS	VALOR DE VENTA DEL SAQUILLO
COMPOST	150 Kg	25%	0.31	3,17	5	4
TOTAL				3,17	5	4

Realizado por: CRUZ, Katty 2019

CONCLUSIONES

- ✓ Se realizó la caracterización de los lodos obtenidos del tratamiento de depuración de las aguas residuales de la planta “Villa la Unión” y los resultados arrojados del laboratorio demuestran que este material si puede ser utilizado como materia prima para obtención de compost, ya que, los valores de metales pesados están dentro de los límites permisibles que dicta la NORMA CHILENA NCH2880.C2003.
- ✓ Se determinó los parámetros de diseño para el tratamiento de los lodos residuales de acuerdo al Manual de Compostaje del Agricultor (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO) y a la Guía de plantas Procesadoras de compost siguiendo las etapas y operaciones que se realizan durante todo el proceso de compostaje, diseñando y recomendando los equipos y materiales necesarios en cada operación hasta la obtención del producto final.
- ✓ Se validó los resultados de *Salmonella spp* (Ninguna) y Coliformes fecales (< 10 NMP/g) obtenidos del compost de lodos producidos de la planta de tratamiento de aguas residuales del GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA, comparando dichos resultados con la norma chilena NCH2880.C2003. *Salmonella* (Ausente en 25 g de producto), EU European Unión (Ausente en 25 g de producto), Colombia 5167/04 (Ausente en 25 g de producto), México NTEA-006-SMARS-2006 (< 3/g en bs). Coliformes fecales. Fuentes de verificación Chile NCh 2880/04 (< 2000 NMP/g), EU European Unión (< 1 x 10³ NMP/g), Colombia 5167/04 (< 1000 ufc/g Enterobacterias totales), México NTEA-006-SMARS-2006. (< 1000 NMP/g). Recalcando que en la materia prima como el estiércol pueden encontrarse bacterias patógenas para humanos y animales, siendo de especial interés la presencia de *Salmonella spp* con un valor obtenido de este microorganismo es uno de los principales agentes de enfermedades transmitidas por alimentos y puede ser habitante normal del tracto digestivo de animales que incluyen aves, bovinos, porcino. Igualmente es de interés Coliformes Fecales, que se ha asociado enfermedades causadas por consumo de frutas y vegetales crudos o sus productos no pasteurizados.

RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda dar un seguimiento en la Operación y mantenimiento de la PTAR del GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA, con el objetivo de conseguir resultados deseados en el tratamiento y la obtención de subproductos de bajo impacto ambiental (lodos residuales).
- ✓ Es recomendable realizar el análisis físico-químico y microbiológico de los subproductos (lodos residuales) provenientes de las PTAR del GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN COLTA para conocer la composición de los mismos y su calidad, para obtener un compost adecuado y beneficioso.
- ✓ Se recomienda usar fuentes naturales de carbono que sean accesibles como los residuos orgánicos de los mercados para así minimizar la contaminación y dar un nuevo uso a materiales que son eliminados fácilmente.
- ✓ Recomiendo que al existir una baja aireación es necesario realizar volteos del compostaje y adicionar material que ayude a mejorar este problema, si el compost presenta un nivel de agua o humedad bajas se debe adicionar agua o rumen fresco para de esta manera estabilizar, ya que, la falta de este puede detener el proceso de compost, al contrario cuando se tiene un nivel mayor de agua puede provocar anaerobiosis los cuales se contrarrestar volteando la biopila o adicionando materiales con poco nivel de humedad, si existen pHs bajos en los procesos de compostaje se debe adicionar materia rica en N para así nivelar o aumentar el pH, de la misma manera si existen pH altos debido a la presencia de excesiva de N se debe adicionar materia verde que ayude a contrarrestar este problema.

BIBLIOGRAFÍA

Anderson, Pascual; & Calderon, Vicente. *Microbiología alimentaria*. Madrid: Diaz de Santos S.A, 2000.

Apella, Maria; & Araujo, Paula. *Microbiología del Agua Conceptos Basicos*. [En línea] 2005. http://www.psa.es/es/projects/solarsafewater/documents/libro/02_Capitulo_02.pdf.

Aponte, Jessica. *Evaluación de la Capacidad de Depuración de las Aguas Residuales Grises*. Bogotá: s.n., 2016.

Bustos, Jaime, Handam, Aida; & Guitierrez, Marcia. *Staphylococcus aureus: la reemergencia de un patógeno en la comunidad*. [En línea] 2006. <http://www.medigraphic.com/pdfs/revbio/bio-2006/bio064f.pdf>.

Cajas, Santiago. *Diseño de una planta procesadora de compost*. Riobamba, Ecuador : s.n., 2018.

Chaláquimis, César. *Evaluación físico –química de las aguas procesadas en la planta de tratamiento de aguas residuales de Jipijapa 2013*. Guayaquil: s.n., 2015.

Cornejo, Cristian; & Machado, María. *Diseño y Construcción de un reactor Batch para Obtención de compost*. Riobamba, Ecuador : s.n., 2017.

De Alvear, Marcelo T. *Pruebas Bioquímicas para la Identificación de Bacterias de Importancia Clínica*. Buenos Aires : Madica Panamericana, 2003.

De La Rosa, Manuel; & Prieto, José. *Microbiología en Ciencias de la Salud*. Barcelona: ELSEVIER, 2011, p. 2.

Delgadillo, Oscar; et al. Sapiens. *Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales*. Cochabamba : s.n., 2010, p. 84.

Duran, W. [En línea] 2013. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3074/1/26T00019.pdf>.

- ENAC.** *Manual de procedimientos LOG 001.* Madrid, España: s.n., 2015. Vol. 10.
- GADPCHIMBORAZO.** *Levantamiento de la línea base en 30 comunidades.* Septiembre de 2012.
- García, J; & Picazo, J.J.** *Microbiología médica.* Madrid: Harcourt, 1999, p. 1.
- García, Pedro; & Fernández, María.** *Microbiología Clínica Práctica.* 1994, p. 51.
- Gil, Miriam; & Soto, Adriana.** *Contaminantes emergentes en aguas.* 2012. Vol. 7, 2.
- Gómez, Laura; & Merchán, Angela.** *Caracterización Físicoquímica de los Lodos.* 2013.
- González, Maribel; & Saldarriaga, Julio.** *Remoción Biológica de Materia Orgánica, Nitrógeno y Fósforo en un Sistema.* 2008.
- Merchan, Angela.** *Caracterización Físicoquímica De Los Lodos Provenientes De Ptar.* Caldas: s.n., 2016.
- Merino, Martín; Merino, Monserrate; & Osejos, Miguel.** *Impacto Ambiental del Sistema de Alcantarillado.* 2017.
- Metcalf & Eddy, INC.** *Tratamiento vertido y reutilización.* Tercera Ingeniería de aguas residuales. 1996. Vol. 1.
- Molina, Alex; & Villatoro, Rolando.** *Propuesta de Tratamientos de Aguas Residuales.* 2006.
- Negroni, Marta.** *Microbiología Estomatológica.* Buenos Aires: Medica Panamericana, 2009, pp. 11-12.
- Ortiz, Axel.** *Impacto de Lodos Residuales de la Planta de Tratamiento.* México: s.n., 2013.
- Ortiz, Lisseth.** *Obtención De Bioabono A Partir De Lodo Residual.* Riobamba, Ecuador: s.n., 2017.

Paz, Martha; et al. Sapiens. *Higiene y Sanidad Ambiental.* [En línea] 2004.
https://www.researchgate.net/publication/228912200_Aguas_residuales_de_un_centro_hospitalario_de_Buenos_Aires_Argentina_caracteristicas_quimicas_biologicas_y_toxicologicas.

Públicas, Departamento de Obras. 2014. Manual PTAR. Colta : s.n., 2014.

Rodriguez, Evelyn; et al. Sapiens. *Bacteriología General. s.l.* : Universidad de Costa Rica. ROLDAN. [aut. libro] G. 1992.

Román, Pilar; Martínez, María; & Pantoja, Alberto. *Manual de compostaje del agricultor.* Documento web. 2013.

Romeo, Raúl. *Microbiología y Parasitología Humana.* D.F. Mexico : MEDICA PANAMERICANA, 2007, pp. 689-753.

Tipán, Paola. *Diseño de una Planta para el Procesamiento de Compostaje a partir de Residuos Orgánicos Urbanos para la Empresa Pública Municipal Mancomunada de Aseo Integral Patate-Pelileo(Tesis).* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016.

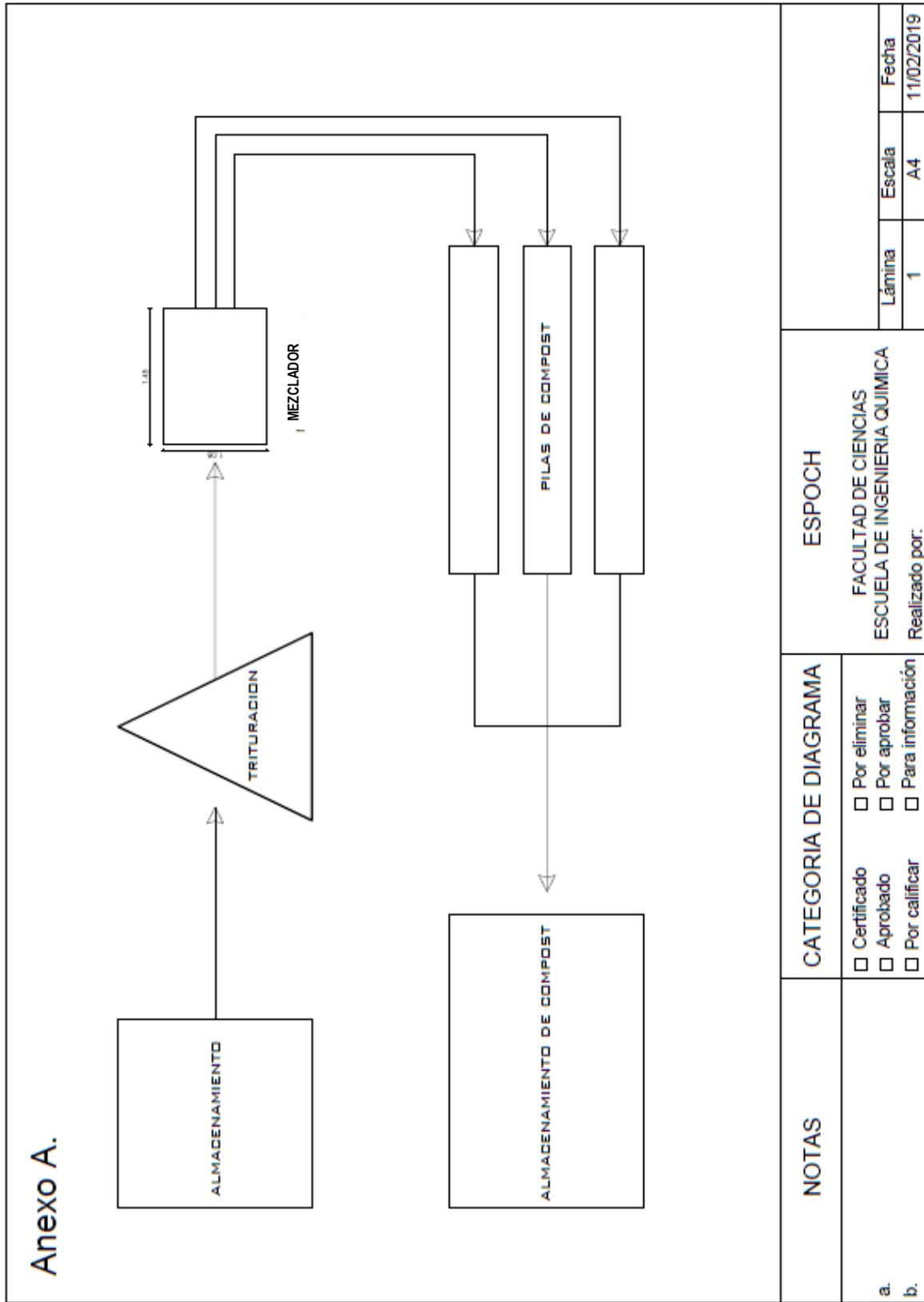
Tortora, Gerard; Funke, Berdell; & Case, Christine. *Introducción a la Microbiología.* Madrid : MEDICA PANAMERICANA S.A., 2007, p. 159.

Vallejo, Wilmer. *Diseño de una Mezcladora para sólidos.* Guayaquil, Guayas, Ecuador: s.n., 2017.

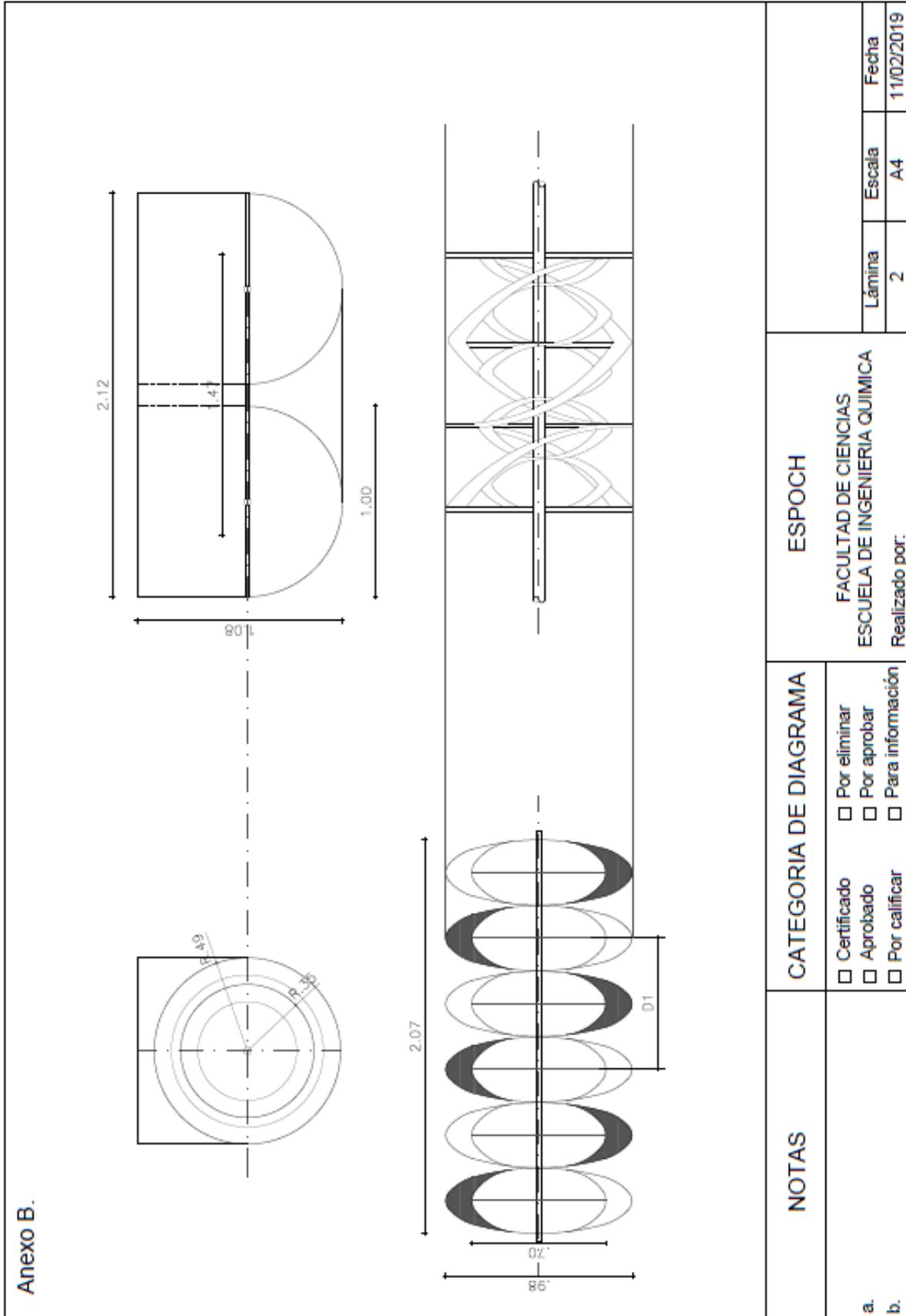


ANEXOS

Anexo A: Esquema general del sistema de tratamiento



Anexo B: Diseño de la mezcladora



NOTAS	CATEGORIA DE DIAGRAMA	ESPOCH		
		FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA Realizado por:		
a.	<input type="checkbox"/> Certificado	<input type="checkbox"/> Por eliminar	2	A4
b.	<input type="checkbox"/> Aprobado	<input type="checkbox"/> Por aprobar		11/02/2019
	<input type="checkbox"/> Por calificar	<input type="checkbox"/> Para información		

Anexo C: Análisis preliminares de metales pesados



INFORME DE ENSAYO No:

ST:

Nombre Peticionario:

Atm.

Dirección:

FECHA:

NUMERO DE MUESTRAS:

FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:

FECHA DE MUESTREO:

FECHA DE ANÁLISIS:

TIPO DE MUESTRA:

CÓDIGO CESTTA:

CÓDIGO DE LA EMPRESA:

PUNTO DE MUESTREO:

ANÁLISIS SOLICITADO:

PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:

CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:

RESULTADOS ANALÍTICOS:

RS-021-18

015-18 ANÁLISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS

NA

Katty Paola Cruz Zhou

García Moreno 21-17 y Guayaquil.

Riobamba-Chimborazo

21 de Mayo del 2018

1

2018/05/10- 11:00

2018/05/09- 11:45

2018/05/10 - 2018/05/21

Lodo Residual

LAB-RS 021-18

Muestra 1

Parcelas de secado de Lodo

Químico

Katty Paola Cruz Zhou

T máx.:25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Cadmio	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg	<0,25	-
Cromo	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg	<50	-
Cobre	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg	39,97	-
Níquel	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg	<10	-
Plomo	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg	<10	-
Zinc	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg	<50	-
Mercurio	EPA 3051 a / EPA 245.5	mg/Kg	<0,05	-

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO



Anexo D: Montaje de la pila de compostaje



Realizado por: CRUZ, Katty 2018



Realizado por: CRUZ, Katty 2018



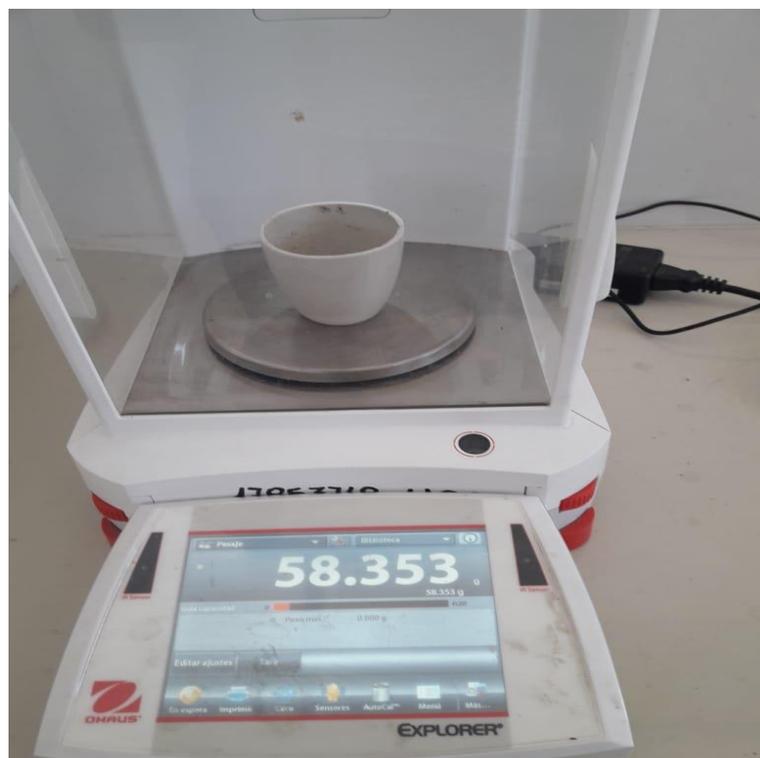
Realizado por: CRUZ, Katty 2018

Anexo E: Medición de parámetros en el laboratorio

Humedad



Realizado por: CRUZ, Katty 2018



Realizado por: CRUZ, Katty 2018



Realizado por: CRUZ, Katty 2018

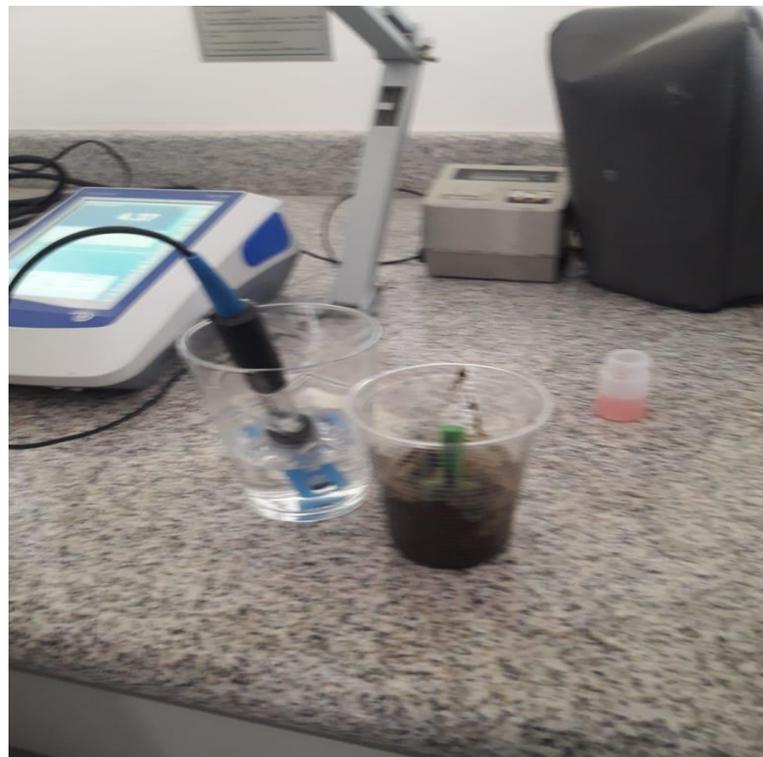


Realizado por: CRUZ, Katty 2018

Anexo F: pH y Salinidad



Realizado por: CRUZ, Katty 2018



Realizado por: CRUZ, Katty 2018

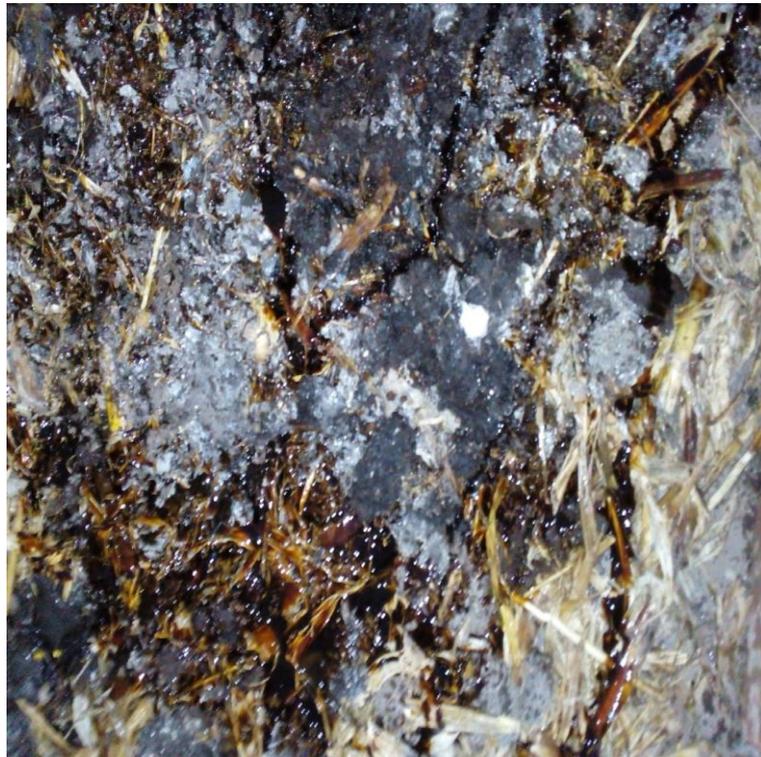


Realizado por: CRUZ, Katty 2018



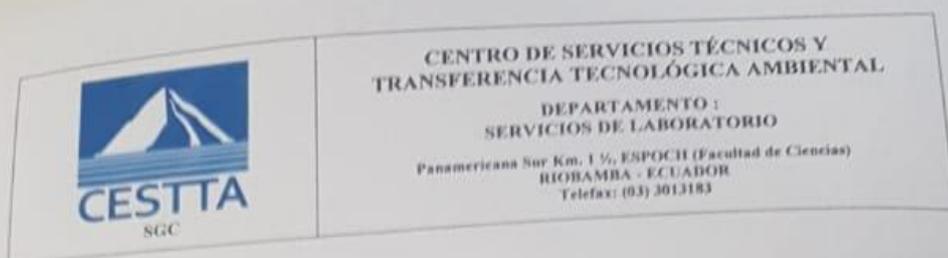
Realizado por: CRUZ, Katty 2018

Anexo G: Temperatura in-situ



Realizado por: CRUZ, Katty 2018

Anexo H: Resultados de análisis de compost



INFORME DE ENSAYO No: RS-001-19
 ST: 001-18 ANÁLISIS DE RESIDUOS SÓLIDOS

Nombre Peticionario: N.A
 Ats: Katty Paola Cruz Zhou
 Dirección: Riobamba, García Moreno 21-17 y Guayaquil, Riobamba-Chimborazo

FECHA: 24 de Enero del 2019
 NUMERO DE MUESTRAS: 1
 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2019/01/08 - 14:45
 FECHA DE MUESTREO: 2019/01/08 - 12:00
 FECHA DE ANÁLISIS: 2019/01/09 - 2019/01/21
 TIPO DE MUESTRA: Compost
 CÓDIGO CESTTA: LAB-RS 001-19
 CÓDIGO DE LA EMPRESA: N.A
 PUNTO DE MUESTREO: Pila de compost
 ANALISIS SOLICITADO: Físico-Químico-Microbiológico
 PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Katty Cruz
 CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS: T máx.: 25,0 °C. T mín.: 15,0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE (■)
Boro	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg	10,08	-
Sodio	PEE/CESTTA/197 EPA SW-846 3051A/6010D	mg/Kg	732,68	-
Nitrógeno Total	PEE/CESTTA/88 Kjeldhal	%	0,93	-
Materia Orgánica	PEE/CESTTA/195 NEN 5754.2005	%	20,07	-
Nitrógeno Amoniacal	Espectrofotométrico	%	51,90	-
Nitratos	PEE/CESTTA/84 Espectrofotométrico	mg/Kg	5,56	-
Fósforo Total	EPA 3051 A / Espectrofotometría	mg/Kg	1797,46	-
Coliformes fecales	Fermentación por tubos múltiples	NMP/g	<10	-

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
 MC01-16



**CENTRO DE SERVICIOS TÉCNICOS Y
TRANSFERENCIA TECNOLÓGICA AMBIENTAL**

**DEPARTAMENTO :
SERVICIOS DE LABORATORIO**

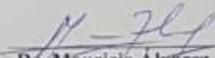
Panamericana Sur Km. 1 1/2, ESPOCH (Facultad de Ciencias)
RIOBAMBA - ECUADOR
Telefax: (03) 3013183

Salmonella	PEE/CESTTA/208 AOAC 960801	Ausencia/Presencia	Ausencia	-
------------	-------------------------------	--------------------	----------	---

OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio.

RESPONSABLES DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

