

**“DESARROLLO DE UN PROCESO DE COMPOSTAJE PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE LODOS RESULTANTES DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE FRANCISCO WIESNER EAAB-ESP.”**

**SHARON STEFANY CESPEDES SANCHEZ  
MARÍA CAMILA JIMENEZ FARIETA**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018**

**“DESARROLLO DE UN PROCESO DE COMPOSTAJE PARA EL  
APROVECHAMIENTO DE LODOS RESULTANTES DE LA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE FRANCISCO WIESNER EAAB-ESP.”**

**SHARON STEFANY CESPEDES SANCHEZ  
MARÍA CAMILA JIMENEZ FARIETA**

**Proyecto integral de grado para optar al título de:  
INGENIERO QUÍMICA**

**Orientador  
EDGAR FERNANDO MORENO TORRES  
ING. QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Bogotá D.C., agosto de 2018**

## **DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD AMÉRICA**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. Jaime Posada Díaz**

Vicerrector de Desarrollo y recursos humanos

**Dr. Luis Jaime Posada García-Peña**

Vicerrectoría académica y de posgrados

**Ing. Ana Josefa Herrera Vargas**

Decano General de la Facultad de Ingenierías

**Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi**

Director del Programa de Ingeniería Química

**Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez**

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de grado, es dedicado a Dios por guiarme desde el inicio de la carrera hasta la finalización de este proyecto. A mi madre, que siempre me acompaño, me apoyo y confió en mi a lo largo del proceso, a mis hermanos por la motivación y el apoyo emocional, y finalmente a mi novio por ser tan incondicional y apoyarme con sus conocimientos en el desarrollo de este trabajo de grado.

Sharon Stefany Céspedes Sánchez

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de grado a Dios por permitirme culminar satisfactoriamente una de las etapas más trascendentales en mi vida. Dedico este trabajo de grado a mi mamá Martha Farieta, porque ha estado presente en los momentos más difíciles, y con su apoyo y amor, me hizo una mejor persona superando los obstáculos, gracias al esfuerzo que hizo por mi formación académica durante estos cinco años, también agradezco a mi hermana Valentina Jiménez por su apoyo emocional e intelectual y la confianza que me brinda, A mis abuelos por acompañarme y ayudarme durante el desarrollo de este trabajo de grado, son una parte fundamental en mi vida, por la confianza y el amor que me tienen. Agradezco a toda mi familia y amigos porque son un apoyo incondicional.

María Camila Jiménez Farieta

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a cada una de las personas que intervinieron y nos apoyaron en el desarrollo del trabajo de grado, en especial al Acueducto y Alcantarillado de Bogotá por ofrecernos la oportunidad de llevarlo a cabo en su empresa, de igual forma a nuestro orientador Edgar Fernando Moreno y demás asesores que contribuyeron con sus conocimientos a la realización del proyecto.

Por último, pero no menos importantes, agradecemos a nuestros familiares por su apoyo emocional y financiero ya que, sin ellos, esto, no se hubiera llevado a cabo.

## CONTENIDO

	pág.
<b>GLOSARIO</b>	<b>17</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>18</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>19</b>
<b>1. GENERALIDADES</b>	<b>20</b>
1.1 COMPOSTAJE	20
1.1.1 Propiedades del compostaje	20
1.1.2 Materias primas del compost	20
1.1.3 Materia orgánica del suelo	21
1.1.4 Factores que afectan el diseño y el proceso de compostaje	21
1.1.4.1 Temperatura	21
1.1.4.2 Aireación	21
1.1.4.3 Humedad y porosidad	21
1.1.4.4 Relación C/N	22
1.1.4.5 pH	22
1.1.5 Fases del compostaje	22
1.1.6 Sistemas de compostaje	23
1.2 RESIDUOS	24
1.2.1 Residuos sólidos orgánicos	24
1.2.2 Clasificación de los residuos sólidos	24
1.2.2.1 Según su fuente de origen	25
1.2.2.2 Según su composición	25
1.2.2.3 Según su impacto en el medio ambiente	25
<b>2. DIAGNÓSTICO</b>	<b>26</b>
2.1 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA PLANTA FRANCISCO WIESNER	26
2.1.1 Sistemas de abastecimiento	26
2.1.2 Coagulación	27
2.1.3 Floculación	27
2.1.4 Filtración	27
2.1.5 Sótanos	28
2.1.6 Estabilización	28
2.1.7 Desinfección	28
2.2 GENERACIÓN DE LODOS EN LA PLANTA FRANCISCO WIESNER	30
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL LODO	32
2.3.1 Técnica de muestreo	33
2.3.2 Toma de muestra del lodo	33
2.3.3 Caracterización y análisis fisicoquímico y microbiológico de los lodos	34

<b>3.</b>	<b>EVALUACION DEL PROCESO DE COMPOSTAJE</b>	<b>39</b>
3.1	SELECCIÓN DEL REACTOR	39
3.1.1	Configuraciones del reactor	41
3.1.2	Reactor horizontales tambor rotatorio	42
3.2	DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	44
3.2.1	Residuos orgánicos para el proceso de compostaje	44
3.2.2	Construcción de los reactores	45
3.2.3	Variables iniciales del proceso	49
3.2.4	Balance de materia	51
3.3	CONTROL DE VARIABLES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE	54
3.4	ADECUACIÓN DEL TERRENO EN LA PLANTA FW	56
3.5	ANÁLISIS Y RESULTADOS	57
3.5.1	Pre-experimentación	57
3.5.2	Experimentación	58
<b>4.</b>	<b>REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL PROCESO</b>	<b>67</b>
4.1	RECOLECCIÓN MATERIAS PRIMAS	67
4.1.1	Césped	67
4.1.2	Lodo	68
4.2	CONDICIONES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	68
4.2.1	Molienda	68
4.2.2	Deshidratación natural del lodo	68
4.2.3.	Reactor	68
4.2.4	Almacenamiento	69
4.3	ÁREA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	70
4.4	MONITOREO DEL PROCESO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	71
<b>5.</b>	<b>ANALISIS DE COSTOS</b>	<b>73</b>
5.1	INVERSIÓN	73
5.2	COSTOS DE PRODUCCIÓN	74
5.2.1	Costos variables	74
5.2.2	Costos fijos	76
5.3	ANALISIS DE COSTOS	76
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>78</b>
<b>7.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>79</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>84</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>80</b>

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Parámetros físicos del agua cruda y agua potable	29
<b>Tabla 2.</b> Parámetros químicos del agua cruda y agua potable	29
<b>Tabla 3.</b> Parámetros microbiológicos del agua cruda y agua potable	30
<b>Tabla 4.</b> Condiciones del lavado del filtro 10	32
<b>Tabla 5.</b> Caracterización física de los lodos	35
<b>Tabla 6.</b> Caracterización microbiológica	36
<b>Tabla 7.</b> Caracterización Química de los lodos	36
<b>Tabla 9.</b> Cantidad de Relación C/N en materiales orgánicos	44
<b>Tabla 10.</b> Especificaciones del reactor y soporte	48
<b>Tabla 11.</b> Datos iniciales de densidad y relación C/N	51
<b>Tabla 12.</b> Características iniciales de los sustratos en el proceso de compostaje	57
<b>Tabla 13.</b> Características del proceso en la pre-experimentación durante 20 días	57
<b>Tabla 14.</b> Seguimiento de la humedad en la pre-experimentación	58
<b>Tabla 15.</b> Seguimiento del % Humedad en la experimentación	62
<b>Tabla 16.</b> Porcentaje del Coeficiente de biodegradación con las cantidades iniciales y finales de cenizas	63
<b>Tabla 17.</b> Seguimiento de los sólidos volátiles en la experimentación	63
<b>Tabla 18.</b> Seguimiento de los microorganismos en la experimentación	65
<b>Tabla 19.</b> Área del proceso de compostaje	70
<b>Tabla 20.</b> Análisis de inversión	73
<b>Tabla 21.</b> Costos de Materia Prima	74
<b>Tabla 22.</b> Costos de Mantenimiento	74
<b>Tabla 23.</b> Costos de mano de obra	75
<b>Tabla 24.</b> Insumos indirectos del proyecto	76
<b>Tabla 25.</b> Costos totales del proyecto	76

## LISTA DE CUADROS

	pág.
<b>Cuadro 1.</b> Clasificación de los residuos sólidos	24
<b>Cuadro 2.</b> Tipos de residuos según el sector	25
<b>Cuadro 3.</b> Técnicas empleadas en el laboratorio Alpha 1. S.A.S y laboratorio de suelos y aguas	34
<b>Cuadro 4.</b> Configuraciones en los reactores	42
<b>Cuadro 5.</b> Variables al inicio del proceso	49
<b>Cuadro 6.</b> Instrumentos de control	71
<b>Cuadro 7.</b> Criterios para las prestaciones sociales	75

## LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
<b>Gráfico 1.</b> Seguimiento de la temperatura en el reactor 1	60
<b>Gráfico 2.</b> Seguimiento de la temperatura en el reactor 2	60
<b>Gráfico 3.</b> Seguimiento de la temperatura en el reactor 3	61
<b>Gráfico 4.</b> Seguimiento del pH en el reactor 1 y en el reactor 2	62
<b>Gráfico 5.</b> Relación C/N, al inicio y final del proceso	64
<b>Gráfico 6.</b> Distribución de costos de la propuesta de compostaje	77

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
<b>Imagen 1.</b> Lavado de filtro 10	30
<b>Imagen 2.</b> Sedimentación del lodo	31
<b>Imagen 3.</b> Piscina de sedimentación, toma de muestra y muestra de lodo	34
<b>Imagen 4.</b> Sistema abierto y sistema cerrado	40
<b>Imagen 5.</b> Reactor vertical y reactor horizontal	41
<b>Imagen 6.</b> Esquema del reactor tambor rotatorio	43
<b>Imagen 7.</b> Representación del reactor	45
<b>Imagen 8.</b> Reactores con soporte	46
<b>Imagen 9.</b> Parte interna del reactor	47
<b>Imagen 10.</b> Reactor cubierto con Thermolon Polyton	47
<b>Imagen 11.</b> Dimensiones del reactor	48
<b>Imagen 12.</b> Pasto inicial y pasto después de molienda	51
<b>Imagen 13.</b> Puntos de medida en el reactor	55
<b>Imagen 14.</b> Adecuación del terreno	56
<b>Imagen 15.</b> Ubicación Satelital de los reactores	57
<b>Imagen 16.</b> Reactor 1 (a), Reactor 2 (b), Reactor blanco (c)	59
<b>Imagen 18.</b> Perspectiva del reactor en dimensión 3D	69
<b>Imagen 20.</b> Zonas del proceso de compostaje	70

## LISTA DE DIAGRAMAS

	<b>pág.</b>
<b>Diagrama 1.</b> Etapas de potabilización de agua	26
<b>Diagrama 2.</b> Procedimiento en la determinación de sólidos suspendidos	31
<b>Diagrama 3.</b> Caracterización del lodo	32
<b>Diagrama 4.</b> Proceso del compostaje	67

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>Anexo A.</b> Cantidad de lodos generados en la planta FW	84
<b>Anexo B.</b> Certificación de la caracterización de los lodos	85
<b>Anexo C.</b> protocolos en el laboratorio	88
<b>Anexo D.</b> Instrumentos de medición para el control de las variables	90
<b>Anexo E.</b> Protocolos de medición variables de proceso	93
<b>Anexo F.</b> Resultados de temperatura en la pre-experimentación	94
<b>Anexo G.</b> Datos de la temperatura en la experimentación	96
<b>Anexo H.</b> Resultados de la caracterización en la experimentación	100

## GLOSARIO

**ABONO ORGANICO:** el abono orgánico permite mejorar la fertilidad y productividad de los suelos este se elabora con materia orgánica, desde estiércol de ganado hasta desechos de origen animal y desechos de cultivo (FAO).

**BIODEGRADACION:** descomposición natural del material orgánico de manera aeróbica o anaeróbica por bacterias u otros medios biológicos.

**BIOREACTORES:** sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo, es decir que se lleva a cabo un proceso químico que involucra organismos o sustancias biológicamente activas, este puede ser de forma anaerobio o aerobia.

**COAGULACIÓN:** es un producto que neutraliza la carga de los coloides electronegativos presentes en el agua.

**FLOCULACION:** permite favoreces el contacto de las partículas desestabilizadas, estas se aglomeran para formar un floc que pueda ser eliminado por procesos de filtración.

**LIXIVIACIÓN:** fenómeno de eliminación de sustancias solubles, el cual es causado por el movimiento de agua en el suelo, lo cual provoca que capas de suelo pierdan compuestos nutritivos, y se vuelvan acidad o se origine toxicidad.

**MATERIA ORGANICA DEL SUELO:** son todos aquellos residuos vegetales, animales, células y tejidos de organismos de suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presente en los suelos.(FAO).

**MICROBIOTA:** conjunto de microorganismos que viven en un ambiente específico, estos pueden ser levaduras, hogos, virus y bacterias.

**RESIDUO:** son materiales o sustancias en cualquier estado físico, usados o consumidos en diferentes actividades. Después de su utilización son susceptibles para hacer reutilizados en un nuevo producto.

**SEDIMENTACIÓN:** separación de un sólido-fluido, donde las partículas sólidas en suspensión son más densas que el fluido. Esta separación se da por la acción de la gravedad.

## RESUMEN

Inicialmente se lleva a cabo la caracterización física, química y microbiológica de los lodos residuales, con base a estos análisis, se identificó su alto porcentaje de humedad, siendo del 97,29% y el cumplimiento de los parámetros respecto al pH y conductividad eléctrica, debido a que se mantienen en un rango de 7,15 y 0.03790 dS/m respectivamente. De acuerdo a los resultados microbiológicos de los lodos, al ser los coliformes totales de 890 UFC/100 mL, estos se encuentran dentro de la categoría A, es decir, el lodo puede ser utilizado para procesos de compostaje como lo indica el decreto 1287 del 10 de Julio del 2014. Finalmente, la relación C/N de los lodos corresponde a 14,28 p:p, por la deficiencia del carbono. Para incrementar la relación C/N y disminuir el % humedad se utilizó como agente de carga césped seco.

Durante la pre-experimentación y experimentación se controlaron las variables fundamentales que intervienen en el proceso, estas son la temperatura, el pH, la relación C/N, el % humedad y las cenizas, ya que por medio de estas variables se pueden conocer y controlar las etapas que componen el compostaje. El reactor 1 y 2 contienen la mezcla para compost, por otro lado, el reactor 3 solo contiene lodo para comprobar que estos por si solos no son capaces de producir abono orgánico.

Por medio de un balance de masa se ingresó a los reactores 3,88 kg de césped y 3,492 kg de lodo en el experimento, observando un incremento máximo de 35°C en la temperatura y una disminución en el porcentaje humedad de 58,24% y 55,67% en el reactor 1 y reactor 2, por otro lado en el reactor blanco o reactor 3 durante los 44 días disminuyó a un 69.3%. Con base a los resultados obtenidos en el experimento se observó que el césped favoreció la fase mesófila del compostaje, sin embargo no se logro llegar a la fase termófila puesto que no se alcanzaron las temperaturas deseadas mayores a 45 °C en el reactor 1 y 2. El reactor 3 durante todo el tiempo de experimentación alcanzó una temperatura máxima de 19 °C manteniéndose muy cercana a la temperatura ambiente, indicando que este por si solo no es capaz de llevar a cabo un proceso de compostaje.

El compostaje no cumplió con los parámetros establecidos de los microorganismos debido a que supero la cantidad de coliformes totales y fecales establecidos por la Decreto 1287 del 10 de julio del 2014 y de la relación C/N, respecto a este último parámetro al final del proceso fue de 22,54 p:p y 26,71 p:p en el reactor 1 y 2.

Una vez finalizado el proceso de compostaje se le propone a la planta FW, un proceso donde intervienen las operaciones unitarias como la molienda y deshidratación de los lodos, de igual manera el proceso de mezclado para convertirlo en abono orgánico, y sus condiciones de mejoramiento en cada proceso. Finalmente se determinó por medio de un análisis de costos la inversión y los costos de producción del proyecto, que corresponden a \$ 8.084.832.

## INTRODUCCIÓN

A medida que pasan los años se ha generado un aumento en la población mundial, esto, es un problema que trae consecuencias negativas en el cuidado y manejo del medio ambiente, pero sobre todo en la escasez de alimentos, que puede empezar a surgir como se presentó en el siglo XVIII en Europa, cuando iniciaron los periodos de hambruna por el crecimiento de la población y los años de mala cosecha. A medida que aumenta la sobrepoblación es necesario el crecimiento de tierras cultivables y suelos fértiles que permitan generar cosecha como materia prima para los alimentos.

El compostaje es un método que en los últimos años se ha tornado amigable con la tierra puesto que es el resultado de un proceso de descomposición de la materia orgánica, sus resultados son muy positivos porque incorpora nutrientes al suelo, mejorando las características físicas, químicas y microbiológicas. Actualmente el compostaje, ha sido una de las mejores alternativas para mitigar la contaminación ambiental que causa los residuos o desechos sólidos.

La planta Francisco Wiesner ubicado, vía la Calera - Cundinamarca abastece a la ciudad de Bogotá con agua potable, dentro de su proceso de purificación de agua, específicamente en el lavado de los filtros se producen lodos residuales. Este proyecto de grado busca dar solución por medio de un aprovechamiento a dichos residuos como indica y exige el decreto 1287 del 10 de Julio del 2014, con el fin de mitigar contaminaciones ambientales. Inicialmente se realiza una caracterización que permita conocer el estado actual de los lodos residuales, luego se inicia la evaluación del proceso de compostaje en un reactor tambor rotatorio horizontal con césped seco, netamente de la empresa con el fin de no generar gastos adicionales y además agotar los residuos orgánicos que se puedan generar en esta.

# 1. GENERALIDADES

## 1.1 COMPOSTAJE

El compostaje es considerado como una biotecnia que permite ejercer control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica, esta técnica resulta de la Ndegradación aerobia de materias o desechos de origen orgánico, El objetivo del compostaje es enriquecer los suelos agrícolas con nutrientes, mejorar las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo.<sup>1</sup>

**1.1.1 Propiedades del compostaje.** El compostaje presenta diferentes propiedades que intervienen y permiten el desarrollo a lo largo del proceso. A continuación, se explica cada una de las propiedades y sus respectivos aportes.

- Propiedades físicas. La materia orgánica aporta estabilidad a la estructura de los agregados del suelo agrícola, aumentando la permeabilidad, porosidad y su capacidad de retención de agua. Reduce la densidad aparente.<sup>2</sup>
- Propiedades químicas. Aumenta la concentración de macronutrientes, los cuales son nitrógeno, fosforo y potasio y también el contenido de micronutrientes. Mejora la capacidad de intercambio iónico catiónico.<sup>3</sup>
- Propiedades biológicas. Mejora la actividad biológica del suelo, porque es el soporte y alimento de los microorganismos y favorecen la mineralización del suelo. Además, cuando hay presencia de microorganismo indica que hay fertilidad en el suelo.<sup>4</sup>

**1.1.2 Materias primas del compost.** Para el proceso de compostaje se utiliza cualquier tipo de materia orgánica que no se encuentre contaminada. Ejemplo: Restos de cosechas, restos de vegetales ricos en nitrógeno como hojas, frutos, tubérculos y restos vegetales pobres en carbono como troncos, ramas, tallos etc. Las ramas de poda de los frutales son residuos esenciales, sin embargo, se deben triturar antes de su incorporación al compost, ya que con trozos grandes el tiempo de descomposición se alarga. También restos orgánicos procedentes de las cocinas y complementos minerales, necesarios para corregir las carencias de ciertas tierras.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> PORRAS HIDALGO, Sebastián Alejandro. Producción De Compost a Partir De Residuos Sólidos De Una Planta De Celulosa. Universidad de Chile,

<sup>2</sup>[Anónimo]Qué es el Compostaje. [Consultado el 15 de enero de 2018]. Disponible en: <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/Compostaje.pdf>

<sup>3</sup> Ibid., p.1

<sup>4</sup> Ibid., p.1

<sup>5</sup> Ibid., p.2

**1.1.3 Materia orgánica del suelo.** La materia orgánica del suelo (MOS), está constituida por residuos de plantas y animales en diferentes estados de descomposición, así como la biomasa microbiana está estrechamente relacionada con las propiedades biológicas, físicas y químicas del suelo. El cultivo de los suelos favorece la descomposición de la materia orgánica debido a una mejor aireación, que estimula la actividad de los microorganismos del suelo.<sup>6</sup>

**1.1.4 Factores que afectan el diseño y el proceso de compostaje.** El proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollarse se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación.<sup>7</sup>

**1.1.4.1 Temperatura.** La temperatura es un indicador de funcionamiento del proceso. El aumento de la actividad biológica genera calor, este, es retenido al considerarse el residuo como una masa auto aislante, lo que ocasiona un incremento general de la temperatura. El aumento de esta variable en la primera etapa del compostaje indica la presencia de materiales muy degradables y unas condiciones de trabajo adecuadas, mostrando el desarrollo correcto del proceso. El mantenimiento de temperaturas elevadas asegura la higienización del material, pero se puede presentar problemas de inhibición de la actividad de la mayoría de los microorganismos, si están son muy altas por lo tanto es necesario conseguir un equilibrio entre la máxima higienización y la biodegradación. Se considera que la mayor diversidad microbiana se consigue entre 35 y 40°C, la máxima biodegradación entre 45 y 55°C, y la higienización cuando se supera los 55°C.<sup>8</sup>

**1.1.4.2 Aireación.** El contenido de oxígeno del aire en la matriz del residuo no debe superar el rango del 5 o 7%. Los microorganismos consumen oxígeno durante la degradación del material, por esto su vital importancia.<sup>9</sup>

**1.1.4.3 Humedad y porosidad.** El contenido de agua del material a compostar es fundamental puesto que los microorganismos solo utilizan las moléculas orgánicas si están contenidas en agua. Además, el agua favorece la migración y la colonización microbiana. La actividad biológica empieza a descender a niveles de humedad del 40%; por debajo del 20% no existe actividad. Por otro lado, una

---

<sup>6</sup> ZAGAL, Erick y CÓRDOVA, Carolin. INVESTIGACIÓN - INDICADORES DE CALIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN UN ANDISOL CULTIVADO (Soil organic matter quality indicators in a cultivated Andisol). En: INVESTIGACIÓN - INDICADORES DE CALIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN UN ANDISOL CULTIVADO (Soil Organic Matter Quality Indicators in a Cultivated Andisol). Dec 31, .

<sup>7</sup> [Anónimo] ¿Qué es el compostaje? Op.cit., p. 2.

<sup>8</sup> BARRENA GÓMEZ, Raquel. Compostaje De Residuos Sólidos Orgánicos. Aplicación De Técnicas Respirométricas En El Seguimiento Del Proceso. Universitat Autònoma de Barcelona, p. 20

<sup>9</sup> Ibid., p.21

humedad alta acompañada de una inadecuada porosidad ocasiona la disminución de la transferencia de oxígeno.<sup>10</sup>

**1.1.4.4 Relación C/N.** Un aspecto fundamental en el balance de nutrientes es la relación de carbono orgánico con respecto al nitrógeno total. Estos dos nutrientes son necesarios en el proceso microbiológico del compostaje, debido a que éstos utilizan el carbono para generar energía y el crecimiento celular, mientras que el nitrógeno es empleado para la formación de células y síntesis de proteínas. Una alta relación de C/N puede afectar el proceso de compostaje, tanto que puede provocar la detención del proceso.<sup>11</sup>

**1.1.4.5 pH.** Durante el proceso de compostaje, el pH debe estar en valores cercanos a la neutralidad, (6.5-7), debido a que inhibe el crecimiento de hongos. Durante el proceso el pH puede empezar de manera ácida debido a la mineralización de los metabolitos de bacterias del medio ácido y al crecimiento de estas, al finalizar este proceso el pH tiende a aumentar a niveles alcalinos, es decir un pH de 8.0-8.5. Las altas temperaturas junto a un alto pH provocan la volatilización de nitrógeno, lo cual es perjudicial si hay presencia de cal en el sistema de compostaje.<sup>12</sup>

**1.1.5 Fases del compostaje.** El compostaje se divide en cuatro diferentes etapas, estas, dependerán de la evolución de la temperatura, porque al descomponer C, N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos pueden desprender calor a medida que pasa el tiempo, las etapas son:

- **Fase Mesófila:** El compost inicia el proceso a temperatura ambiente y en pocos días, la temperatura puede alcanzar un aumento de 45°C. Este aumento de temperatura es debido a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor.<sup>13</sup>
- **Fase Termófila o de Higienización:** Una vez el compost alcanza temperaturas mayores a los 45°C, los microorganismos que se generan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias termófilas, estas permiten facilitar la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco y generan un aumento en el pH. A partir de 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actino bacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de complejo C. Esta fase se conoce

---

<sup>10</sup> Ibid., p. 23

<sup>11</sup> DIAZ, Luis F.; DE BERTOLDI, M. y BIDLINGMAIER, Werner. Compost science and technology. Boston, MA.

<sup>12</sup> Ibid., p.72

<sup>13</sup> Juan Jose Ibanez. Manual de compostaje del agricultor (Libro en Acceso Abierto de la FAO). Nov 25,. Disponible en: <http://scholar.aci.info/view/14701c4880505af0193/1513fbcdad300010003>

como fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.*<sup>14</sup>

- **Fase de Enfriamiento o Mesófila II:** Una vez degradadas las fuentes de carbono y fuentes de nitrógeno en el material del compostaje, la temperatura decae nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al disminuir la temperatura a 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende lentamente, conservando su alcalinidad. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas.<sup>15</sup>
- **Fase de Maduración:** Durante esta etapa final se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la producción de ácidos húmicos y fúlvicos.<sup>16</sup>

**1.1.6 Sistemas de compostaje.** Existen diferentes sistemas que permiten llevar a cabo el proceso de compostaje, algunos de estos son:

- **Pilas volteadas.** El material se sitúa en hileras o pilas de sección triangular, es necesario voltearlas en repetidas ocasiones durante el proceso. El volteo, permite una oxigenación en la materia para generar un elevado grado de mezcla.<sup>17</sup>
- **Canales.** Los residuos que comportar se depositan al inicio de unos canales alargados de sección rectangular, por un extremo del canal. Estos canales contienen un sistema de inyección de aire como las pilas estáticas.<sup>18</sup>
- **Túneles.** El material se introduce en un túnel cerrado, este, contiene un sistema de aireación forzada, permitiendo controlar mejor las condiciones de proceso.<sup>19</sup>
- **Sistemas cerrados o en recipiente.** Los sistemas de compostaje cerrados, o biorreactores, son sistemas que permiten realizar un seguimiento y control de las variables que intervienen en el proceso. Algunas ventajas de este sistema son: evita la acumulación de lluvia, protege al material de vientos fuertes, facilita las labores de volteo, facilita la extracción de lixiviado, controla la invasión de vectores.<sup>20</sup>

---

<sup>14</sup> Ibid., p.23

<sup>15</sup> Ibid., p. 24

<sup>16</sup> Ibid., p. 25

<sup>17</sup> BARRENA. Op.cit., p.18

<sup>18</sup> Ibid., p.18

<sup>19</sup> Ibid., p.19

<sup>20</sup> ROMAN. Op.cit., p.60

- **Reactor vertical o continuo.** En la disposición vertical del reactor, el material fresco se introduce por la parte superior y el material compostado se extrae por la parte inferior, por esta razón se conoce como reactor continuo, puesto que el material fresco ingresa de forma continua y el producto compostado sale también continuamente por la parte inferior.<sup>21</sup>
- **Reactor horizontal o discontinuo.** El recipiente reposa sobre un eje longitudinal. Este reactor es discontinuo porque es un proceso “por cargas”: una vez que se carga la compostera, se espera a que finalice el proceso para extraer el material antes de introducir una nueva carga. Como ventaja, este sistema tiene una mejor distribución de la humedad.<sup>22</sup>

## 1.2 RESIDUOS

Los residuos son objetos, materiales, sustancias o elementos sólidos en cualquier estado físico usados o consumidos en diferentes actividades domésticas, industriales, institucionales y de servicio. Estos desechos después de su utilización son susceptibles para ser reutilizados o transformados en un nuevo producto.<sup>23</sup>

**1.2.1 Residuos sólidos orgánicos.** Son aquellos residuos que provienen de restos de productos de origen orgánico, la mayoría de ellos son biodegradables. Se pueden desintegrar o degradar rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica.<sup>24</sup>

**1.2.2 Clasificación de los residuos sólidos.** En la actualidad, los residuos sólidos se clasifican de diferente manera, en el Cuadro 1., se observa las clasificaciones más importantes según su origen, composición e impacto en el medio ambiente.

**Cuadro 1.** Clasificación de los residuos sólidos

Clasificación de los residuos	Residuos
Según su fuente de origen	Residencial, comercial, construcción, institucional, industria y agrícola
Según su composición	Inorgánico, Orgánico
Según su impacto al medio ambiente	Aprovechables y no aprovechables

**Fuente:** TCHOBANOGLOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de residuos sólidos. Editorial: McGraw Hill, Volumen I, España, 1994. p. 45-57.

<sup>21</sup> Ibid., p.62

<sup>22</sup> Ibid., p.63

<sup>23</sup> CONTRETAS, camilo. Manejo integral de aspectos ambientales-residuos sólidos&nbsp; [Consultado el 16 de enero2018]. Disponible en: [http://www.javeriana.edu.co/ier/recursos\\_user/IER/documentos/OTROS/Pres\\_Residuos\\_CamiloC](http://www.javeriana.edu.co/ier/recursos_user/IER/documentos/OTROS/Pres_Residuos_CamiloC).

<sup>24</sup> [Anónimo]"Por El Cual Se Establece El Objetivo Basura Cero Como Lineamiento De Las Políticas Distritales Sobre El Manejo Y Gestión De Los Residuos Sólidos En El Distrito Capital". 2014.

**1.2.2.1 Según su fuente de origen.** Los residuos se clasifican en diferentes tipos y están definidas por las actividades y lugares donde se utilizan. En el Cuadro 2., se puede observar algunos ejemplos respecto a cada uno de los tipos de residuos existentes en los diferentes sectores económicos.

**Cuadro 2.** Tipos de residuos según el sector

Sector económico	Tipos de residuos
Comercial	Cartón, plástico, residuos peligrosos, residuos orgánicos, madera
Industrial	Plástico, papel, aluminio, residuos orgánicos e inorgánicos
Comerciales	Concreto, escombros, acero, plástico
Agrícola	Envases de plaguicidas
Domésticos	Comida, papel, madera, vidrio
Institucionales	Papel, plástico, residuos orgánicos, madera

**1.2.2.2 Según su composición.** Los residuos sólidos según su composición se clasifican en:

- **Residuos orgánicos:** Son residuos biodegradables de animales o plantas. Se caracterizan por su descomposición natural.<sup>25</sup>
- **Residuos Inorgánicos:** Residuos no biológicos, es decir, de origen industrial. Se caracterizan por no tener una descomposición lenta.<sup>26</sup>

**1.2.2.3 Según su impacto en el medio ambiente.** Otro de los aspectos importantes en la clasificación de los residuos sólidos, es su impacto positivo o negativo al medio ambiente.

- **Residuos aprovechables:** Aquellos residuos que permiten su reutilización o reciclaje a través de un proceso. Ejemplo: Papel, cartón, vidrio metales.<sup>27</sup>
- **Residuos no aprovechables:** Aquellos residuos que no permiten su reciclaje por su alto grado de contaminación. Ejemplo: Aceite quemado, pilas, cintas de video.<sup>28</sup>

<sup>25</sup> CONTRERAS. Op.cit., p. 1

<sup>26</sup> Ibid., p. 1

<sup>27</sup>“Por El Cual Se Establece El Objetivo Basura Cero Como Lineamiento De Las Políticas Distritales Sobre El Manejo Y Gestión De Los Residuos Sólidos En El Distrito Capital”. Op.cit., p.1

<sup>28</sup>“Por El Cual Se Establece El Objetivo Basura Cero Como Lineamiento De Las Políticas Distritales Sobre El Manejo Y Gestión De Los Residuos Sólidos En El Distrito Capital”. Op.cit., p.

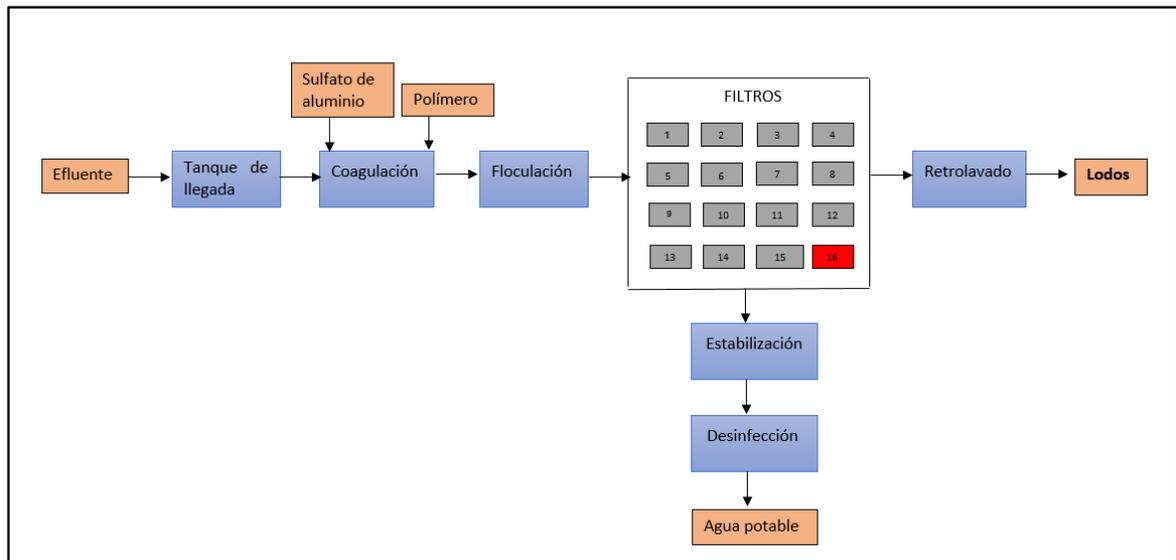
## 2. DIAGNÓSTICO

La planta Francisco Wiesner se encuentra ubicada en el municipio de la calera, realiza diferentes etapas de potabilización de agua, con el fin de abastecer la ciudad de Bogotá; se ha destacado por ofrecer un producto de alta calidad por la metodología empleada en el proceso de purificación. Durante el proceso de potabilización de agua se originan lodos residuales, constituidos por las sustancias presentes en el agua cruda y los residuos originados en la coagulación y floculación. En este capítulo se presentan las etapas de potabilización hasta la generación de los lodos. En seguida se presenta un análisis detallado de las características físicas, químicas y microbiológicas de los lodos para conocer su estado actual.

### 2.1 PROCESO DE POTABILIZACIÓN DE AGUA DE LA PLANTA FRANCISCO WIESNER

A continuación, en el Diagrama 1., se representa las etapas de potabilización de la planta FW, también se explicará de manera clara y detallada las etapas de potabilización de agua y la generación de lodos.

**Diagrama 1.** Etapas de potabilización de agua



**Fuente:** Elaboración propia con base en la Planta Francisco Wiesner

**2.1.1 Sistemas de abastecimiento** El efluente suministrado a la planta FW deriva del embalse de Chuza y el embalse de San Rafael. El embalse de chuza, principal reserva, es abastecido por el páramo de Chingaza, río Chuza, río Guatiquia, río Blanco, entre otros, la capacidad total es de aproximadamente 250 000 000  $m^3$ <sup>29</sup>.

<sup>29</sup> FAJARDO RODRIGUEZ, Julio. DIVISIÓN Y ABASTECIMIENTO DE SISTEMA NORTE Correo electrónico: 2017. p. Diapositiva 4

El embalse de San Rafael se construyó para reemplazar el embalse de Chuza en caso de fallas o durante los mantenimientos realizados a los túneles de conducción, tiene una capacidad de  $75\,000\,000\text{ m}^3$ , para suministrar el agua desde el embalse de San Rafael hasta la planta FW utilizan bombas centrífugas con una capacidad máxima de bombeo de  $21\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ <sup>30</sup>

**2.1.2 Coagulación.** La coagulación es el primer proceso aplicado al efluente, el tipo de coagulante utilizado en la planta FW es el sulfato de aluminio tipo B o Policloruro de aluminio. Para permitir el agrupamiento del floc, utilizan diferentes adyudantes de coagulación o polímeros, las cantidades dependen de las características del efluente.<sup>31</sup> Principalmente se realiza un mezclado rápido entre el coagulante, el polímero y el efluente en resaltos hidráulicos, cada uno con dos caídas, una altura de 4 m y una capacidad de operación entre 4 y  $15\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ , para generar turbulencia y permitir el proceso de coagulación de manera eficiente.<sup>32</sup>

**2.1.3 Floculación.** Una vez finalizado el proceso de coagulación, inicia la fase de floculación por contacto. En esta fase se puede observar el agrupamiento de diferentes partículas, que se ubican en los diferentes filtros y que serán extraídas en el siguiente proceso.<sup>33</sup>

**2.1.4 Filtración.** Este proceso permite eliminar las partículas en suspensión. El agua tratada es conducida por canales de repartición a 16 filtros compuestos de lecho filtrante, este permite la rápida y eficiente absorción de las pequeñas partículas que se agruparon en la floculación. Posteriormente, se realiza un **retrolavado** de manera periódica con agua potable. En la figura 1., se observa que el filtro 16 está en rojo, esto quiere decir que las válvulas están abiertas, con el fin de desocupar el filtro para mantenerlo en óptimas condiciones<sup>34</sup>. Este proceso es aplicado a cada filtro.

Los filtros se componen de un falso fondo llamado tipo S y un soporte tipo IMS; El falso fondo tipo S está compuesto por antracita de 1 metro de altura y arena con 0,20 metros de altura, el soporte tipo IMS, es una placa plástica tipo Leopold IMS que permite una distribución uniforme del agua para que pase por el medio filtrante durante la filtración.

- Área de un filtro:  $260.00\text{ m}^2$
- Profundidad del lecho de arena: 20 cm.

---

<sup>30</sup> Ibid., Diapositiva. 5

<sup>31</sup> Ibid., Diapositiva. 9

<sup>32</sup> Ibid., Diapositiva. 13

<sup>33</sup> Ibid., Diapositiva. 15

<sup>34</sup> Ibid., Diapositiva.16

- Profundidad del lecho de antracita: 100 cm<sup>35</sup>

**2.1.5 Sótanos.** En los sótanos se encuentran las tuberías de conducción de los diferentes procesos, cada filtro tiene su sistema de tubería, los cuales son:

- Tubería verde: agua filtrada.
- Tubería azul: agua de lavado de filtros, esta tubería se habilita por medio de una válvula de corte tipo mariposa automática, lo cual es monitoreada por operarios. Lo que fluye por esta tubería son lodos generados en el lavado de los filtros, que son transportados a la piscina de sedimentación.
- Tubería gris: solución de cloro.
- Tubería blanca: solución de cal.<sup>36</sup>

**2.1.6 Estabilización.** Esta etapa busca estabilizar el pH. El agua proveniente de los filtros tiene un pH bajo de 6.5 para estabilizarlo y mantenerlo en un pH de 6.7 el efluente de los filtros es conducido por tuberías hasta el tanque de estabilización para agrega el sulfato de aluminio.

**2.1.7 Desinfección.** El proceso de filtración no proporciona la completa eliminación de microorganismos, por esta razón, un tanque CDC (cámara de contacto) que tiene una capacidad de 50000 m<sup>2</sup>, en él se suministra agua proveniente de los filtros, y como desinfectantes se agrega cloro y solución MIOX, (mezcla de diferentes productos desinfectantes como dióxido de cloro, cloro, ozono, lon hipocloroso, y cerca de 20 subproductos más), esta mezcla reacciona por un tiempo mínimo de 20 minutos<sup>37</sup>. El cloro que entra al dosificador proviene de evaporadores que convierten el cloro líquido en estado gaseoso para una mayor eficiencia.<sup>38</sup> A partir de este proceso el agua queda en óptimas condiciones como lo indica el Decreto 1575 del 2016(IRCA).

---

<sup>35</sup> Ibid., Diapositiva.17

<sup>36</sup> Ibit. Diapositiva. 17

<sup>37</sup> Ibid., Diapositiva.23

<sup>38</sup> Ibid., Diapositiva.25

A continuación, se presenta en las Tablas 1, 2 y 3., las características físicas, químicas y microbiológicas del agua cruda y el agua potable en comparación con la Resolución 2115 del 2007

**Tabla 1.** Parámetros físicos del agua cruda y agua potable

<b>Aspectos físicos</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Valor permisible por la resolución 2115 del 2007</b>	<b>Agua cruda</b>	<b>Agua potable</b>
pH	6 – 8,5	6,98	6,76
Color	-	13,97	2
Turbiedad	-	2,57	0,31

**Fuente:** ACUEDUCTO DE BOGOTA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL Y DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Caracterización de agua cruda y agua potable (correo Wiesner). p.2,3,4,6 (ministerio)

**Tabla 2.** Parámetros químicos del agua cruda y agua potable

<b>Aspectos Químicos</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Valor permisible por la resolución 2115 de 2007</b>	<b>Agua cruda</b>	<b>Agua potable</b>
Aluminio	0,2 mg/L	0 mg/L	0.02 mg/L
Cloro total	2 mg/L	0 mg/L	1,98 mg/L
Nitritos	0,1 mg/L	0 mg/L	0 mg/L
Sulfatos	250 mg/L	0 mg/L	5,43 mg/L

**Fuente:** ACUEDUCTO DE BOGOTA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL Y DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Caracterización de agua cruda y agua potable (correo Wiesner). p.2,3,4,6 (ministerio)

**Tabla 3.** Parámetros microbiológicos del agua cruda y agua potable

<b>Aspectos Microbiológicos</b>			
<b>Parámetros</b>	<b>Valor permisible por la resolución 2115 de 2007</b>	<b>Agua cruda</b>	<b>Agua potable</b>
<i>Coliformes totales</i>	0 UFC/ 100	634 UFC/ 100	0 UFC/ 100
<i>Echerechia Coli</i>	0 UFC/ 100	46 UFC/ 100	0 UFC/ 100

**Fuente:** ACUEDUCTO DE BOGOTA. MINISTERIO DE LA PROTECCION SOCIAL Y DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Caracterización de agua cruda y agua potable (correo Wiesner). p.2,3,4,6 (ministerio)

## **2.2 GENERACIÓN DE LODOS EN LA PLANTA FRANCISCO WIESNER**

Las características del efluente o agua cruda que ingresa a la planta FW, varía constantemente, de igual manera, la cantidad de filtros que se desea lavar al día. Debido a esto no se puede determinar con exactitud la cantidad de lodo que se está produciendo.

**Imagen 1.** Lavado de filtro 10



**Fuente:** Elaboración propia

La Imagen 1., representa el lavado del filtro 10, en la planta FW, este lavado tiene una duración de 6 minutos aproximadamente, con el objetivo de eliminar las partículas en suspensión y mantener los filtros en condiciones óptimas.

Según el proceso realizado en la planta FW y las condiciones del agua cruda, el día 8 de febrero de 2018 a la hora 2:00 pm, se determina la cantidad de lodo producido en el filtro número 10. Mientras se realiza el lavado de dicho filtro, que dura aproximadamente 6 minutos, se toman tres muestras, en el minuto uno, tres, y cinco para formar una muestra compuesta.

Posteriormente, la muestra compuesta se introduce en un cono Imhoff, con un volumen de 1000 ml y se deja en reposo durante 40 minutos, con el fin de que se sedimente el lodo. Al cabo de dicho tiempo se agita de manera constante el cono Imhoff, por 2 minutos y se deja en reposo durante 15 minutos más.

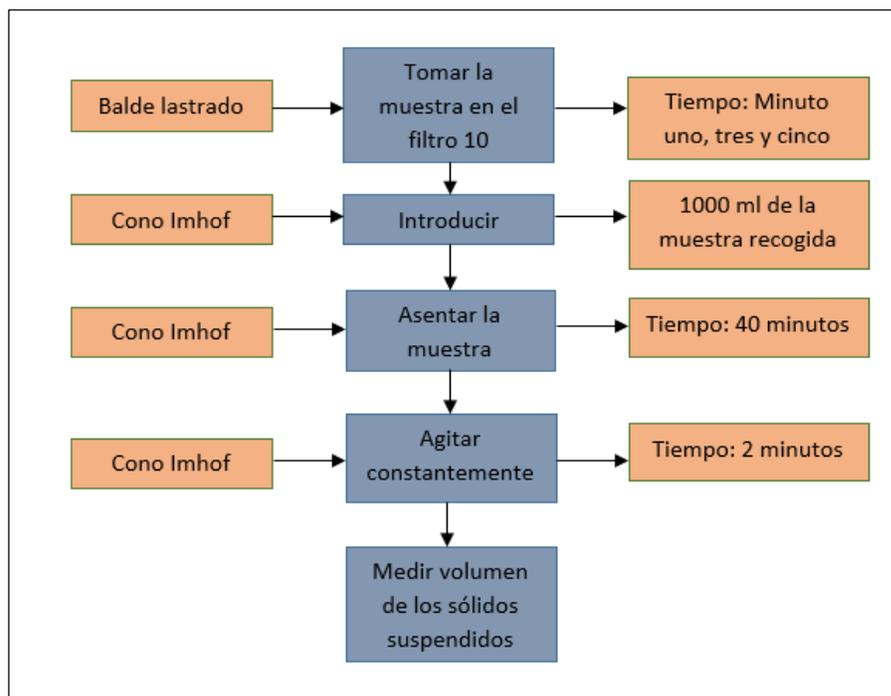
**Imagen 2.** Sedimentación del lodo.



**Fuente:** Elaboración propia

En el Diagrama 2., se representa el procedimiento que permite obtener el volumen de los sólidos suspendidos, para conocer la cantidad de lodo producido en base a esta determinación.

**Diagrama 2.** Procedimiento en la determinación de sólidos suspendidos.



**Fuente:** PEREZ Alicia. Universidad de LAMBAYEQUE., 2013. Modificada por autores

A continuación, se muestra la cantidad de agua potable utilizada para el lavado de los filtros, el número de filtros lavados y el volumen de sedimentación determinado el día 8 de febrero de 2018. Con estas condiciones se procedió a determinar el lodo producido bajo los siguientes cálculos presentados en el Anexo A. En la Tabla 1., se puede apreciar la cantidad de lodos generados por día en la planta FW.

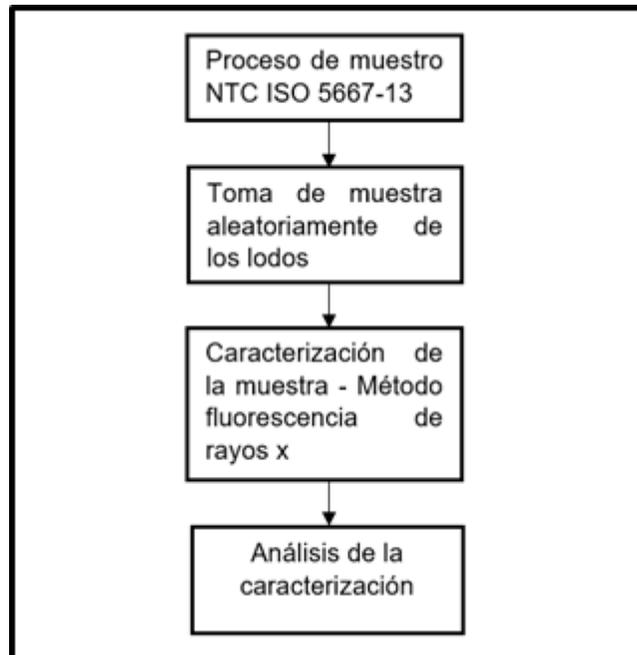
**Tabla 4.** Condiciones del lavado del filtro 10

<b>Agua de lavado de filtros</b>		
Lavado ascensional	17,04	$m^3$
Filtros lavados	14	Unidades/día
Volumen de sedimentación de los lodos	110	$mL/L$
Lodo producido	32906,96	$kg/día$

### 2.3 CARACTERIZACIÓN DEL LODO

Para realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos se representa en un diagrama de bloques, mostrado a continuación, que establece las actividades necesarias para definir el estado de los lodos producidos en la planta FW.

**Diagrama 3.** Caracterización del lodo



Fuente: Elaboración propia

**2.3.1 Técnica de muestreo.** La NTC ISO 5667-13 ofrece técnicas de recolección para todo tipo de lodo, que se genera en diferentes procesos industriales. Dentro de las técnicas de muestreo, se encuentran tres tipos de muestra, la muestra puntual, la muestra aleatoria, o la muestra compuesta por muestras individuales. También propone una guía de recolección, dependiendo del lugar donde se va a llevar a cabo el muestreo; estos pueden ser canales abiertos, tubos, tortas de lodo y demás.<sup>39</sup>

Por último, ofrece una serie de recomendaciones para escoger los recipientes óptimos dependiendo de la caracterización que desee realizar y las condiciones de almacenamiento a la que se debe someter la muestra<sup>40</sup>

**2.3.2 Toma de muestra del lodo.** Inicialmente, se observa que el lodo generado en la planta FW es líquido, más no, un lodo en torta. De acuerdo a los parámetros de la norma, es necesario someter los lodos a un proceso de secado para la caracterización de estos. Debido a las grandes dimensiones de la piscina de sedimentación, la cual tiene un área de 9400 m<sup>2</sup> y una profundidad de 1.5 m<sup>41</sup>, se toma una muestra puntual aleatoriamente, como lo indica la NTC ISO 5667-13, ya que la muestra compuesta exige intervalos a lo ancho y en la profundidad, y el gran tamaño de la piscina de sedimentación no lo permite.<sup>42</sup>

Para la recolección de la muestra, según la NTC ISO 5667-13 se utiliza un balde lastrado y se extrae de la zona donde hay mayor acumulación de lodo.<sup>43</sup> Esta muestra es empacada en una bolsa hermética, debido a su facilidad de uso y a las altas capacidades de conservación, además, son bolsas a prueba de fugas y reducen la pérdida de humedad por evaporación. Usar otros recipientes como envases de vidrio puede generar una gasificación y ocasionar una explosión.<sup>44</sup>

Finalmente, la muestra fue almacenada en un sitio fresco para evitar la pérdida de elementos volátiles y mitigar el cambio biológico, como instruye la NTC ISO 5667-13.<sup>45</sup> El análisis de las composiciones químicas presentes en el lodo se realizó en el laboratorio Alpha1 S.A.S, aplicando el Análisis semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos x.

---

<sup>39</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACION Y CERTIFICACIÓN. Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de agua. NTC 5667-13. Bogotá D.C.: El instituto, 1998. 13 p.

<sup>40</sup>Ibid., p. 12

<sup>41</sup> FAJARDO RODRIGUEZ,Julio. Piscina De Sedimentación. 2018. [correo electrónico].Mensaje enviado a: Sharon CESPEDES, Maria Camila JIMENEZ. 18 de septiembre del 2017.[Citado el 01 de febrero del 2018].Comunicación personal.p.1

<sup>42</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Op.cit., p. 5

<sup>43</sup> Ibid., p.8

<sup>44</sup> Ibid., p. 12

<sup>45</sup> Ibid., p. 12

**Imagen 3.** Piscina de sedimentación, toma de muestra y muestra de lodo



### **2.3.3 Caracterización y análisis fisicoquímico y microbiológico de los lodos.**

A partir de los resultados obtenidos en los laboratorios, Alpha1 S.A.S y Laboratorio de suelos y aguas de la Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano, se realiza el respectivo análisis de los lodos según los criterios y normas establecidos para el proceso de compostaje. En el Cuadro 3., se presenta las técnicas empleadas en la determinación de los diferentes parámetros por parte de los laboratorios ya mencionados.

**Cuadro 3.** Técnicas empleadas en el laboratorio Alpha 1. S.A.S y laboratorio de suelos y aguas

<b>Parámetros</b>	<b>Técnica</b>
Carbono orgánico	Calcinación
Nitrógeno total	Nitrógeno Kjeldah
Humedad	Gravimétrico a 210 °C por 24 horas
Cenizas	Gravimétrico a 650 °C por 24 horas
pH	Extracto de saturación
Conductiva eléctrica	Extracto de saturación
Coliformes totales	Recuento de planta
Mesófilos	Recuento de placa
Otros componentes químicos	Análisis semicuantitativo sobre pastilla por fluorescencia de rayos x.

En la Tabla 2., se presentan los resultados de la caracterización física de los lodos y los criterios respecto al compostaje. A partir de la caracterización se realiza un respectivo análisis que permite saber si el lodo cumple las condiciones necesarias para el proceso de compostaje en cuanto a parámetros físicos

**Tabla 5.** Caracterización física de los lodos

Parámetros	Unidad	Valor	Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura (FAO)
Conductividad	dS/m	0.03790	< 0,1
pH	pH	7,15	7 – 8
Turbiedad	UNT	8,61	<10
% Humedad	%	97,29	50-70

Según el artículo, Factores que afectan el proceso de compostaje, la descomposición orgánica en los sustratos se inhibe a un pH inferior a 5, es decir que un pH con un rango de 6-7.5 permite una buena descomposición en el proceso de compostaje. En la Tabla 5., Se observa que el pH de los lodos es de carácter neutro y se encuentra dentro de los rangos óptimos, ya que cumple los criterios establecidos por la FAO.<sup>46</sup>

Este artículo también menciona que la conductividad eléctrica para un proceso de compostaje está determinada por la concentración de sales. Durante el proceso de compostaje, la conductividad eléctrica, aumenta por mineralización de la materia orgánica y esto conlleva a un aumento de la concentración de nutrientes, sin embargo, un exceso de salinidad en los sustratos para la producción de abono orgánico impedirá la absorción del agua en las plantas, por esto aconseja que la conductividad eléctrica de los sustratos en el compostaje sea baja. Como se observa en la Tabla 5., la CE se encuentra dentro del rango que establece la norma.<sup>47</sup>

Por último, el porcentaje de humedad es un parámetro fundamental puesto que el compostaje es un proceso biológico y la presencia de agua es indispensable para las necesidades fisiológicas del microorganismo.<sup>48</sup> Según el artículo, la humedad óptima al inicio del compostaje debe ser de 50-70%, en este rango se permite el crecimiento microbiano, sin embargo, la humedad de los lodos de la planta FW, es bastante alta lo que reduce la transferencia de oxígeno.<sup>49</sup>

<sup>46</sup> Pilar Román, María M Martínez y Alberto Pantoja. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. En: Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura Oficina Regional Para América Latina Y El Caribe. no. ISBN 978-92-5-307844-8 (edición impresa), p. 36

<sup>47</sup> BUENO MÁRQUEZ, P.; DÍAZ BLANCO, M. J. y CABRERA, Francisco. Factores Que Afectan Al Proceso De Compostaje. [en línea]. <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf> .[Citado 10 de febrero 2018].

<sup>48</sup> Ibid.p.2

<sup>49</sup> Ibid.p.3

**Tabla 6.** Caracterización microbiológica

Parámetros	Unidad	Valor	Decreto 1287 del 10 de julio 2014
Coliformes Totales	UFC/100 mL	890	$< 1 \times 10^3$
<i>E. coli</i>	UFC/100 mL	10	Ausente
Mesófilos	UFC/100 mL	$1 \times 10^4$	-

La caracterización microbiológica de los lodos se evidencia en la Tabla 6., respecto a los resultados se observa una cantidad considerable de microorganismos mesófilos, correspondientes a  $1 \times 10^4$  UFC/100 mL. Con respecto a los coliformes totales, según el decreto 1287 del 10 de julio del 2014, los lodos de la planta FW se encuentran en categoría A, debido a que la concentración UFC/g  $< 1 \times 10^3$  <sup>50</sup>, esto también significa que es un lodo de buena calidad y pueda ser utilizado para abono orgánico y agricultura. Por último, el *E. coli* tiene una concentración muy baja lo cual permite deducir un buen proceso de sanitación, favoreciendo el compost ya que no está contaminado.

**Tabla 7.** Caracterización Química de los lodos

Elementos	Composición (%)	Criterios por la FAO
Sodio	0,3	0,1
Magnesio	0,2	0,1
Aluminio	25,6	$< 0.1$
Silicio	19,6	$< 0.1$
Fosforo	0,2	$< 0.1$
Azufre	0,5	$< 0.1$
Potasio	0,6	0,3 - 1
Calcio	0,5	$< 0.1$
Titanio	0,3	$< 0.1$
Magnesio	0,1	$< 0.1$
Hierro	11,1	$< 0.1$

<sup>50</sup> [Anónimo]“Por El Cual Se Establecen Criterios Para El Uso De Los Biosólido Generados En Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales Municipales”. (JULIO 10,). 2014.

**Tabla 7.** (Continuación)

<b>Elementos</b>	<b>Composición (%)</b>	<b>Criterios por la FAO</b>
Materia Orgánica	43,38	50-70
Nitrógeno	1,4	0,3 - 1,5
Carbono	19,99	35
Relación C/N	14,28	$\geq 20$

En Tabla 7., se aprecian los componentes presentes en el lodo y sus respectivas composiciones, la caracterización química se presenta en el anexo B. Según el manual del compostaje, para producir abono orgánico los sustratos deben contener tres elementos básicos, nitrógeno, fósforo y potasio. El fósforo debe cumplir con un rango de 0.1%-1%, el potasio de 0.3%-1%, y el nitrógeno de 0.3%-1.5%.<sup>51</sup> Como se observa en la Tabla 7., el fósforo y el potasio cumplen los criterios establecidos para llevarse a cabo el compostaje, estos, desempeñan un papel importante en la formación de compuestos celulares ricos en energía, necesario para el metabolismo microbiano durante el proceso.

Según el artículo factores que afectan el proceso de compostaje, el nitrógeno, es un elemento esencial para la reproducción celular debido a su naturaleza, es decir, permite el crecimiento de las plantas; el artículo instruye que la calidad de un compost está directamente relacionada con este elemento. El análisis realizado en la caracterización de los lodos, indica que el nitrógeno se encuentra dentro de los criterios que exige la norma, como se puede apreciar en la Tabla 7. Por otro lado, el carbono, es otro elemento esencial durante el metabolismo de este proceso, debido a que se oxida para producir energía y anhídrido carbónico, este debe estar en mayor proporción, a comparación del nitrógeno y los otros elementos.<sup>52</sup>

La relación C/N, es un factor importante que influye en la velocidad del proceso y en la pérdida de amonio, de acuerdo con el artículo, el rango óptimo de relación C/N debe ser 15-35, si es mayor a 40:1 la actividad biológica disminuye por la deficiencia del nitrógeno.<sup>53</sup> Según los resultados, la relación C/N de los lodos provenientes de la planta FW, están en un rango de 14-28, esto quiere decir que aunque no esté lejos del rango ideal se debe adecuar esta relación con el fin de obtener un buen desarrollo en el proceso.

---

<sup>51</sup> Pilar Román, María M Martínez y Alberto Pantoja. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. En: Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura Oficina Regional Para América Latina Y El Caribe. no. ISBN 978-92-5-307844-8 (edición impresa), p. 36

<sup>52</sup>FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE COMPOSTAJE. Op.cit., p.6

<sup>53</sup> Ibid. p. 5

Otros elementos secundarios como el magnesio, azufre, silicio, sodio y calcio son importantes para el proceso del compostaje, sin embargo, estos deben estar en menor proporción. Según los resultados expuestos en la Tabla 7., estos componentes están las condiciones adecuadas, excepto el silicio y aluminio, sin embargo, en este caso el silicio es conveniente, porque al incrementar los iones, baja el alto contenido de aluminio y hierro, lo cual es favorable porque regula el pH del suelo, también incrementa la resistencia al estrés biótico y abiótico de las plantas que se van a generar en el compostaje.<sup>54</sup>

La materia orgánica, es fundamental para el desarrollo del proceso de compostaje, es necesario que inicie con un alto porcentaje. El rango ideal al inicio del proceso, según el manual del compostaje debe ser de 50%-70%, debido a que durante el proceso la materia orgánica disminuye por su mineralización y pérdida de carbono. La Tabla 7., indica que la materia orgánica tiene un porcentaje de 41.1%, es decir, se encuentra en menor proporción a lo establecido.<sup>55</sup> Para incrementar el porcentaje de materia orgánica, los lodos se pueden adecuar con hojas, raíces muertas, césped y productos de microorganismos, como bacterias y hongos.

---

<sup>54</sup> AGROPULI. El mineral es cuestión es el silicio&nbsp; Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0041160803d48ea3387c9>>

<sup>55</sup> Pilar Román, María M Martínez y Alberto Pantoja. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. En: Organización De Las Naciones Unidas Para La Alimentación Y La Agricultura Oficina Regional Para América Latina Y El Caribe. no. ISBN 978-92-5-307844-8 (edición impresa), p. 36

### 3. EVALUACION DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

En este capítulo, se establecen las principales condiciones para un adecuado desarrollo del proceso de compostaje. Se realiza la construcción de tres reactores con sus correspondientes dimensiones, y la adecuación del terreno en la planta FW, lugar donde se encuentran ubicados los reactores.

El objetivo de este capítulo es realizar un pre-experimento y una experimentación, que tienen un tiempo de duración aproximadamente de 20 días cada uno. Durante el proceso se monitorean las variables dependientes como los son, temperatura, pH, relación Carbono-Nitrógeno, porcentaje de humedad y solidos volátiles que influyen en el desarrollo del compostaje. Se demuestra mediante balances de materia, la cantidad necesaria de lodo y residuos orgánicos en cada reactor. La elección de los residuos orgánicos dependerá de la relación C/N, puesto que el lodo en la caracterización muestra deficiencia en este parámetro. Finalmente se realizará un análisis de la caracterización final del producto.

#### 3.1 SELECCIÓN DEL REACTOR

Para seleccionar el reactor es necesario conocer los sistemas abiertos, sistemas cerrados y tipos de reactores involucrados en el compostaje. En primera instancia, los sistemas cerrados son considerados como reactores o túneles dinámicos, debido a que son espacios confinados en un recinto controlado. Además, su tiempo de retención es menor a comparación de los sistemas abiertos. Respecto a este tipo de sistema abierto, estos, pueden ser pilas estáticas o de volteo caracterizados por estar al aire libre. El tiempo de retención en los sistemas cerrados oscila de 3 – 20 días, a comparación del sistema abierto que puede tardar meses, como lo indica el libro, *Compost Science and Technology*.<sup>56</sup> Debido a que el tiempo es un factor influyente en el proyecto, se opta por realizar el proceso en un sistema cerrado, específicamente en un reactor a escala laboratorio. La Imagen 4., representa el sistema abierto y el sistema cerrado respectivamente en donde se puede llevar a cabo un proceso de compostaje.

---

<sup>56</sup> DIAZ,Luis F.; DE BERTOLDI,M. y BIDLINGMAIER,Werner. *Compost science and technology*. Boston, MA. L.F. Diaz, M de Bertoldi; y y W. Bidlingmaier. *Compost Science and Technology*. volumen 8, primera edición ed. Elsevier Science, 2007. p. 380

#### Imagen 4. Sistema abierto y sistema cerrado.



**Fuente.** Grab the RSS. Principales factores que participan en el compostaje. Guía de Lombricultura, una alternativa de producción. 2011. En línea <https://guiadelombricultura.wordpress.com/2011/10/03/principales-factores-que-participan-en-el-compostaje/>. Blog de Ventageneradores.Compostador Mantis de 635 litros.2018. En línea <http://www.ventageneradores.net/blog/guia-comprar-compostadores-baratos/>.

Existen diferentes tipos de reactores para el compostaje, estos pueden ser horizontales y verticales, ambos presentan la desventaja de tener costos elevados en su construcción, mantenimiento y control de variables, también es necesario que la planta FW cuente con personal especializado para su respectivo control y monitoreo. Para seleccionar el tipo de reactor, se tiene en cuenta un factor importante como lo es la rotación. A comparación del reactor vertical, el reactor horizontal permite la rotación de la unidad del compostaje<sup>57</sup>. El reactor horizontal es conocido como tambor rotatorio puesto que permite homogenizar la mezcla con un resultado óptimo por su rotación intermitente. Una desventaja del reactor vertical a la hora de mezclar los reactivos es la incomodidad para llevarlo a cabo, debido a que se debe destapar el compostador a diario y utilizar un instrumento que permita homogenizar la mezcla de abajo hacia arriba y en este sé puede quedar adherido material ocasionando pérdidas. Además, el reactor debe estar aislado de manera permanente para que lleve a cabo las etapas del compostaje de forma eficiente<sup>58</sup>. Por las razones presentadas anteriormente, se estableció que la mejor alternativa es construir un reactor horizontal de tambor rotatorio.

La aireación en el compostaje aporta oxígeno, elimina agua y otros gases generados en la biodegradación de la materia orgánica, siendo este otro motivo por el cual se seleccionó un sistema rotativo, puesto que una insuficiente aireación

---

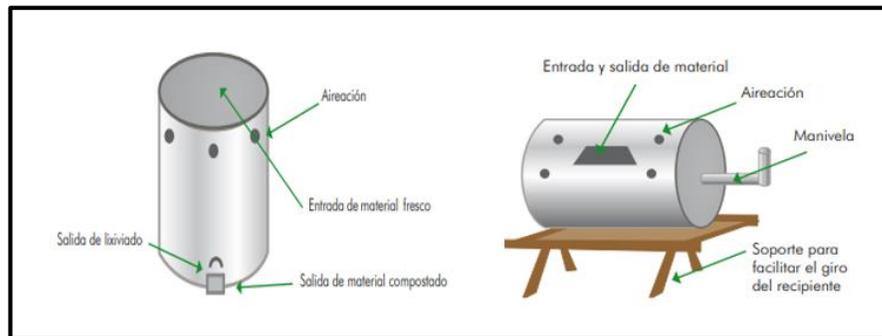
<sup>57</sup> Arenas Cristian Yair. Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el centro educativo Rural Josefa Romero, municipio de Dabeiba. [Consultado el Marzo 26 ,2018]. Disponible en: <http://www.repotory.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/html/>

<sup>58</sup> De bertoldi et al .Sistemas y técnicas para el compostaje. [Consultado el Marzo 29 ,2018]. Disponible en: [http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas\\_y\\_tecnicas\\_para\\_el\\_compostaje.html/](http://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.html/)

genera retardos y metabolitos responsables de malos olores, junto con otros microorganismos que pueden resultar tóxicos para la microbiota y para las plantas.<sup>59</sup>

A continuación, se ejemplifica un reactor horizontal y un reactor vertical a escala laboratorio utilizado para procesos de compostaje:

**Imagen 5.** Reactor vertical y reactor horizontal



**Fuente.** PILAR ROMÁN. Manual de compostaje del agricultor. Editorial: FAO, 2013. p 62,63.

**3.1.1 Configuraciones del reactor.** En los reactores horizontales, para que se lleve a cabo el proceso de compostaje se tienen en cuenta dos parámetros importantes, la temperatura y el flujo de calor, puesto que gracias a estos dos parámetros los microorganismos se pueden reproducir de manera masiva y estos, permiten la descomposición aeróbica de la mezcla de lodo y residuo orgánico. En la Cuadro 4., se presentan las configuraciones indicadas en el artículo I.G Mason y M. W. Mike (2005)<sup>60</sup> para mantener y controlar la temperatura y flujo calor. La mejor configuración que se adecua al reactor que se desea construir, puesto a que es a escala laboratorio, es el autocalentamiento debido a que el reactor dependerá exclusivamente de los microorganismos para la producción de calor y elevación de temperatura. Las demás configuraciones presentadas conllevan más gastos operacionales para permitir el control de las variables. Cabe resaltar que, si el proceso se desarrolla a escala industrial o piloto, el autocalentamiento perderá relevancia al utilizar volúmenes grandes puesto que no se conservaría el calor.<sup>61</sup>

<sup>59</sup> German Tortosa. Factores que influyen en el proceso de compostaje. [Consultado el Marzo 27,2018]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/04/factores-influyen-compostaje-html/>

<sup>60</sup> I.G. Mason y M.W. Milke. Physical modelling of the composting environment: A review. Part 1: Reactor systems. En: Elsevier. Mar 25,. p. 484

<sup>61</sup> Alvaro Jose Rodriguez Medina. PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE UN ABONO ORGÁNICO PARTIENDO DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL COLEGIO ROCHESTER. p. 39

**Cuadro 4.** Configuraciones en los reactores

Configuraciones	Definición
Temperatura fija	La temperatura se controla por medio de calentamiento o enfriamiento, es decir un medio externo.
Auto calentamiento	El reactor depende exclusivamente de la producción de calor microbiano al inicio del proceso para alcanzar y mantener la temperatura en el reactor
Temperatura controlada	Una vez iniciado el proceso y obtenida la temperatura necesaria por la producción de calor microbiano, esta se mantiene por medio de adición o retiro de calor en el sistema
Flujo de calor controlado	El flujo de calor uniforme en el sistema a través de la pared permitirá mantener la temperatura deseada generada por parte de los microorganismos

**Fuente.** MASON, I. G. y MILKE, M. W. Waste Management. Physical modelling of the composting environment: A review. Part 1: Reactor systems. 2005., p. 484.

**3.1.2 Reactor horizontales tambor rotatorio.** Son considerados tecnología eficiente, debido a que este tipo de compostadores proporciona mezclas por agitación, aireación y compost, reduciendo los problemas de olores y lixiviado. Estos reactores son tipo Batch o intermitentes por su simplicidad con el agitador para homogenizar la mezcla. Algunas características del reactor Batch de la forma en que opera son: Al ser un sistema cerrado la masa total del mismo es constante, la energía en el reactor cambia a medida que avanza el proceso siendo necesario un control en la temperatura, además este tipo de reactor opera en estado no estacionario, es decir las concentraciones cambian con el tiempo.<sup>62</sup>

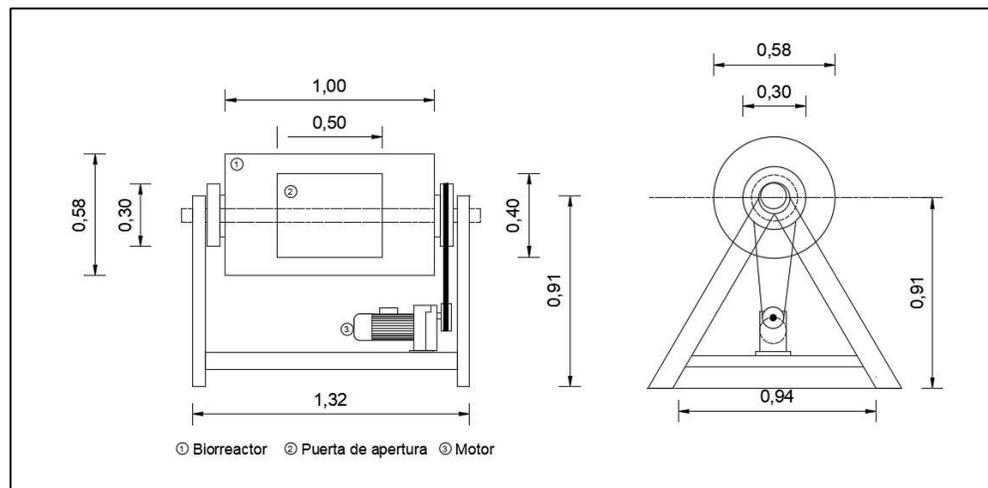
Para llevar a cabo la construcción del reactor en procesos de compostaje se hace una revisión bibliográfica en donde ya se haya implementado y analizado dicho tema. El artículo, Energy Analysis of a Rotary Drum Biorreactor for composting instruye acerca de la construcción de reactores para compost. En el artículo se construyen tres biorreactores de tambor rotativo a escala piloto idénticos, cada biorreactor es un barril de acero, este, contiene una puerta de apertura para la carga limpieza y muestreo. El reactor fue aislado en las superficies externas con una capa de fibra de vidrio para mantener la temperatura controlada. Los tres reactores giran

<sup>62</sup> Rogelio Cuevas Garcia. Ingeniería de Reactores &nbsp; [Consultado el Marzo 30,2018]. Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Balancemateria\\_10657.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Balancemateria_10657.pdf)

horizontalmente alrededor de un tubo de acero. Para reducir el tiempo de residencia, en el proceso se implementa un motor que permita rotar el reactor de manera constante. En la Imagen 6., se muestra un reactor horizontal con rotación forzada empleando un motor. La temperatura del compost alcanzó un punto máximo de 66.7 °C durante 72 h de operación.<sup>63</sup>

El trabajo de grado, Compostaje en tambor rotatorio para la revalorización de lodos residuales, fabricó un reactor con material de plástico de alta densidad para el contenedor, el cual evita que parte de la temperatura disipe al medio ambiente. Posteriormente se adicionó una puerta de plástico transparente fijada con bisagras, con el fin de monitorear la composta. En el centro de las dos caras planas de barril se abrió un orificio con el fin de introducir un tubo de hierro que permite la rotación manual. La base del tambor consta de dos pares de patas elaborados con hierro. La mezcla se mantuvo durante 30 días con una rotación de 3 minutos cada 24 horas.<sup>64</sup>

**Imagen 6.** Esquema del reactor tambor rotatorio



**Fuente.** Fahad N. Alkoaik , Ahmed M. Abdel-Ghany, Mohamed A. Rashwan Ronnel B. Fulleros y Mansour N. Ibrahim. Energy Analysis of a Rotary Drum Bioreactor for Composting Tomato Plant Residues. 2018., p.3

El artículo, Sewage sludge composting in a rotary drum reactor: stability and kinetic analysis, desarrolla un compostador de tambor rotativo tipo batch a escala piloto, fabricado con una lámina de metal. Dentro del reactor, en la pared interior de este se encuentra un conjunto de aletas para permitir homogenizar la mezcla. El tambor cuenta con dos orificios para drenar los lixiviados producidos en el proceso. Para

<sup>63</sup> Fahad N. Alkoaik, et al. Energy Analysis of a Rotary Drum Bioreactor for Composting Tomato Plant Residues. En: Energies. Febrero 18,. p. 1

<sup>64</sup> Jesus Garcia Gonzales. Compostaje En Tambor Rotatorio Para La Revalorización De Lodos Residuales; Universidad Autónoma del Estado de México, 2017. p. 8

garantizar que el material en la parte superior se mueva a la parte central en donde la temperatura es más alta, el compostador se somete a una rotación manualmente cada 24 h.

### 3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Con base a la bibliografía expuesta anteriormente se procede a construir los tres reactores tamb00r rotatorio, posteriormente se muestra el balance de materia para definir las cantidades másicas necesarios a la entrada del reactor de los lodos y el residuo seleccionado. Finalmente, después de realizar el seguimiento a variables en la pre-experimentación y experimentación se analizan los resultados durante y al final del desarrollo

**3.2.1 Residuos orgánicos para el proceso de compostaje.** Como se enseña en la caracterización del lodo, su relación C/N corresponde 14.48 p:p siendo deficiente para un proceso de compostaje. Principalmente, es necesario utilizar residuos orgánicos que permitan subir la relación C/N, en un rango ideal de 15:35 p:p como lo indica el Manual del Compostaje, ya que esto permitirá que los microorganismos utilicen las fuentes sencillas de C y N para elevar la temperatura e iniciar el proceso.<sup>65</sup> En la Tabla 9., se observa algunos materiales utilizados en el proceso de compostaje con alto nivel de carbono y nitrógeno, sin embargo, esto impedirá la actividad biológica de los microorganismos, por esto es ideal escoger un residuo equilibrado entre estos componentes, como se presenta en la Tabla 9.; los restos de poda contienen una relación C/N de 44, por su alto contenido de celulosa y lignina, esto permitirá elevar la relación C/N en los lodos para finalmente llevar a cabo el proceso. Los residuos de poda se caracteriza por tener bajo %Humedad. Además, utilizar los restos de poda son de gran beneficio para la planta FW, puesto que cuenta con alrededor de 200 hectáreas de zona verde.

**Tabla 8.** Cantidad de Relación C/N en materiales orgánicos.

Nivel alto de nitrógeno		C:N Equilibrado		Nivel alto de carbono	
Material	C:N	Material	C:N	Material	C:N
Purines frescos	5	Hojas de frijol	27:1	Basura urbana	61:1
Gallinaza pura	7:1	Pulpa de café	291:1	Cascarilla de arroz	66:1
Desperdicios de cocina	14:1	Restos de hortaliza	37:1	Aserrín	638:1
		Restos de poda	44:1	Hierba recién costada	43:1

**Fuente.** Adaptado de PNUD-INFAT (2002)

<sup>65</sup>PILAR Román.Op.cit., p .53

**3.2.2 Construcción de los reactores.** Teniendo en cuenta la recolección bibliográfica, mencionada en el literal 3.1.2 se basa en hacer un reactor tambor rotatorio para compostaje a escala laboratorio. Se construyen tres reactores, de los cuales dos van hacer duplicados, es decir van a tener la misma composición y cantidad, para que los datos obtenidos tengan completa confiabilidad. El tercer reactor contiene solo lodo, para demostrar que estos lodos, por si solos no son capaces de producir abono orgánico. Los reactores, se construyen a partir de canecas de polietileno, puesto que es un material resistente a cualquier forma de corrosión ocasionado por lixiviados o simplemente causas naturales, también es resistente a bacterias que puedan alterar el compost y además de su bajo costo. El reactor tiene un volumen de 45 m<sup>3</sup> cada uno. Las dimensiones son de 25 cm de diámetro por 50 cm de largo, estas dimensiones son basadas en la tesis realizada por Rodriguez, Alvaro.<sup>66</sup> En la construcción se utiliza un tubo de hierro que atraviesa el reactor internamente y sale por sus extremos para que el reactor se sostenga junto con el soporte y permita su rotación. Este tubo tiene una longitud de 0.944 m. Estas dimensiones se aprecian en la Imagen 7.

**Imagen 7.** Representación del reactor.



**Fuente:** Elaboración propia

Las dimensiones correspondientes al soporte del reactor son 0.775 m de longitud y 0.87 m de alto, estos permitirán sostener los reactores y facilitar la rotación empleada a cada reactor. La Imagen 8., representa la construcción de los reactores junto con los soportes.

---

<sup>66</sup> RODRIGUEZ.alvaro. Op.cit., p. 41

**Imagen 8.** Reactores con soporte.



**Fuente:** Elaboración propia

En la parte inferior de cada reactor se abre un orificio, para que pueda drenar los lixiviados, por medio de mangueras, el cual tiene un diámetro de 0.5 cm. En la Imagen 9., se evidencia que el reactor en su parte interior tiene dos aletas, su función es mezclar el lodo y la materia orgánica. Se realizó a partir de un tubo con un diámetro de 1 cm y 0.944 m de largo, se corta por la mitad el tubo, y estas mitades son instaladas en las paredes de los reactores.<sup>67</sup> También se fija una puerta de apertura, que básicamente su función es permitir monitorear las variables del proceso y tomar muestras para el respectivo análisis. Para la instalación de las aletas y puerta de apertura, se utiliza tornillos, arandelas, bisagras y pasadores de acero inoxidable para evitar corrosión sobre estos. El procedimiento de la construcción de los reactores es basado en las fuentes, How to make and design a compost tumbler with simple instructions, elaborado por Alex.sniperj9<sup>68</sup>, Para el soporte del reactor. La construcción del reactor en general también se toma de la fuente How to make a compost tumbler, realizado por days well spend<sup>69</sup>.

---

<sup>67</sup> RODRIGUEZ.alvaro. Op.cit., p. 41

<sup>68</sup> Alex y sniperj9. How to make and design a compost tumbler with simple instructions. United States:California. feb 18 2014 [Consultado el marzo 17 2018]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=e28UwjWoY0Y>

<sup>69</sup> Days Well Spent. How To Make A Compost Tumbler. United States.Jul 14.,20 15 [Consultado el marzo 17 2018] Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Xoypwb7dHDg>

**Imagen 9.** Parte interna del reactor.



**Fuente:** Elaboración propia

En la planta FW, donde se encuentran los reactores, la temperatura oscila entre 11-14°C, lo que genera que los microorganismos no puedan sobrevivir a estas bajas temperaturas. Además, la cantidad de materia orgánica y lodo que tiene los reactores es muy reducida, lo que produce una mínima generación y conservación de calor. Por esta razón se opta por incorporar un aislante aluminizado térmico Thermolon Polylyon<sup>70</sup> como se observa en la Imagen 10., donde el reactor está recubierto por el material aislante.

**Imagen 10.** Reactor cubierto con Thermolon Polylyon.



**Fuente:** Elaboración propia

---

<sup>70</sup> RODRIGUEZ, Alvaro Jose. Op cit., 41

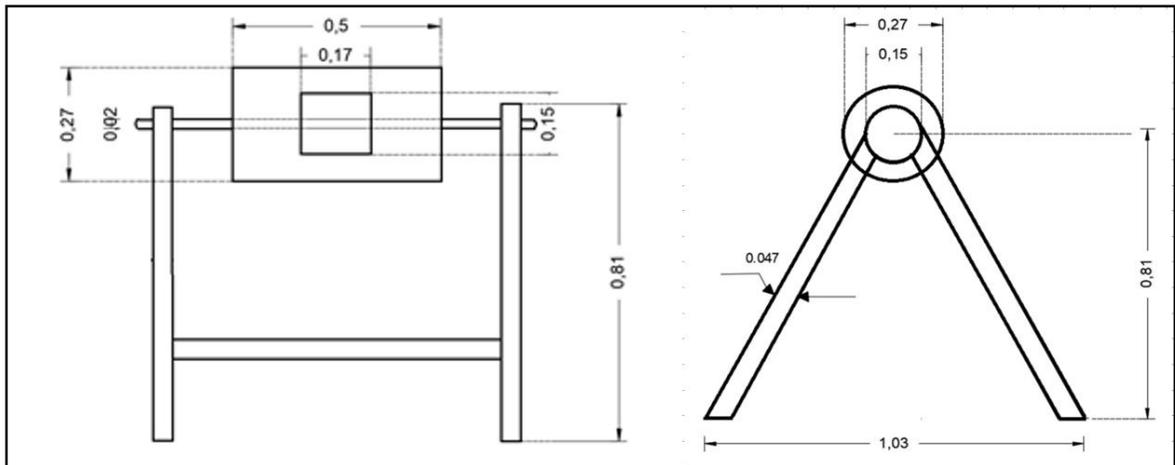
En la Tabla 10., se muestra las dimensiones y algunas especificaciones de los reactores construidos

**Tabla 9.** Especificaciones del reactor y soporte

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud del reactor	0,50	m
Longitud del tubo de hierro	0,944	m
Volumen del reactor	0,045	m <sup>3</sup>
Masa del reactor vacío	3.833	Kg
Masa del reactor con lodo y materia orgánica	11.11	Kg
Diámetro reactor sin aislante	0,261	m
Diámetro reactor con aislante	0,273	m
Área de la puerta de apertura	0,0255	m <sup>2</sup>
Diámetro del orificio del drenaje para los lixiviados	0.5	m
Diámetro de aireación en el reactor	0.002	m
Longitud del soporte	0,775	m
Ancho del soporte	1,03	m
Altura del soporte	0,81	m

En la Imagen 11., se puede apreciar las dimensiones del reactor con vista frontal. Las medidas están función de la Tabla 7.

**Imagen 11.** Dimensiones del reactor



**Fuente:** Elaboración propia

**3.2.3 Variables iniciales del proceso.** Para obtener un adecuado desarrollo en el proceso de compostaje, se deben tener en cuenta algunas variables iniciales fundamentales, que permitirá iniciar el proceso en las condiciones adecuadas. En el Cuadro 5., se presenta las variables de entrada más influyentes en el proceso.

**Cuadro 5.** Variables al inicio del proceso

<b>Variables iniciales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango inicial</b>
Temperatura	La temperatura, Según Bueno, Díaz y Cabrera (2018) <sup>71</sup> , al disponerse el material en los reactores, inicia a una temperatura ambiente, pero al crecer los microorganismos, se genera calor aumentando la temperatura del Compostaje. Este aumento de temperatura tarda entre 5 – 8 días.	El rango inicial del proceso debe ser T<45 °C, debido a que se encuentra en la fase inicial.
Humedad	Según ALVAREZ (2010) <sup>72</sup> , la humedad inicial del proceso debe ser menor al 60%, humedades superiores a los valores indicados, genera un desplazamiento de aire con las partículas de materia orgánica ocasionando que el sistema se torne anaerobio. Si la humedad es mínima desciende la actividad biológica y el proceso se vuelve lento.	30%< %humedad < 60%
	Según Bueno P <sup>73</sup> , aseguran que el compostaje debe cumplir con propiedades químicas aceptables, con un contenido de humedad medio, para que opere el proceso.	55%
Relación C/N	Según OPS (2009), <sup>74</sup> El carbono es una fuente energía para los microorganismos y el nitrógeno ofrece una alta síntesis proteica. Una relación favorable permitirá un buen crecimiento y reproducción.	25:1 – 35:1

<sup>71</sup> Bueno, Díaz y Cabrera Op cit., p.2

<sup>72</sup> lbit.,p.11,12

<sup>73</sup> BUENO,P., et al. Modelling of Parameters for Optimization of Maturity in Composting Trimming Residues. 2009. p. 5859-58640960-8524

<sup>74</sup> FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE COMPOSTAJE.Op.cit.,p.5

**Cuadro 5. (Continuación)**

<b>Variables iniciales</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango inicial</b>
	Según la FAO, la Relación C/N cambia en función del material de partida y se reduce paulatinamente a lo largo del proceso. Es necesario que esta variable sea equilibrada al inicio del proceso	15:1 – 35:1
Tamaño de partícula	Según KIEHL (1985) <sup>75</sup> El tamaño de partícula es una variable que influye en la optimización del proceso. La disminución del material facilita a los microorganismos su proceso de degradación, aumentando la velocidad del proceso.	1 cm < Diámetro > 5 cm

Respecto a la humedad de los lodos, estos se encuentran en un porcentaje de 87,32% inicialmente obtenida de la primera piscina de sedimentación, sin embargo, estos se someten a un proceso de secado como lo indica OPS (2008), que consiste en extender en capas delgadas el lodo, para permitir que la humedad de este se evapore naturalmente. Además, se expusieron al sol durante 7 días continuos permitiendo obtener una humedad del 81,93%. Respecto a la relación C/N, como se menciona en el literal 3.1, se utiliza un material orgánico altamente seco y con una relación C/N equilibrada permitiendo subir el contenido de carbono en los lodos para finalmente obtener el compostaje. El tamaño de partícula óptimo, como se muestra en la Cuadro 5., corresponde a valores de 1 cm – 5 cm en los residuos orgánicos. Inicialmente, como se muestra en la Imagen 12., el césped tiene un gran tamaño de partícula impidiendo su rápida degradación. Para llevar el césped al tamaño ideal se utiliza un molino de martillo modelo MMV 06 que permita obtener un tamaño de 5 cm en el césped. Una vez sometido el césped al proceso de molienda, se observa el cambio significativo de su tamaño de partícula como se presenta en la Imagen 12.

---

<sup>75</sup> lbit.,p.10,11

**Imagen 12.** Pasto inicial y pasto después de molienda



**3.2.4 Balance de materia.** Se realiza el balance de materia, para establecer la cantidad necesaria de lodo y residuos orgánicos en cada reactor, teniendo como prioridad la relación C/N, siendo la determinante para el compostaje. Según el Autor TCHOBANOGLOUS <sup>76</sup>, propone que a la salida del reactor la relación C/N total corresponda a 30 p:p para permitir la fermentación aerobia, debido a que a relaciones menores el nitrógeno se convertirá en amoníaco impidiendo la actividad biológica. Basado en el Autor RODRIGUEZ, Álvaro <sup>77</sup> el óptimo volumen que debe ocupar la mezcla es del 80% que equivale a 0,03624 m<sup>3</sup> de la capacidad total que tiene cada reactor. A continuación, se observa en la Tabla 11., los datos obtenidos en el laboratorio, se estableció la densidad, y la relación C/N. La determinación de la densidad se realiza bajo el procedimiento establecido por la norma NTC 5167. Estos protocolos se pueden evidenciar en el anexo B, excepto la relación C/N de los sustratos.

**Tabla 10.** Datos iniciales de densidad y relación C/N.

Materia Prima	Densidad (g/mL)	Relación C/N
Lodo	1,254	14,48
Césped	0,115	44

Posteriormente, se explica el balance de materia prima para obtener la cantidad exacta de lodo y residuos orgánicos que se requiere en cada reactor:

<sup>76</sup> Tchobanoglous George, Theissen Hilary y Eliassen Rolf. Desechos Sólidos Principios De Ingeniería Y Administración. Venezuela: Ambiente y los Recursos Naturales Renovables AR-16, 1987.

<sup>77</sup> RODRIGUEZ, Alvaro Jose. Op cit., 50



*Entrada = Salida*

### **Ecuación 1. Balance de materia**

$$M_L * (C/N)_{Lodo} + M_C * (C/N)_{Cesped} = M_t * (C/N)_{Total}$$

Para determinar la cantidad necesaria a la entrada del reactor se realiza un método matemático que permita obtener la fracción másica del lodo y césped por medio de la siguiente ecuación

$$\frac{M_L}{M_T} * (C/N)_{Lodo} + \frac{M_L}{M_T} * (C/N)_{Cesped} = \frac{M_T}{M_T} * (C/N)_{Total} \quad (2)$$

$$X_{Lodo} * (C/N)_{Lodo} + X_{Cesped} * (C/N)_{Cesped} = X_{total} * (C/N)_{Total} \quad (3)$$

$$X_{lodo} + X_{cesped} = 1 \quad (4)$$

Despejando la fracción másica del césped de la ecuación 2, se obtiene:

$$X_{cesped} = 1 - X_{lodo} \quad (5)$$

Para despejar la fracción másica del lodo, se procede a reemplazar la ecuación (3) en la ecuación (1), para dejar todo en términos, de la fracción másica del lodo.

$$X_{Lodo} * (C/N)_{Lodo} + (1 - X_{lodo}) * (C/N)_{Cesped} = X_{total} * (C/N)_{Total} \quad (6)$$

Despejando de la ecuación 4, fracción másica del lodo ( $X_{lodo}$ ).se obtiene la siguiente ecuación:

$$X_{Lodo} = \frac{(C/N)_{Total} - (C/N)_{Cesped}}{(C/N)_{Lodo} - (C/N)_{Cesped}} \quad (7)$$

Reemplazando los valores de la ecuación 5, se procede a calcular la fracción másica del lodo.

$$X_{Lodo} = \frac{30 - 44}{14,48 - 44} = 0,474 \quad (8)$$

Teniendo en cuenta la ecuación 3, se obtendría la fracción másica del césped, por la relación. Reemplazando los valores queda de la siguiente manera:

$$X_{cesped} = 1 - 0,4742 = 0,526 \quad (9)$$

El volumen del reactor corresponde a 45300 ml, sin embargo, para permitir la rotación del reactor se debe utilizar el 80% de su volumen, es decir 36240 ml.

$$V_{reactor} = 45300 \text{ ml}$$

$$V_{efectivo} = 36240 \text{ ml}$$

La capacidad del volumen efectivo corresponde a la mezcla total

$$V_{Lodo} + V_{cesped} = V_{efectivo} \quad (10)$$

La determinación del volumen de cada componente se determina con respecto a su densidad:

$$\frac{M_{cesped}}{\rho_{cesped}} = V_{cesped} \quad (11)$$

$$\frac{M_{lodo}}{\rho_{lodo}} = V_{lodo} \quad (12)$$

Es necesario relacionar las masas y las composiciones de cada componente para permitir obtener una ecuación en función de otra:

$$\frac{M_{lodo}}{M_{Cesped}} = \frac{x_L}{X_P} = \frac{0,474}{0,526} = 0,90$$

Una vez obtenida dicha relación se procede a despejar la masa del lodo:

$$M_{Lodo} = 0,9 * M_{cesped} \quad (13)$$

Posteriormente, Reemplazan las ecuaciones 9 y 10 en la ecuación 8, con el fin de obtener el  $V_{efectivo}$  en función de las densidades y la masa de los sustratos

$$\frac{M_{cesped}}{\rho_{cesped}} + \frac{M_{Lodo}}{\rho_{Lodo}} = V_{efectivo} \quad (14)$$

Es necesario reemplazar la ecuación 11 en la ecuación 12 para realizar el despeje de la masa del césped:

$$\frac{M_{cesped}}{\rho_{cesped}} + \frac{0.9 * M_{cesped}}{\rho_{Lodo}} = V_{efectivo}$$

$$M_{cesped} * \left( \frac{1}{\rho_{cesped}} + \frac{0.9}{\rho_{Lodo}} \right) = V_{efectivo}$$

$$M_{cesped} = \frac{V_{efectivo}}{\left( \frac{1}{\rho_{cesped}} + \frac{0.9}{\rho_{Lodo}} \right)} \quad (15)$$

Reemplazando los valores de densidad y volumen efectivo se calcula la masa del césped adecuada:

$$M_{cesped} = \frac{36240 \text{ ml}}{\left( \frac{1}{0.1159 \text{ g/ml}} + \frac{0.9}{1.254 \text{ g/ml}} \right)} = 3877,7 \text{ g} \rightarrow 3,88 \text{ kg}$$

Para determinar la cantidad de lodo necesario se determina mediante la ecuación 11, obteniéndose:

$$M_{Lodo} = 0.9 * 3,88 \text{ Kg} = 3,492 \text{ kg}$$

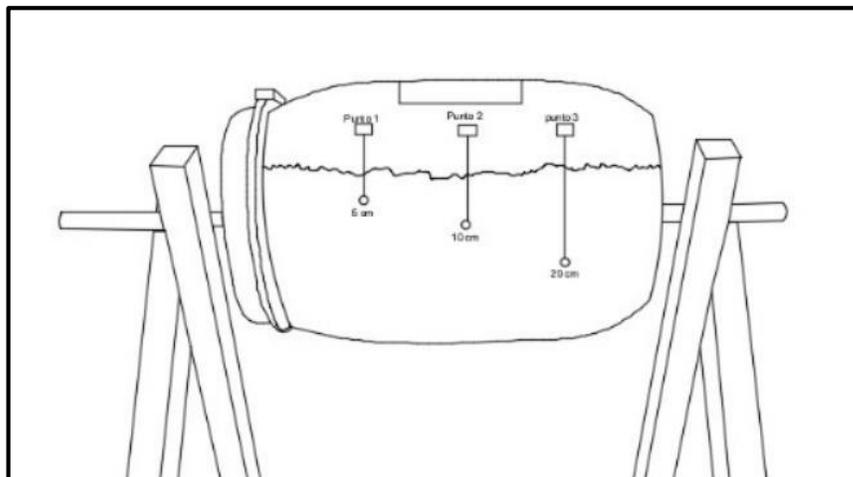
### 3.3 CONTROL DE VARIABLES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

Con el fin de controlar el proceso, se debe hacer un seguimiento de cada una de las variables que intervienen en el proceso. Para esto, se realiza una serie de protocolos que indica el procedimiento a seguir.

- **Temperatura:** La temperatura es una variable dependiente, esta, debe ser monitoreada todos los días durante el proceso, debido a que indica las etapas del compostaje. La temperatura se monitorea con un multímetro de referencia UNI-T UT33C, representado en el anexo C. Para la medición de la temperatura

se utiliza una termocupla tipo K, a la cual se le adhiere un palo de madera sujeto con cauchos que permita darle firmeza y soporte al momento de tomar las temperaturas en las diferentes profundidades de la mezcla. La temperatura se mide en tres puntos a diferentes distancias trasversales con de 10 cm equidistantes dentro del reactor, como se muestra en el anexo D. Cabe resaltar, que la medición de la temperatura se realiza antes de rotar los reactores para evitar errores por la disipación del calor<sup>78</sup>.

**Imagen 13.** Puntos de medida en el reactor.



**Fuente:**Elaboracion propia

- **pH:** Para la medición del pH se emplea el instrumento de referencia PH-009(I). como se muestra en el anexo C, el cual contiene 2 pH buffer powder para permitir su calibración, que consiste en sumergir el electrodo en una disolución de agua con buffer durante un minuto. El instrumento cuenta con una herramienta de punta tipo pala, para alcanzar el valor del pH que indica el buffer. El muestreo se realiza en 3 puntos a diferentes distancias trasversales de 10 cm equidistantes. Una vez tomada las muestras se diluye en 25 ml de agua desionizada cada una y se introduce el instrumento para obtener el valor del pH, Como se evidencia en el anexo D. El monitoreo de esta variable se realiza durante todos los días del proceso de compostaje<sup>79</sup>.
- **Relación C/N:** Para el control de esta variable, es necesario tomar tres muestras, en las etapas mesófila, termófila y de maduración. Las muestras son analizadas en el laboratorio de aguas residuales del acueducto de Bogotá. Estas, deben ser almacenadas en bolsas herméticas a una temperatura de 4 °C para su conservación.

<sup>78</sup> RODRIGUEZ, Alvaro Jose. Op cit., 41

<sup>79</sup> RODRIGUEZ, Alvaro Jose. Op cit., 41

- **Humedad:** Para determinar la humedad, se toman 3 muestras durante el proceso, en una bolsa hermética a una temperatura de 4 °C, estas son analizadas en el laboratorio bajo la norma NTC 1495, denominada, Método de ensayo para determinar en el laboratorio el contenido de humedad de suelos y rocas. El protocolo para la determinación del porcentaje de humedad se encuentra establecido en el anexo B en la pág. 2.

### 3.4 ADECUACIÓN DEL TERRENO EN LA PLANTA FW

Se ubican los tres reactores, exactamente en la zona donde se encuentran las tres piscinas de sedimentación, es decir donde se encuentran contenidos los lodos a 20 metros de la primera piscina de sedimentación. El terreno que ocupa los tres reactores tiene un área total de 9 m<sup>2</sup>, que corresponde a 3 m de longitud y 3 m de ancho, construida con cuatro palos de guadua que son el soporte de una carpa de plástico que protege a los reactores. Para que los lixiviados puedan drenar por las mangueras y lleguen a las botellas, se procede a inclinar los reactores a 30° aproximadamente con un ladrillo en dos soportes de cada reactor, como se evidencia en la Imagen 14.

**Imagen 14.** Adecuación del terreno.



En la Imagen 15., se observa la ubicación satelital de la planta FW, donde se encuentra la estación de bombeo, el embalse de San Rafael, los filtros y en las piscinas de sedimentación se ubican los reactores a 20 metros de estas donde se lleva a cabo la pre-experimentación y experimentación del proceso de compostaje.

**Imagen 15.** Ubicación Satelital de los reactores



Fuente. Google Earth.2018.

### 3.5 ANÁLISIS Y RESULTADOS

**3.5.1 Pre-experimentación.** La pre-experimentación, es el primer acercamiento a la solución del problema, en donde se validan los sustratos y sus características. Durante el proceso, la pre-experimentación tuvo un tiempo de seguimiento de 20 días. En la Tabla 12., se muestra las características de los sustratos al inicio de la pre-experimentación y en la Tabla 13., se presenta las características en cuanto a rotación y/o aireación aplicadas en el proceso.

**Tabla 11.** Características iniciales de los sustratos en el proceso de compostaje.

Características de los sustrato	Lodo	Césped
Humedad (%)	81,93	26
Relación C/N (p: p)	14.48	44
Cantidades máxicas (Kg)	3,127	3,475
Tamaño de partícula (cm)	-	5

**Tabla 12.** Características del proceso en la pre-experimentación durante 20 días

Características del proceso	Pre-experimento (Tiempo)
Frecuencia de aireación	24 (Horas)
Tiempo de aireación	4 (min)
Rotaciones por minuto	28 (rpm)

En la Tabla 13., se aprecia la frecuencia de aireación correspondiente a cada 24 horas como mencionan algunos autores, las rotaciones se llevaron a cabo en horario de la mañana (7am-8am), y se optó por realizarlas durante 4 minutos con el

fin de que no se disipará el calor o ingresara corrientes de aire frío dentro del reactor, por cada minuto se realizaban 28 rotaciones. A lo largo del proceso se pudo evidenciar que el césped era capaz de elevar la temperatura e iniciar el proceso de compostaje como se muestra el anexo F, sin embargo, su tiempo de degradación era alto, y este factor está estrechamente relacionado con el tamaño de partícula como indica KIEHL (1985)<sup>80</sup>, esto, impidió obtener todas las etapas del compostaje, si se desea acelerar el proceso es necesario disminuir el tamaño de partícula del césped, lo cual cambia las cantidades másicas en la experimentación. Respecto al % humedad de los lodos, este al inicio del proceso fue del 79% y 76% en el reactor 1 y 2 como se muestra en la Tabla 14., causando lixiviados a lo largo de la pre-experimentación debido a que la capacidad de retención de humedad en el reactor estaba excedida como indica Granatstein David, 2002. En la Tabla 14., se presenta el seguimiento del % de humedad durante la pre-experimentación en cada uno de los reactores. El % de humedad se determina por la norma NTC 1495, una vez por semana. Por las razones indicadas anteriormente, no se alcanzó las temperaturas deseadas (65°C), siendo el valor más alto 29 °C en el último día del pre-experimento, es decir el gradiente entre la temperatura ambiente y la temperatura dentro del reactor correspondió a 10 °C. Respecto al pH durante el proceso se mantuvo en un rango de 6.4 – 7.2 (los resultados se evidencian en el anexo F) siendo un punto a favor puesto que inhibe el crecimiento de los hongos, pero aumenta la actividad bacteriana, como instruye el manual del compostaje.

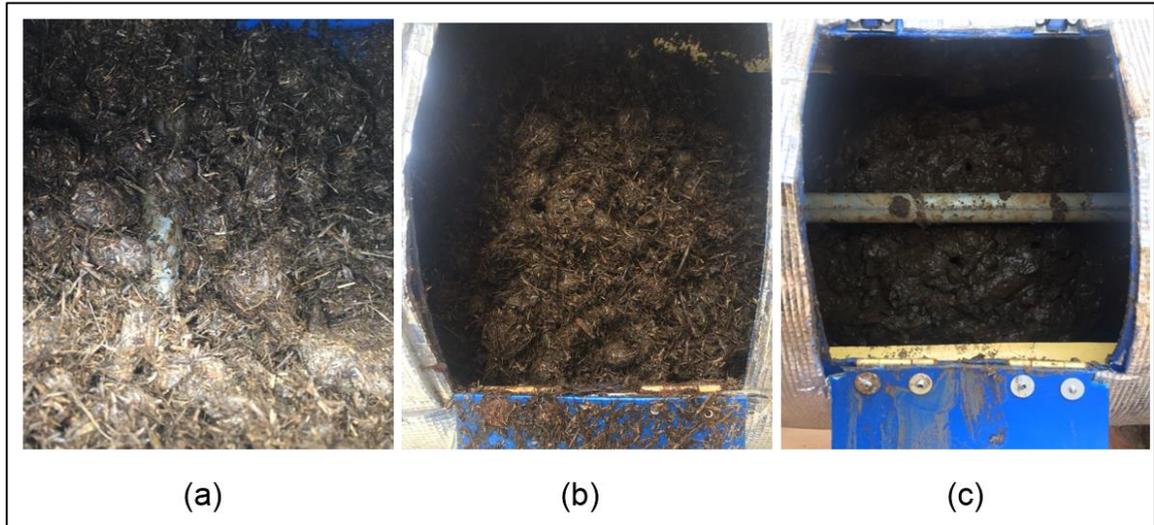
**Tabla 13.** Seguimiento de la humedad en la pre-experimentación

% Humedad			
Fecha	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
16/03/18	79	76	87
26/03/18	71	70	85
04/04/18	62	64	83

**3.5.2 Experimentación.** A partir de la pre-experimentación expuesta anteriormente se toma decisiones, con el fin de mejorar el proceso de compostaje. Es necesario disminuir el tiempo de aireación de los reactores a la mitad del tiempo establecido en la pre-experimentación, es decir a 2 min/día, para mitigar las pérdidas de calor. De igual forma se disminuyó el tamaño de partícula a 1 cm para obtener una degradación en el césped más eficiente y se llevó el proceso de compostaje finalmente a 24 días. A continuación, se explica detalladamente las decisiones tomadas para cada una de las variables que intervienen en el proceso.

<sup>80</sup> BUENO, pedro Op.cit.,p.5

**Imagen 16.**Reactor 1 (a), Reactor 2 (b), Reactor blanco (c)



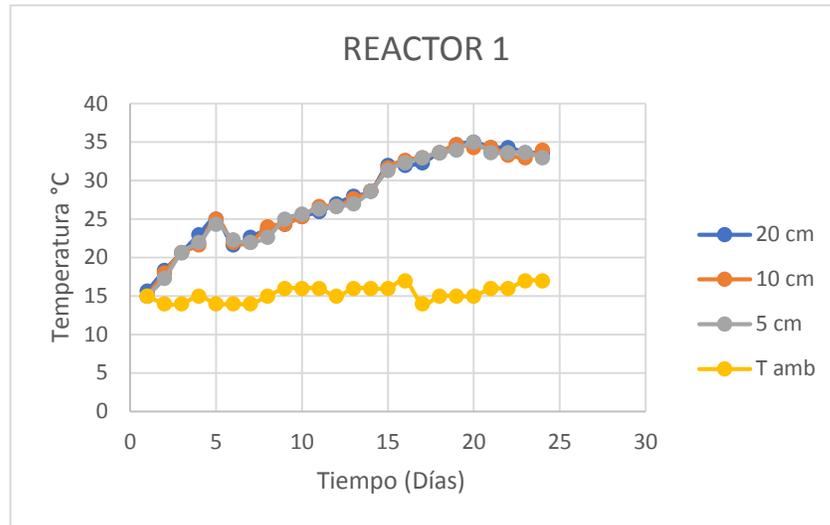
- **Temperatura.** Nuevamente se hace un recubrimiento con el aislante para aumentar la generación y conservación del calor. Sin embargo, por las bajas temperaturas en la planta FW (11°-14°C), se observó que no fue suficiente aumentar la temperatura, por esta razón fue necesario almacenar los reactores en un lugar cerrado, y para aumentar esta variable se suministró calor por medio de dos calefactores eléctricos con una temperatura de 30°C cada 2 horas/día, en la última semana del experimento. De igual forma se agregó melaza, puesto que es un activador finito usado para aumentar la velocidad de la descomposición de los residuos como indica la revista de investigación agraria y ambiental<sup>81</sup>. Inicialmente, se devuelve 0.5 kg de melaza en 1.5 L de agua, esta cantidad se agrega durante los 7 días de la semana, desde que inició el proceso hasta que finalizó.

Como se evidencia el Gráfico 1 y Gráfico 2., correspondientes al reactor 1 y reactor 2, la temperatura más alta fue de 35 °C, es decir, el proceso de compostaje llegó a la fase mesófila en donde los microorganismos degradan las fuentes sencillas de C y N. A pesar de que el diferencial entre la temperatura ambiente y la temperatura del compostaje, corresponde a 21°C en el décimo noveno día del proceso, esta no es la temperatura esperada en el proceso. En el compostaje no se activaron los microorganismos de la fase termófila debido a que no se alcanzaron las temperaturas superiores a 45 °C, a simple vista no se generaron hongos termófilos o actinomicetos, siendo los encargados de degradar las fuentes más complejas de carbono, como la celulosa y la lignina.

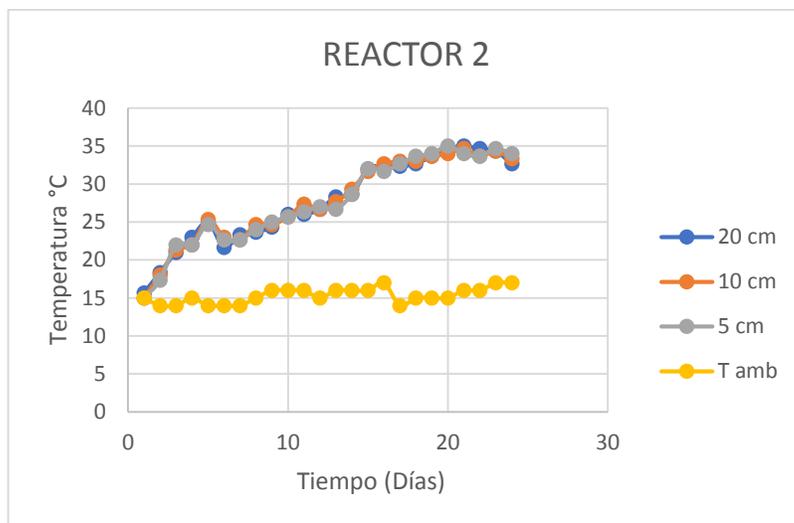
---

<sup>81</sup> REYES, Óscar Eduardo Sanclemente; ARBOLEDA, Mauricio García y TRUJILLO, Francis Lilibiana Valencia. Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Saccharum officinarum*). En: Revista De Investigación Agraria Y Ambiental. vol. 2, no. 2, p. 13-19

**Gráfico 1.** Seguimiento de la temperatura en el reactor 1

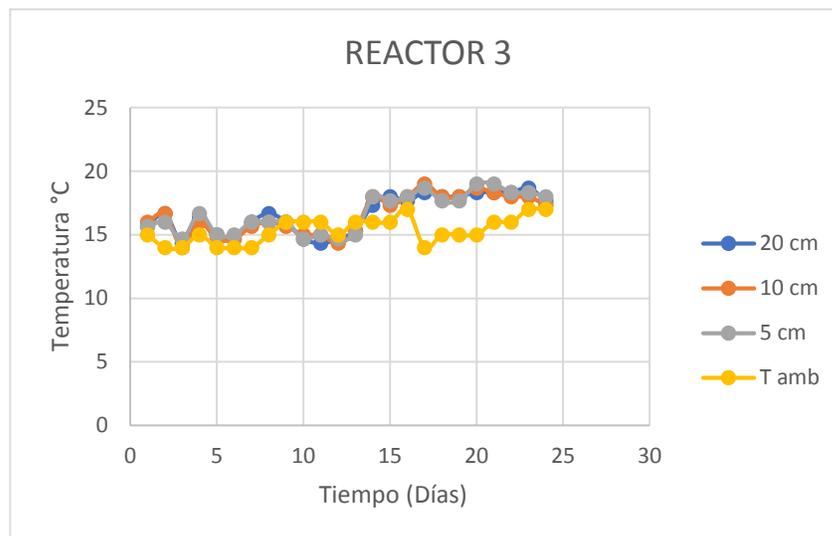


**Gráfico 2.** Seguimiento de la temperatura en el reactor 2



Respecto al reactor 3, siendo el reactor blanco, es decir que no cuenta con ningún residuo orgánico, como se evidencia en el Gráfico 3., este por sí solo no es capaz de llevar a cabo el proceso de compostaje, puesto que las temperaturas no aumentaron, manteniéndose cercanas a la temperatura ambiente.

. **Gráfico 3.** Seguimiento de la temperatura en el reactor 3



- **pH.** El pH durante el proceso se mantuvo en rangos de 6,5-7,1 en el primer reactor y en el segundo reactor rangos de 6,6- 7, valores ligeramente ácidos (6,5) y neutros, como se evidencia en el Gráfico 4., Un pH ligeramente ácido es tolerado por la bacterias y un adecuado desarrollo favorable en la fase inicial o mesófila y por ende tiene la cantidad necesaria de hierro para la mayoría de las plantas, en la neutralidad se encuentran compuestos de fosfatos mono y bicálcicos solubles<sup>82</sup>, que pueden contener más de un 20% de fósforo, y es esencial en la transferencia de energía<sup>83</sup>. Los rangos de pH obtenidos durante el proceso son el resultado, de la mezcla del lodo y el agente de carga, el césped. Según el autor Zuleta afirma que es el césped tiene un rango de pH de 6.2-7<sup>84</sup>. El césped seco es rico en carbono, evitando la pérdida de nitrógeno que al descomponerse se forma en amoníaco (NH<sub>3</sub>), el cual es un gas que alcaliniza ligeramente afectando la calidad final del compostaje<sup>85</sup>. Pero al no producirse la fase termófila, no hubo crecimiento de hongos termófilos ni actinomicetos que tienen una actividad microbiana de un rango de pH 3.2-6.5, lo cual no permitió la mineralización que es la transformación del nitrógeno en amonio y nitrato. Son fundamentales porque su forma inorgánica permite que fluyan los minerales solubles o insolubles en el suelo hasta convertirse en humus<sup>86</sup>.

<sup>82</sup> Alvarez martha. CESPED Una Guía Esencial Para El Cuidado Y La Renovación Del Césped De Todo Tipo De Jardines&nbsp;&nbsp;  1ra. edición-5000ejemplares ed. ARGENTINA: Albastros SACI, 2006. p. 29-30 .

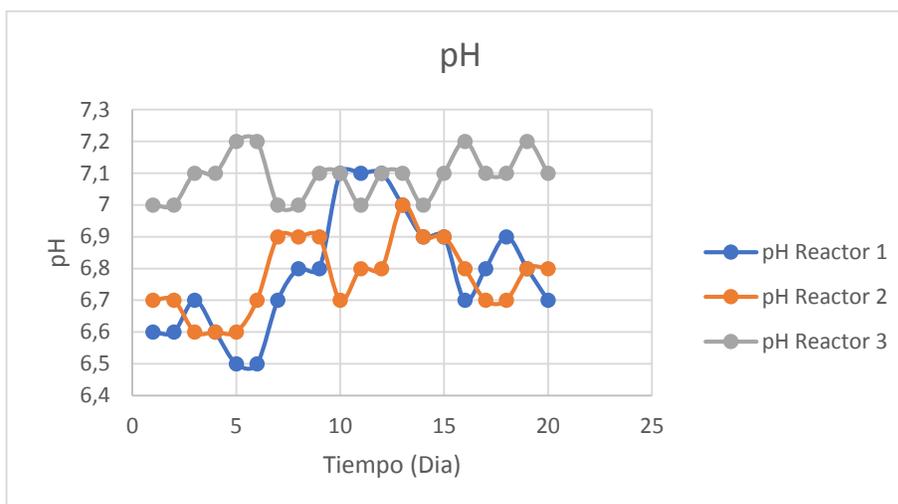
<sup>83</sup> Dr. Carlos de Blas. Fuentes de fósforo. [Consultado el mayo 212018]. Disponible en: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/fuentes-de-f%C3%B3sforo](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/fuentes-de-f%C3%B3sforo)

<sup>84</sup> ZULUETA IBARROLA, José Manuel. El PH En El Suelo Del Césped. En línea. ZULETA, 2018.

<sup>85</sup> compostadores. El pH en el compost. [Consultado el junio 072018]. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/la-cosecha-el-compost-casero/155-el-ph-en-el-compost.html>

<sup>86</sup> PILAR Román.Op.cit., p .35

**Gráfico 4.** Seguimiento del pH en el reactor 1 y en el reactor 2.



➤ **% Humedad.** En la Tabla 15., se evidencia los datos obtenidos en el laboratorio bajo la norma NTC 1495 que se presenta en el anexo B. En el transcurso de la primera semana que inicio el experimento se observó que disminuyó el %humedad respecto al inicial. En el reactor 2 se observa una mayor disminución a comparación del reactor 1 durante el proceso, sin embargo ambos mostraron un descenso constante. Al inicio del proceso, en la mezcla fue imposible obtener el % humedad optimo establecido, por ALVAREZ (2010), siendo del 30%-60% sin embargo estuvo muy cercano a estos valores, por esto no se produjeron lixiviados. Finalmente, en el reactor 1 y 2 se obtuvo un porcentaje del 58,24% y 55,67% respectivamente mostrados en la caracterización final en el anexo G, impidiendo que el agua sature los poros e infiera en la oxigenación de la mezcla. Además, la humedad está vinculada con los microorganismos ya que estos la utilizan como medio de transporte.

**Tabla 14.** Seguimiento del % Humedad en la experimentación

Fecha	% Humedad		
	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
19/04/2018	68	59	70,2
23/04/2018	66,8	58,2	70,9
30/04/2018	62,7	56,8	71,1
07/05/2018	59,3	55,1	70
10/05/2018	58,24	55,67	69,3

➤ **Cenizas.** Para lograr conocer con exactitud la cantidad de abono orgánico que se logra obtener al final del proceso, es necesario determinar el comportamiento de la biodegradabilidad de materia orgánica en el proceso del compostaje, sin embargo, durante el proceso la materia orgánica tiende a disminuir debido a su mineralización y perdida de carbono en forma de anhídrido, carbónico, la

velocidad depende de los microorganismos presentes y de las condiciones como temperatura, humedad y pH. Para determinar la biodegradabilidad se estima mediante un balance de materia, a partir del porcentaje de cenizas, y considerando que la cantidad de cenizas se conserva constante durante el proceso de compostaje. El coeficiente de biodegradabilidad se expresa en la siguiente ecuación.

$$K_b = \frac{[(C_f - C_i) * 100]}{[C_f * (100 - C_i)]} * 100\%$$

En la ecuación  $K_b$  representa el coeficiente de biodegradabilidad,  $C_i$  y  $C_f$  es concentración en porcentaje de cenizas al inicio y final del compostaje. A continuación, en la Tabla 16., se evidencia la biodegradación en el reactor 1 y 2.

**Tabla 15.** Porcentaje del Coeficiente de biodegradación con las cantidades iniciales y finales de cenizas.

Reactores	% cenizas ( $C_i$ )	%cenizas ( $C_f$ )	% $K_b$
Reactor 1	5,48	21,73	79,11
Reactor 2	5,48	24,64	82,26

En la Tabla 16., se expone los resultados obtenidos, del coeficiente de biodegradación, lo cual se analiza que el reactor 2 tiene mayor porcentaje de biodegradabilidad que el reactor 1, la diferencia no es tan relevante porque el valor es del 3,15%. Es decir que durante el proceso el reactor 2 se descompone con mayor velocidad la cantidad de materia orgánica, debido a la mineralización que se lleva a cabo por los microorganismos.

- **Sólidos volátiles.** Es la cantidad de materia orgánica que se elimina o se volatiliza, cuando se calcina en una mufla a una temperatura de 550°C, según el autor Pagans (2006)<sup>87</sup>, los componentes orgánicos que influyen son ácidos orgánicos, cetonas, alcoholes, hidrocarburos y esterés, en los procesos aerobios

**Tabla 16.** Seguimiento de los sólidos volátiles en la experimentación.

Reactores	Sólidos volátiles	
	Iniciales (mg/kg)	Finales (mg/kg)
Reactor 1	107283	106845
Reactor 2	106597	102667

<sup>87</sup> PAGANS, Estela; FONT, Xavier y SÁNCHEZ, Antoni. Emission of Volatile Organic Compounds from Composting of Different Solid Wastes: Abatement by Biofiltration. 2006. p. 179-1860304-3894

De acuerdo con la tabla 17., se analiza que, en el proceso de compostaje en la etapa inicial y final, hay un decrecimiento de sólidos volátiles, lo cual coincide con lo expuesto anteriormente con el % cenizas, es decir que hay mayor biodegradabilidad en el reactor 2 que en el reactor 1. Sin embargo según Pagans (2006)<sup>88</sup> al, afirma que la mayor pérdida se obtiene iniciando el proceso cuando es llevado a reactores, pero en este caso la mayor pérdida de sólidos volátiles se evidencia al final y no al inicio, lo que se puede deducir que la materia orgánica fue más difícil que se degradara al inicio del proceso por los microorganismos.

- **Relación C/N.** La relación C/N en el Gráfico 5., al inicio del compostaje corresponde a 16,36 y 16,93 en el reactor 1 y 2. En el último día del desarrollo se obtuvo datos correspondientes a 22,54 y 26,71 en ambos reactores. De acuerdo a este resultado, se evidencia un aumento durante los 24 días del experimento en este parámetro, sin embargo, como indica la revista Agromatica cuando hay un alto contenido de carbono la relación C/N aumenta tornando el proceso más lento<sup>89</sup>. Algunos autores mencionan que obtener una relación C/N entre rangos de 15:1 – 35:1, indica que el compost se encuentra en fase la mesófila. De acuerdo a lo expuesto anteriormente se deduce que hubo un exceso de carbono pues durante todo el proceso de compostaje este se mantuvo en una sola fase, cabe resaltar que esta fase debe durar aproximadamente 5 días. Como instruye el autor Lopez, Elvis es necesario observar una disminución de la relación C/N a valores de 10:1- 15:1, debido a la dinámica del carbono en donde este disminuye por el proceso de oxidación cuando alcanza la fase de maduración<sup>90</sup>. De igual manera, el exceso de carbono nos indica la baja rapidez con la que se descompone la materia orgánica estando está estrechamente relacionada con la mineralización<sup>91</sup>. Finalmente, se puede resaltar que este exceso de carbono se fue acumulando al agregar melaza todos los días durante la experimentación, puesto que los microorganismos utilizaban los azúcares

---

<sup>88</sup>Ibit.,p.181

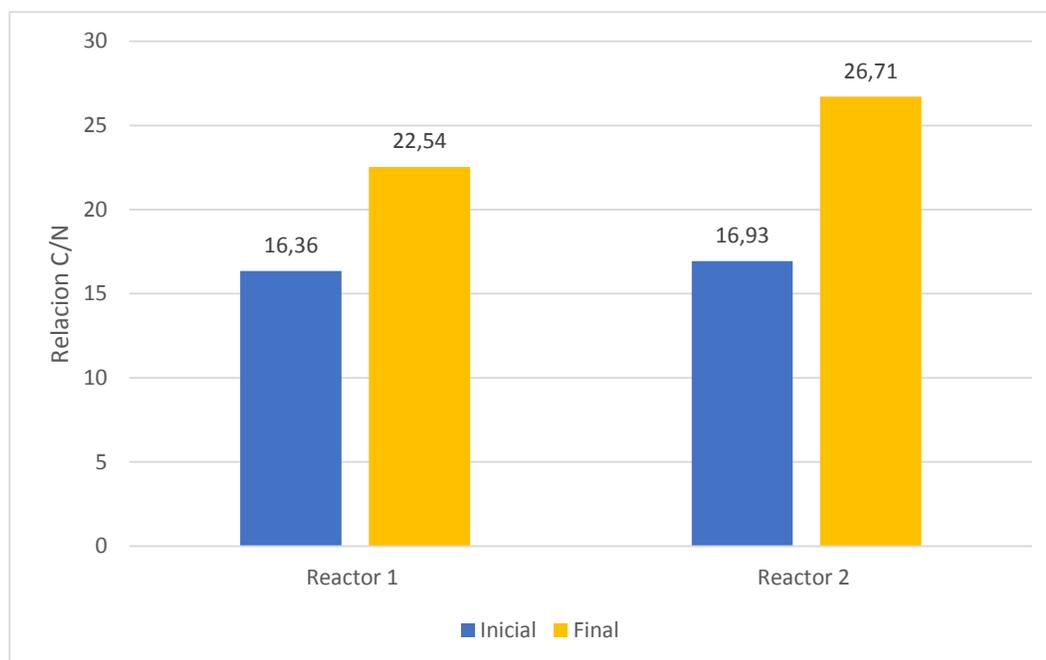
<sup>89</sup> ANONIMO. Relación Carbono-Nitrógeno en el compost. [Consultado el mayo 052018]. Disponible en: <https://www.agromatica.es/relacion-cn-en-el-compost/>

<sup>90</sup> LÓPEZ BRAVO,Elvis, et al. Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. En: Universidad Central “Marta Abreu” De Las Villas. p. 52-53

<sup>91</sup> Flores serrano Javier. La relación C/N. [Consultado el mayo 252018]. Disponible en: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3948>

brindados por este activador mas no las fuentes de C y N brindados por el compost.

**Gráfico 5.** Relación C/N, al inicio y final del proceso



- **Microorganismos patógenos** En la Tabla 18., se muestran los microorganismos presentes a la salida del reactor en la etapa final del proceso y la NTC 5167, siendo la norma para abonos orgánicos y fertilizantes en donde se establece los requisitos que deben cumplir los productos orgánicos.

**Tabla 17.** Seguimiento de los microorganismos en la experimentación

Parámetro	Reactor 1	Reactor 2	NTC 5167
Coliformes totales	$> 1 \times 10^5$ UFC/g	$> 1 \times 10^5$ UFC/g	$1 \times 10^3$
Coliformes fecales	$> 1 \times 10^5$ UFC/g	$> 1 \times 10^5$ UFC/g	$1 \times 10^3$
E. Coli	$1 \times 10^2$ UFC/g	$1 \times 10^2$ UFC/g	<b>Ausente</b>
Aerobios mesófilos	$5.2 \times 10^5$ UFC/g	$5.2 \times 10^5$ UFC/g	-

Los microorganismos tienen la función de transformar la materia orgánica en elementos asimilables (minerales solubles). Inicialmente, debido a la actividad microbiana estos utilizan las fuentes sencillas de carbono y nitrógeno<sup>92</sup>. Durante

<sup>92</sup> Relación Carbono-Nitrógeno en el compost Op.cit., p .1

los 24 días de exposición del compost, la temperatura máxima alcanzo un valor de 35 °C, manteniéndose en la fase mesófila, por esta razón en la Tabla 18., se observa la alta cantidad de microorganismos mesófilos ( $5,2 \times 10^5$  UFC/g ) presentes en el compost, puesto que si se hubiera alcanzado temperaturas superiores, estos, hubieran sido eliminados y reemplazados por actinomicetos y hongos termófilos.

Según el autor Gómez, Teresa los coliformes y otros organismos fecales se eliminan al alcanzar temperaturas por encima de 45 °C. De igual manera, diferentes bacterias patógenas se eliminan al obtener la fase de maduración o higienización, es decir, al alcanzar temperaturas de 60 °C uniformes en todo el compost, durante un tiempo mínimo de una hora. Estas bacterias patógenas pueden ser: *Salmonella spp*, *Brucella abortus*, *Parvovirus bovino*, *Huevos de Ascaris lumbricoides* y *Escherichia coli*<sup>93</sup>. Al no obtener la fase de maduración, se puede deducir que el compost se encuentra contaminado con la presencia de dichas bacterias. Según Yanko, las muestras de compostaje que contengan < 1000 coliformes fecales por gramo de peso seco indican que los microorganismos patógenos han sido eliminados,<sup>94</sup> sin embargo como se presenta en la Tabla 18., los coliformes fecales se encuentran en  $1 \times 10^5$  UFC/g, esto nos confirma nuevamente que el compost no alcanzo una correcta sanitación.

Respecto a los coliformes totales, estos se caracterizan por ser Gram negativas, con capacidad de crecimiento aerobio que a temperaturas de 2 °C a 35 °C causan fermentación lactosa. Por otro lado, los coliformes fecales se consideran como organismos presentes en las heces de seres humanos y animales. Altos niveles de este tipo de microorganismo indican la presencia en el agua de gran cantidad de heces y otros materiales orgánicos sin tratar que pueden ser perjudiciales. Según los resultados obtenidos el producto orgánico supera la cantidad de coliformes totales y fecales exigido por la norma.

Finalmente, es necesario resaltar que el proceso de compostaje necesita un mayor tiempo de maduración donde se permita elevar la temperatura, debido a que esto permitirá disminuir la energía de activación de los microorganismos para las siguientes fases y por ende la degradación del césped.

---

<sup>93</sup> Gómez Yamiris Teres D'Angelo, González González Yamiris Teres y Chiroles Rubalcaba Yamiris Teres. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. En: Agencia De Medio Ambiente. p. 3

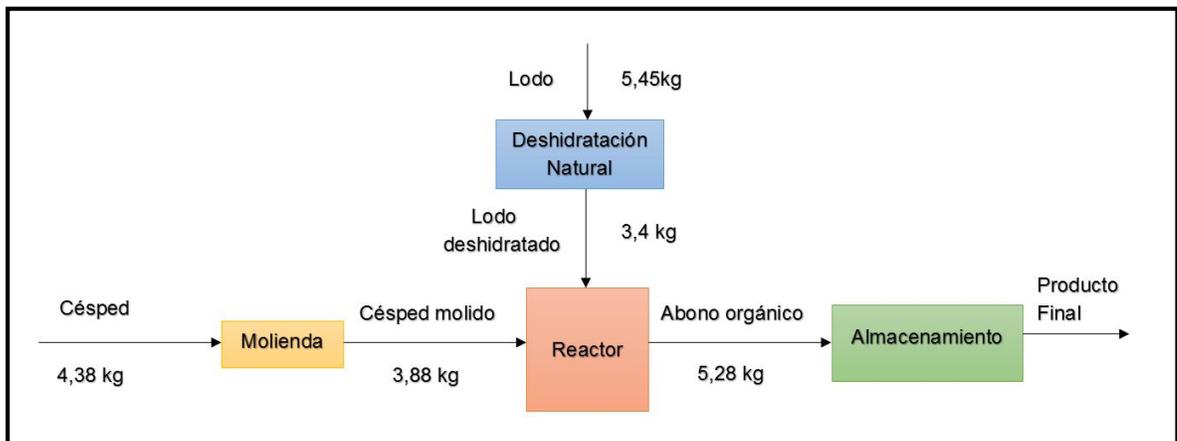
<sup>94</sup> Ibit.,p.3

## 4. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS DEL PROCESO

En este capítulo, se presenta los requerimientos técnicos que necesita la Empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá en la planta FW, para obtener el abono orgánico deseado y lograr un aprovechamiento de los lodos resultantes. Principalmente, se implementa un diagrama de procesos desde la molienda del césped hasta el almacenamiento del producto final. También se mencionan las condiciones de mejoramiento de cada proceso y su respectivo control. Todos los requerimientos se realizan a nivel de laboratorio.

El Diagrama 4., representa cada una de las etapas que intervienen en el proceso, cuenta con dos operaciones unitarias, las cuales son molienda y deshidratación de los lodos. De igual forma se representa el reactor con sus respectivas entradas y salidas con unidades de masa. Por último, se representa el almacenamiento del producto.

**Diagrama 4.**Proceso del compostaje



### 4.1 RECOLECCIÓN MATERIAS PRIMAS

El compostaje que se propone para la planta FW, necesita de dos materias primas césped y lodo, como se menciona en el capítulo anterior. Es necesario que la planta cuente con un control en la recolección de dichos sustratos para llevar a cabo el proceso. A continuación, se explica la recolección de materias primas, basados en el diagrama de procesos expuesto.

**4.1.1 Césped.** Actualmente la planta FW, corta 12 kg/día césped, dos veces por semana, es decir, que en un día se obtiene el césped necesario para los reactores a escala laboratorio. Se recomienda recolectar 4,38 kg de césped, ya que en la molienda se pierde alrededor de 0,5 kg y de acuerdo con el balance propuesto es necesario obtener un total de 3.88 Kg.

**4.1.2 Lodo.** Se recomienda obtener inicialmente 5,45 kg de lodo, porque cuando el lodo es deshidratado se pierde alrededor de 2 kg de masa, es decir que se obtiene 3,4 kg de lodo lo cual sería el valor necesario para llevar a cabo el proceso de compostaje. La masa que se utiliza de lodo en cada reactor, equivale al 0,01651% de lodo total que acumula la planta FW.

## **4.2 CONDICIONES DEL PROCESO DE COMPOSTAJE**

Es necesario especificar las condiciones de cada proceso para permitir un adecuado desarrollo de compostaje en la planta FW. En cada proceso se mencionan las condiciones de mejoramiento necesarias para obtener finalmente el abono orgánico

**4.2.1 Molienda.** El molino es un equipo industrial utilizado para disminuir el diámetro de partícula de diferentes materias primas. En este proyecto, el molino tiene una importante función debido a que permite obtener un tamaño de partícula adecuado del césped. Es necesario utilizar una criba (malla filtrante) con un diámetro de 5/16" debido a que si el tamaño de partícula del césped es menor a 1 cm es más fácil la degradación de dicho sustrato. Cabe resaltar que entre más pequeña la criba menor es la velocidad de la molienda. Es importante que el molino a utilizar sea adecuado para materiales voluminosos y contenga una alta capacidad, pues esto permite acelerar el proceso de molienda.

**4.2.2 Deshidratación natural del lodo.** Es un método de secado de los lodos de forma natural por evaporación del agua. La planta FW, cuenta con tres piscinas de sedimentación donde se almacenan los lodos, esta es una forma económica y fácil puesto que la planta ya lo tiene implementado. Es necesario utilizar los lodos para el proceso de compostaje de la piscina de sedimentación más seca, debido a que esta tiene un porcentaje de humedad alrededor del 70-80%, mientras que en las demás el porcentaje de humedad está por encima del 90%. Una vez recuperado el lodo de dicha piscina de sedimentación, es necesario proceder a expandir el lodo en capas delgadas con el final de exponerlo al sol durante 24 horas y obtener una humedad adecuada entre 55% - 60%.

**4.2.3. Reactor.** Los reactores tambor rotatorio horizontales requieren ciertas condiciones a lo largo del proceso para su funcionamiento, es importante que se encuentren desde un principio en un ambiente cálido con temperaturas de 19 °C – 22 °C debido a que en la planta FW la temperatura ambiente oscila de 11 °C – 14 °C, impidiendo la fase termófila del proceso. Por esta razón, es necesario cubrir los reactores con un aislante como se evidencia en la Figura 2. (b)., para evitar pérdidas de calor. La rotación de los reactores debe realizarse cada 24 horas con 20rpm<sup>95</sup>, puesto que durante la rotación se generan pérdidas de calor, sin embargo, la rotación permite una oxigenación equilibrada durante el proceso y por ende no se

---

<sup>95</sup> GARCIA .Jesús.Op cit., p.8

puede suspender. Para determinar la velocidad de volteo se establece con siguiente ecuación (17), donde 0,1365 es el radio del reactor horizontal con aislante.

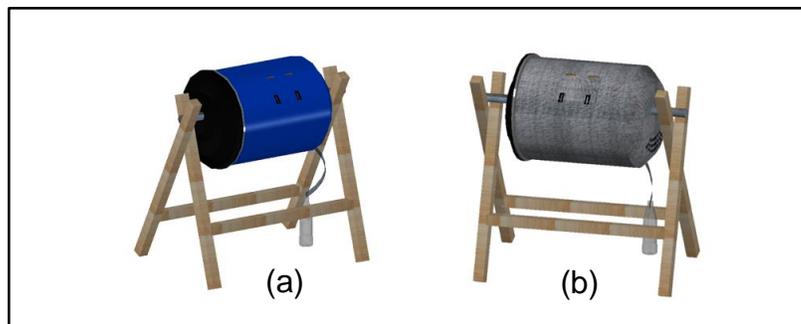
**Ecuación 2.** Velocidad de volteo

$$\vartheta = (20 \text{ rpm}) \left( \frac{2 * \pi * 0,1365 \text{ m}}{60 \text{ seg}} \right) = 0,2859 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (17)$$

**Fuente:** Rodríguez Medina. PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE UN ABONO ORGÁNICO PARTIENDO DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL COLEGIO ROCHESTER.2017

Otro aspecto importante es mantener la humedad en el compostaje, a medida que avanza el proceso se generan pérdidas en este parámetro, debido a que hubo una mínima generación de lixiviados, ocasionando un periodo de latencia mayor. En la Figura 2., se presenta el reactor a escala laboratorio sin aislante y con aislante.

**Imagen 17.** Perspectiva del reactor en dimensión 3D.



**4.2.4 Almacenamiento.** En esta etapa del proceso, se propone empacar el abono orgánico en costales de rafia fabricado con resinas de polipropileno, como se observa en la Imagen 16., son ligeros y resistentes, además que se pueden reutilizar varias veces. Se plantea que sea un almacenaje encerrado, es decir que no esté a la intemperie, el cual debe estar construido de materiales no combustibles, también necesita ventilación amplia para poder disipar el calor. Se recomienda que el fertilizante este alejado aproximadamente 5 metros de cualquier material combustible, porque puede producir óxidos de carbono como CO y el CO<sub>2</sub>, además de óxidos de azufre.<sup>96</sup>

<sup>96</sup> Yara peru. Almacenaje de fertilizantes. [Consultado el abril 282018]. Disponible en <http://www.yara.com.pe/crop-nutrition/almacenamiento-y-manejo/almacenaje-de-fertilizantes/>

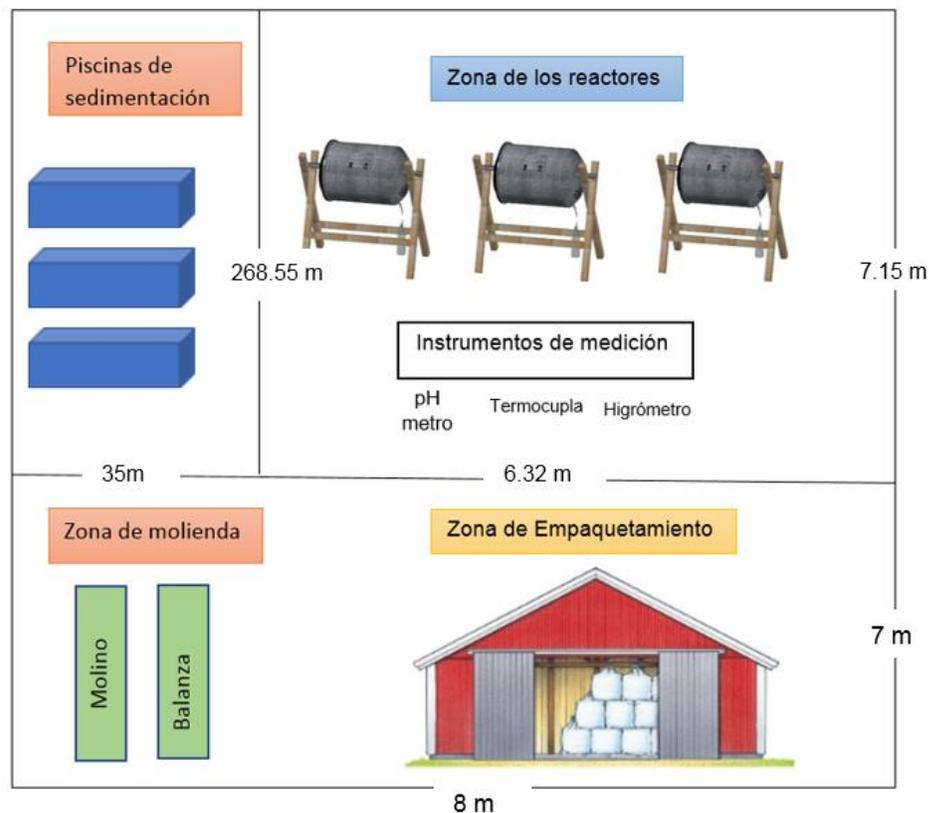
### 4.3 ÁREA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

En la Imagen 19., se muestra la ubicación de las cuatro zonas que intervienen en el proceso, de las cuales dos ya están instauradas en la planta FW (Piscinas de sedimentación y zona de reactores). Es necesario, por parte de la planta FW implementar la zona de molienda y empaquetamiento en caso de emplear la propuesta. A continuación, en la Tabla 15., se presentará el área de las piscinas de sedimentación y la zona de los reactores, cabe resaltar que durante la experimentación los reactores se ubicaron en un cuarto cálido por las bajas temperaturas que se presentaban. También, se realiza una estimación en el área para la zona de molienda y empaquetamiento.

**Tabla 18.** Área del proceso de compostaje.

AREA	ANCHO (m)	LARGO (m)
Piscinas de sedimentación	35	268.55
Zona de reactores	6.32	7.15
Zona de molienda y empaquetamiento	8	7

**Imagen 18.** Zonas del proceso de compostaje.



#### 4.4 MONITOREO DEL PROCESO DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

En el Cuadro 6., que se muestra a continuación, se explica los requerimientos para cada variable de control y se representa cada instrumento cotizados en el catálogo Hanna instruments Colombia.

**Cuadro 6.** Instrumentos de control

Instrumento	Requerimientos
<b>pHmetro</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear cada 24 horas el pH, con el fin de controlar la acidez o alcalinidad de la disolución.</li> </ul> <p>El pH puede variar durante el proceso, sin embargo, debe tender a la neutralidad.</p>
<b>Termocupla</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear cada 24 horas la temperatura del compostaje, con el fin de controlar las fases de compostaje.</li> <li>• La temperatura debe aumentar a lo largo del proceso hasta alcanzar un valor máximo de 65 C. Luego, es necesario que la temperatura comience a descender.</li> </ul>
<b>Higrómetro</b>	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Monitorear cada 24 horas la humedad del compostaje, debido a que el higrómetro es un instrumento que brinda mayor facilidad para determinar el %humedad a comparación de los protocolos establecidos por la norma NTC 1495.</li> <li>• El % humedad debe mantenerse en un rango ideal DE 50 – 70 % ya que permite el crecimiento microbiano.</li> </ul>

**Cuadro 5.** (Continuación)

<b>Instrumento</b>	<b>Requerimientos</b>
<b>Bascula</b>	
	<ul style="list-style-type: none"><li>• La báscula es necesaria para pesar el césped y el lodo necesario para el proceso del compost. Se utiliza también al final, para determinar la cantidad de masa total, en el reactor.</li></ul>

**Fuente:** Hanna instruments Colombia

Según lo expuesto anteriormente la planta FW puede implementar el proceso de compostaje a escala laboratorio partiendo del diagrama de bloques donde representa cada una de las operaciones unitarias y cantidades másicas necesarias para llevar a cabo el proyecto. También se expone la recolección de materias primas y las condiciones en cada una de las operaciones que benefician el proceso para obtener el abono orgánico, por esta razón es importante que la planta cuente con una molienda, bascula y equipos de monitoreo como el pH-metro, la termocupla con su respectivo multímetro y el higrómetro. Respecto al área es pertinente que la empresa adecue una zona de almacenamiento y molienda que permita una mayor comodidad y eficiencia.

## 5. ANALISIS DE COSTOS

En el siguiente análisis de costos se presenta la inversión, costos de producción, costos directos e indirectos en la implementación del proceso de compostaje a escala laboratorio en la planta FW. El análisis se realiza desde el desarrollo y montaje del reactor tambor rotatorio tipo Batch hasta los costos que implican su manejo y producción. A continuación, se lleva a cabo la descripción de cada uno de los gastos y costos actuantes en el desarrollo del proyecto.

### 5.1 INVERSIÓN

Para llevar a cabo el análisis de la inversión requerida en la implementación y desarrollo del proceso, es necesario realizar la descripción de los materiales utilizados en el montaje del reactor, los equipos necesarios para monitorear las variables del proceso y adicionalmente la mano de obra del soldador encargado de construir los tres reactores. En la Tabla 17., se presentan los conceptos que abarca la inversión con su respectivo valor y cantidad.

**Tabla 19.** Análisis de inversión.

<b>EQUIPOS</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Valor Unitario (\$)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total (\$)</b>
Alquiler de molino	80.000	1	80.000
pH metro	60.000	1	60.000
Multímetro	40.000	1	40.000
<b>Materiales</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Valor Unitario (\$)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor total (\$)</b>
Canecas de polietileno	15.000	3	45.000
Pinos de madera (Base de reactores)	16.700	4	66.800
Bisagras	500	6	3.000
Pasadores	1.500	6	9.000
Tornillos	200	24	4.800
Arandelas	100	24	2.400
Remaches	100	12	1.200
Tubo de hierro	9.000	3	27.000
Ladrillos	1.000	6	6.000
Manguera	1.000	2	2.000
Pegante	15.000	3	45.000
Material aislante	100.000	1	100.000
<b>Soldador</b>			
	50.000	3	150.000
<b>Total</b>	-	-	<b>562.200</b>

## 5.2 COSTOS DE PRODUCCIÓN

En esta sección se describen los costos de producción, siendo estos, aquellos que se intervienen durante la transformación de los lodos y césped en el producto orgánico. Este análisis, incluye los costos fijos y variables del proceso.

**5.2.1 Costos variables.** Los costos variables también conocidos como costos directos están ligados al proceso de producción, debido a que incluye mano de obra, materia prima, servicios entre otros. De acuerdo con lo anterior, en la Tabla 18., se presenta la descripción de los costos de materia prima en el proceso de compostaje. Respecto al lodo y el césped, estos, son materia prima propiamente de la empresa, es decir, no genera ningún costo adicional. La melaza por el contrario no es un sustrato propiamente del proceso puesto que se adiciona medio kilogramo por semana para permitir activar el carbono del pasto.

**Tabla 20.** Costos de Materia Prima

<b>Costos de Materia Prima</b>			
<b>Costos variables</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor unitario \$</b>	<b>Total / mes</b>
Lodos	Kg	-	-
Césped	Kg	-	-
Melaza	Kg	5.000	20.000

En la Tabla 19., se presentan los costos de mantenimiento pertinentes en el proceso, dentro de estos costos se encuentra, los materiales e insumos, mantenimiento y servicios necesarios para mantener el reactor tambor rotatorio y el proceso de compostaje en las condiciones óptimas.

**Tabla 21.** Costos de Mantenimiento

<b>Costos de mantenimiento</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Total / mes (\$)</b>
Materiales e insumos	80.000
Mantenimiento	60.000
Servicios	242.000
<b>Total</b>	<b>382000</b>

Para llevar a cabo el análisis de costos de mano de obra directa e indirecta es pertinente conocer una serie de criterios como lo son, salario mínimo legal vigente, auxilio de transporte, aportes a parafiscales, cada uno de los conceptos que conforman las prestaciones sociales y cada uno de los componentes que hacen parte de la seguridad social. A continuación, en el Cuadro 3., se evidencia la descripción de cada uno de los conceptos mencionados anteriormente.

**Cuadro 7.** Criterios para las prestaciones sociales.

<b>Concepto</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
Salario mínimo legal vigente	\$781.242	Remuneración mínima a que todo empleado tiene derecho
Auxilio de transporte	\$88.211	Se pagan a los empleados que devengan hasta dos S.M.L.V
<b>Aportes parafiscales</b>		
Caja de compensación familiar	4%	Las cajas de compensación familiar están encargadas de administrar los recursos aportados a las empresas.
<b>Cargas prestacionales</b>		
Cesantías	8,33%	Protege al empleado en caso de quedar cesante
Prima de servicios	8,33%	Salario mensual por cada año laborado
Vacaciones	4,17%	Descanso remunerado consistente en 15 días de salario
Intereses sobre cesantías	1%	Beneficio económico a cargo del empleador
<b>Seguridad social por parte del empleador</b>		
Salud	8,5%	Protege a todo empleado contra cualquier contingencia en salud
Pensión	12%	Ampara al Trabajador contra vejez y muerte

A partir de lo expuesto en el Cuadro 7., se procede a determinar los costos de mano de obra directa. Durante el proyecto están a cargo dos estudiantes de Ingeniería química, donde su función es monitorear las variables del proceso, realizar las rotaciones de los reactores, y dar solución a los problemas presentados durante el proyecto entre otras actividades necesarias.

**Tabla 22.** Costos de mano de obra.

<b>Costos de mano de obra de estudiantes de Ingeniería</b>	
<b>Concepto</b>	<b>Valor mensual (\$)</b>
Sueldo	1.562.484
Auxilio de transporte	88.211
Prima	130.155
Vacaciones	65.156
Cesantías	130.155
Interés cesantías	15.625
Total / persona	1.991.786
<b>Total</b>	<b>3.983.572</b>

**5.2.2 Costos fijos.** Los costos fijos o también conocidos como costos indirectos de producción, son aquellos que no intervienen directamente en el proceso. En la Tabla 21., se muestran los costos de insumo indirectos, siendo estos los servicios utilizados a lo largo del proceso, es decir el agua y la energía eléctrica. También se toma en cuenta los implementos de seguridad necesarios (Gafas, guantes y bata), las caracterizaciones realizadas a lo largo del proceso que en su totalidad fueron 14 caracterizaciones, y finalmente los costos de transporte, puesto que fue necesario el desplazamiento diario para monitorear las variables del proceso

**Tabla 23.** Insumos indirectos del proyecto

<b>Insumos indirectos del proceso</b>			
<b>Insumos</b>	<b>Valor unitario (\$)</b>	<b>Valor día (\$)</b>	<b>Total, mes (\$)</b>
Implementos de seguridad	84.000	-	84.000
Agua	1.850	1.850	55.500
Energía eléctrica	-	3.500	420.000
Caracterización de los sustratos y mezclas	130.000	-	1.813.760
Transporte/persona	5.300	10.600	424.000
Trasporte total			848.000
<b>Total</b>			<b>3.137.260</b>

### 5.3 ANALISIS DE COSTOS

En la Tabla 22., se presentan los costos totales obtenidos a partir de la descripción expuesta anteriormente con el fin de generalizar el costo global del proyecto.

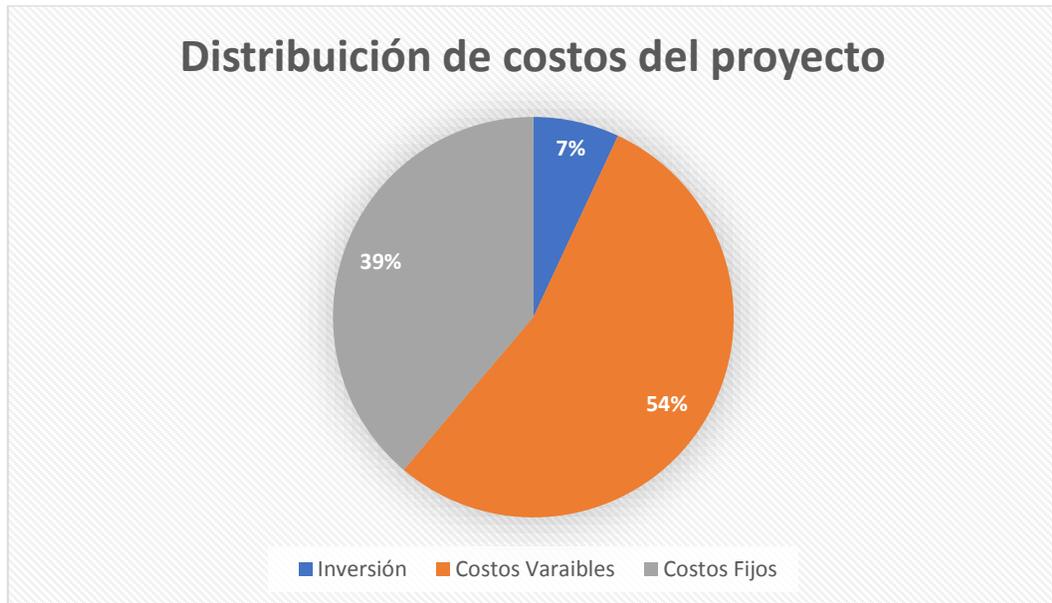
**Tabla 24.** Costos totales del proyecto

<b>Costos del proyecto</b>	
Inversión	562.200
Costos variables	4.385.572
Costos fijos	3.137.260
<b>Total</b>	<b>8.084.832</b>

En el Gráfico 6, se presenta la distribución de los costos que acarrea el proyecto con sus respectivos porcentajes. Del costo total, siendo este de \$8.084.832 el 93% pertenece a los costos de producción, en donde el 54% corresponde a los costos variables, ya que se involucra la mano de obra y a su vez los costos de mantenimiento y materia prima. El 39% restante de los costos de producción son

los costos fijos, este tiene un alto porcentaje respecto a los costos totales debido a involucra las 14 caracterizaciones realizadas a lo largo del proceso, además del transporte necesario para el desplazamiento hacia la calera donde se encuentran los reactores. Finalmente, el menor porcentaje corresponde a la inversión debido a que al ser a escala laboratorio, el costo de los materiales utilizados no son tan elevados en comparación si se realizará a escala piloto o industrial. Respecto al soldador la mano de obra fue económica puesto que durante 16 horas logro la construcción de los tres reactores.

**Gráfico 6.** Distribución de costos de la propuesta de compostaje



## 6. CONCLUSIONES

- Los cantidad de lodo residual generado en la planta Francisco Wiesner corresponde a  $32906,96\text{Kg/día}$ . Debido a la extensión de la piscinas de sedimentación se eligió un muestreo aleatorio bajo la NTC ISO 5667 – 13. En la caracterización realizada se obtuvo que los lodos presentan una humedad de 97,29% y una relación C/N de 14,28, incumpliendo los criterios establecidos por la FAO (60%, RC/N15-30). De acuerdo con los análisis microbiológicos del lodo residual se encontró que en el parámetro de *E. coli* se presentaron 890 UFC/100mly respecto a los mesófilos estos correspondieron a  $1 \times 10^4 \text{ UFC/g}$ .
- El césped (agente de carga) se seleccionó debido a que permita elevar la relación C/N de los lodos y al mismo tiempo disminuir su porcentaje de humedad. Este agente carga, se caracteriza por tener una relación C/N de 44 p: p según el Manual del Compostaje y un porcentaje de humedad del 26%. Al final de la experimentación se obtuvo una relación C/N de 22,54 y 26,71 en reactor 1 y 2 observando que no se logró disminuir la relación C/N al final del proceso. Antes de ingresar el lodo al reactor fue necesario exponerlo a radiación solar durante 5 días para disminuir el porcentaje de humedad a un valor de 75,4%. Al final del proceso de compostaje se obtuvo un porcentaje humedad de 58,24% y 55,67%, comprobando que el césped y la deshidratación de lodos por evaporación natural lograron disminuir significativamente el % humedad de la mezcla de compost.
- La temperatura máxima obtenida en el reactor 1 y 2 corresponde a 35°C, esto quiere decir que los lodos junto con el césped lograron iniciar la fase mésofila del compostaje, en donde se degradaron las fuentes sencillas de C y N, cabe resaltar que no se evidencio un aumento de la temperatura (producto de las reacciones llevadas a cabo por los microorganismos), debido a la baja temperatura ambiental de la planta FW (11 °C - 14°C). Es necesario llevar el proceso de compostaje a un tiempo más prolongado con el fin de obtener un porcentaje de biodegradabilidad del 100% en ambos reactores. Finalmente, se requiere una adecuación o acondicionamiento de los microorganismos debido a que presenta altos niveles de Coliformes totales y fecales, donde ambos presentaron valores a  $1 \times 10^5 \text{ UFC/100mL}$ , incumpliendo los parámetros de la NTC 5167 y el Decreto 1287 del 10 de julio del 2014.
- Los costos totales obtenidos al implementar el proyecto, corresponden a \$8.084.832 donde los costos de inversión fueron de \$562.200, debido a que el proceso de compostaje se realizó a escala laboratorio. Con respecto a los costos de producción estos fueron de \$7.522.833, son más elevados porque involucra las caracterizaciones analizadas en los laboratorios externos y la mano de obra.

## 7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda caracterizar el césped, antes de ingresarlo a los reactores, debido a que puede variar la relación C/N y sus propiedades.
- Se recomienda desde el inicio del proceso llevar los reactores a un lugar cerrado y exponerlos a un ambiente cálido por encima de 18 °C por medio de un calefactor.
- Disminuir el tamaño de partícula del pasto menor a un cm para que se degrade más rápido y permita disminuir el tiempo de residencia.
- Analizar rigurosamente la relación C/N para tener un mayor control de las etapas del proceso de compostaje y actuar en solución a posibles dificultades.
- Caracterizar frecuentemente los microorganismos producidos ya que la calidad del producto orgánico está estrechamente relacionada con estos, además también permitirá controlar las fases del compostaje.
- Llevar el proceso a un periodo prolongado para obtener completamente la biodegradabilidad del césped, este proceso se manifestará mediante el monitoreo riguroso de cada una de las variables.
- Utilizar otros tipos de residuos orgánicos con mayor biodegradabilidad para acelerar el proceso de compostaje.
- Utilizar un nuevo aislante que permita proteger con mayor eficiencia los reactores para mitigar la disipación de calor y permitiendo la generación y conservación de este.
- Determinar la viabilidad del producto final en cultivos o huertas para conocer su calidad.
- Evaluar otros procesos diferentes al compostaje para darle un aprovechamiento a los lodos residuales
- Se recomienda agregar melaza durante los primeros días del proceso, pues se cree que la melaza es un activador que sirve exclusivamente para la primera fase del compostaje

## BIBLIOGRAFIA

AGROPULI. El mineral es cuestión es el silicio&nbsp;. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/0041160803d48ea3387c9>

Alvarez martha. CESPED Una guía esencial para el cuidado y la renovación del cespced de todo tipo de jardines&nbsp;&nbsp;. 1ra. edición-5000ejemplares ed. ARGENTINA: Albastros SACI, 2006. 29-30 p.

Alvaro Jose Rodriguez Medina. PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE UN ABONO ORGÁNICO PARTIENDO DE LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL COLEGIO ROCHESTER. p. 39 ANONIMO. COAGULACION - FLOCULACION (CONCEPTOS). [Consultado el ABR 152018]. Disponible en: [http://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/curso/uni\\_05/u5c2s2.htm#Anchor1](http://cidta.usal.es/cursos/etap/modulos/curso/uni_05/u5c2s2.htm#Anchor1)

Anonimo. DETERMINACIÓN DE SÓLIDOS&nbsp;. [Consultado el 2 Febrero del2018]. Disponible en: <https://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012/05/determinacic3b3n-de-solidos.pdf>

ANONIMO. Microbiota - Definición. [1]. [Consultado el May 7,2018]. Disponible en: <https://salud.ccm.net/faq/22554-microbiota-definicion>

ANONIMO. Relación Carbono-Nitrógeno en el compost. [Consultado el mayo 052018]. Disponible en: <https://www.agromaticas.es/relacion-cn-en-el-compost/>

Ashish Kumar Nayak; AJAY,S. andKalamdhad. Sewage sludge composting in a rotary drum reactor: stability and kinetic analysisSewage sludge composting in a rotary drum reactor: stability and kinetic analysis.

BARRENA GÓMEZ,Raquel. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. Universitat Autònoma de Barcelona, p. 20.

BUENO MÁRQUEZ,P.; DÍAZ BLANCO,M. J. andCABRERA,Francisco. Factores que afectan al proceso de compostaje.

Cardenas Andia Yolanda. TRATAMIENTO DE AGUA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN. Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico, 2000. 30

compostadores. El pH en el compost. [Consultado el junio 072018]. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/la-cosecha-el-compost-casero/155-el-ph-en-el-compost.html>.

Anonymous "POR EL CUAL SE ESTABLECE EL OBJETIVO BASURA CERO COMO LINEAMIENTO DE LAS POLÍTICAS DISTRITALES SOBRE EL MANEJO Y GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL DISTRITO CAPITAL". 2014.

CONTRETAS, camilo. Manejo integral de aspectos ambientales-residuos sólidos&nbsp;. [Consultado el 16 de enero2018]. Disponible en: [http://www.javeriana.edu.co/ier/recursos\\_user/IER/documentos/OTROS/Pres\\_Residuos\\_CamiloC](http://www.javeriana.edu.co/ier/recursos_user/IER/documentos/OTROS/Pres_Residuos_CamiloC).

DIAZ, Luis F., DE BERTOLDI, M. and BIDLINGMAIER, Werner. Compost science and technology. Boston, MA.

Dr. Carlos de Blas. Fuentes de fósforo. [Consultado el mayo 212018]. Disponible en: [http://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/fuentes-de-f%C3%B3sforo](http://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/fuentes-de-f%C3%B3sforo)

Fahad N. Alkoaik, et al. Energy Analysis of a Rotary Drum Bioreactor for Composting Tomato Plant Residues. En: ENERGIES. Febrero 18, .p. 1

FAJARDO RODRIGUEZ, Julio. DIVISIÓN Y ABASTECIMIENTO DE SISTEMA NORTE&nbsp;; Correo electrónico: 2017. Diapositiva 4

FAJARDO RODRIGUEZ, Julio. Piscina de sedimentación.:2018.

Flores serrano Javier. La relación C/N. [Consultado el mayo 252018]. Disponible en: <http://www.fundesyram.info/biblioteca.php?id=3948>

Galeano Castro Eugelio. SEDIMENTACIÓN. Mar 15. [Consultado el May 172018]. Disponible en: <http://www4.ujaen.es/~ecastro/proyecto/operaciones/movimiento/sedimentacion.html>

German Tortosa. Factores que influyen en el proceso de compostaje. [Consultado el Marzo 27,2018]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/04/factores-influyen-compostaje-html/>

Gómez Yamiris Teres D'Angelo, González González Yamiris Teres y Chirols Rubalcaba Yamiris Teres. Microorganismos presentes en el compost. Importancia de su control sanitario. En: AGENCIA DE MEDIO AMBIENTE. p. 3

I.G. Mason and M.W. Milke. Physical modelling of the composting environment: A review.

Part 1: Reactor systems. En: ELSEVIER. Mar 25, p. 484

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIÓN. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C., Colombia. 23 de julio de 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613. Bogotá D.C., Colombia. 23 de julio de 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C., Colombia. 28 de octubre de 1998.

Jesus Garcia Gonzales. Compostaje en tambor rotatorio para la revalorización de lodos residuales; Universidad Autónoma del Estado de México, 2017. p. 8.

Juan Jose Ibanez. Manual de compostaje del agricultor (Libro en Acceso Abierto de la FAO). Nov 25,. Disponible en: <http://scholar.aci.info/view/14701c4880505af0193/1513fbcdad300010003>

L.F. Diaz M. de Bertoldi W. Bidlingmaier. compost science and technology. ELSEVIER: 2017. 67-87 p.

L.F. Diaz, M de Bertoldi; y and W. Bidlingmaier. Compost Science and Technology. volumen 8, primera edición ed. Elsevier Science, 2007. 380 p.

LÓPEZ BRAVO, Elvis, et al. Propiedades de un compost obtenido a partir de residuos de la producción de azúcar de caña. En: UNIVERSIDAD CENTRAL "Marta ABREU" DE LAS VILLAS. p. 52-53

Anonymous "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales". (JULIO 10,). 2014.

Mora Brayant. UNIDAD 2. BIORREACTORES Y SU APLICACIÓN - Bioingeniería. [0]. Ene 29. [Consultado el Jun 7, 2018]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion>

Muro Elsa. &nbsp;Lixiviación. [0]. [Consultado el MAR 25 2018]. Disponible en: <https://www.mendoza-conicet.gob.ar/portal/enciclopedia/terminos/Lixiviacion.htm>  
Pedro Bueno Márquez, Manuel Jesús Díaz Blanco y Francisco Cabrera Capitán. &nbsp;Factores que afectan al proceso de Compostaje; [Consultado el 10 de febrero 2018]. Disponible

en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

Pilar Román, María M Martínez y Alberto Pantoja. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. En: ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA OFICINA REGIONAL PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE. no. ISBN 978-92-5-307844-8 (edición impresa), p. 36

PORRAS HIDALGO, Sebastián Alejandro. Producción de Compost a Partir de Residuos Sólidos de una Planta de Celulosa. Universidad de Chile,

Anonymous Qué es el Compostaje. [Consultado el 15 de enero de 2018]. Disponible en: <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/Compostaje.pdf>

REYES, Óscar Eduardo Sanclemente; ARBOLEDA, Mauricio García and TRUJILLO, Francis Liliana Valencia. Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa de descomposición de la hoja de caña (*Saccharum officinarum*). En: REVISTA DE INVESTIGACIÓN AGRARIA Y AMBIENTAL. vol. 2, no. 2, p. 13-19

Rogelio Cuevas Garcia. Ingeniería de Reactores &nbsp;. [Consultado el Marzo 30, 2018]. Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Balancemateria\\_10657.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Balancemateria_10657.pdf)

SEPULVEDA, Fabiola. "MANEJO DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS DERIVADOS DE LA ACTIVIDAD AGROPECUARIA EN EL VALLE DE AZAPA, EN LA REGIÓN DE ARICA Y PARINACOTA" &nbsp;. En: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS. p. 1

Tchobanoglous George, Theissen Hilary y Eliassen Rolf. DESECHOS SÓLIDOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA Y ADMINISTRACIÓN. Venezuela: Ambiente y los Recursos Naturales Renovables AR-16, 1987.

ZAGAL, Erick and CÓRDOVA, Carolin. INVESTIGACIÓN - INDICADORES DE CALIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN UN ANDISOL CULTIVADO (Soil organic matter quality indicators in a cultivated Andisol). En: INVESTIGACIÓN - INDICADORES DE CALIDAD DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO EN UN ANDISOL CULTIVADO (SOIL ORGANIC MATTER QUALITY INDICATORS IN A CULTIVATED ANDISOL). Dec 31, .

## **ANEXOS**

**ANEXO A**  
**DETERMINACIÓN DE CANTIDAD DE LODOS GENERADOS EN LA PLANTA FW**

$$\begin{aligned} \text{Sedimentación del lodo producido} &= \frac{\left(110 \frac{mL}{L}\right) (14 \text{ filtros}) (17049 L)}{1L} \\ &= 26241600 \frac{mL}{L} \end{aligned}$$

Para obtener el lodo producido en masa, se determina con la siguiente relación:

$$\begin{aligned} m &= \left(1,254 \frac{g}{mL}\right) \left(26241600 \frac{mL}{L}\right) (1 L) \\ &= 32906,96 \text{ kg/día} \end{aligned}$$

# ANEXO B CERTIFICACION DE LA CARACTERIZACION DE LOS LODO



## REPORTE DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X

<b>Identificación:</b> MARIA CAMILA JIMENEZ - SHARON CESPEDES PLANTA	<b>Consecutivo muestra:</b> CNE 22320	
<b>Tipo de muestra:</b> LODO	<b>Responsable del muestreo:</b> CLIENTE	
<b>Procedencia:</b> DESCONOCIDA	<b>Plan/Procedimiento muestreo:</b> NO PRESENTA	
<b>Cliente:</b> CAMILA JIMENEZ	<b>Fecha Ingreso:</b> 30/01/2018	
<b>Contacto:</b> CAMILA JIMENEZ	<b>Fecha Análisis:</b> 02/02/2018	
<b>Dirección:</b> CALLE 55 SUR N 24C-28	<b>Fecha Informe:</b> 02/02/2018	
<b>Ciudad:</b> BOGOTA	<b>Solicitud Análisis:</b> SA0271	
<b>Teléfonos:</b> 305 708 8559	<b>Consecutivo Informe:</b> 22320-RE XRF	
<b>Método de análisis:</b> PRT-GT-01 WDXRF-OMNIAN PASTILLA	<b>Aplicación:</b> 1,11 AQ 2017	

FT-07-35 Versión 3

Página 1 de 1

VER OBSERVACIONES		
Nombre	Elemento	Composición (%)
Sodio	Na <sub>2</sub> O	0,3
Magnesio	MgO	0,2
Aluminio	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25,6
Silicio	SiO <sub>2</sub>	19,6
Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,2
Azúfire	SO <sub>3</sub>	0,5
Potasio	K <sub>2</sub> O	0,6
Calcio	CaO	0,5
Titanio	TiO <sub>2</sub>	0,3
Manganeso	MnO	0,1
Hierro	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,1
Loss of Ignition	LOI	41,1

<b>Observaciones.</b>		
N.D. : NO detectable    LOI : (LOSS OF IGNITION) Pérdida por ignición a 1000°C durante una hora		
El análisis corresponde a un programa semicuantitativo. El resultado se reporta en base seca a 105° C.		
Esta técnica de análisis no descarta presencia de elementos NO reportados en concentraciones menores a 100 ppm.		
Para la validez o la aplicación de resultados con fines comerciales, el laboratorio libera su responsabilidad por la representatividad trazabilidad de la muestra y las remite al Plan y los procedimientos de muestreo referenciados.		
<b>Humedad de la muestra</b>	NO PRESENTA	%
<b>Doble Radiación (Beta/Gamma)</b>	NO PRESENTA	µSv/h
<b>Cantidad de muestra recibida</b>	2450gr	gramos
<b>Carácter magnético</b>	NO PRESENTA	

Revisó y aprobó Ing. Miguel Torres  
Ingeniero de materiales

Elaboró Angie Capera Serrano  
Analista

- Notas:**
- ALPHA 1 S.A. se reserva el derecho de confirmar la autenticidad de este Reporte de Análisis bajo la Política de confidencialidad y derechos de propiedad de sus clientes
  - Los resultados analíticos presentados corresponden EXCLUSIVAMENTE a la muestra recibida y no a otro material de la misma procedencia.
  - Este reporte es único para esta muestra. Cada copia de los resultados en papel tendrá un costo del 15% de los análisis.
  - Se prohíbe la reproducción parcial del presente Reporte, sin la especificación escrita del laboratorio.
  - Cualquier reclamación sobre los resultados se puede realizar durante los próximos 3 meses posteriores a la entrega de este informe.
  - La disposición de contramuestras y cobros se realiza de acuerdo con lo aprobado por el cliente en la solicitud.

AK 60 No. 67ª 80 B. Modelo Norte  
Bogotá D.C.  
Tel. (57-1) 2313518  
Móvil 3134549361  
[www.alpha1.com.co](http://www.alpha1.com.co)  
[gerenciaadministrativa@alpha1.com.co](mailto:gerenciaadministrativa@alpha1.com.co)

**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS**

<b>ORDEN DE TRABAJO No.</b> 77	<b>FECHA SOLICITUD:</b> 02-feb-18	<b>FECHA IMPRESIÓN:</b> 20-feb-18
<b>CLIENTE</b> <b>NOMBRE:</b> SHARON ESTEFANY CESPEDES <b>DIRECCION:</b> CL 5A 71G-30 <b>MUNICIPIO:</b> BOGOTA <b>TELEFONO:</b> 3227502654 <b>E-MAIL:</b> sharoncespedes.13@gmail.com		<b>FINCA</b> <b>NOMBRE:</b> PLANTA FRANCISCO WISNER <b>MUNICIPIO:</b> LA CALERA <b>DPTO:</b> CUNDINAMARCA
<b>SOLICITANTE:</b> SHARON ESTEFANY CESPEDES		<b>IDENTIFICACIÓN:</b> LODO LIQUIDO

**RESULTADOS DE ANALISIS**

PARAMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Humedad	% (p/p)	97.29
Carbono Orgánico	% (p/p)	19.99
Materia Orgánica	% (p/p)	43.38
Cenizas	% (p/p)	56.62
Relación Carbono:Nitrógeno	p:p	14.28
Nitrógeno Total	% (p/p)	1.40

**METODOLOGÍA:** N según Kjeldahl, Materia Organica por Calcinción.



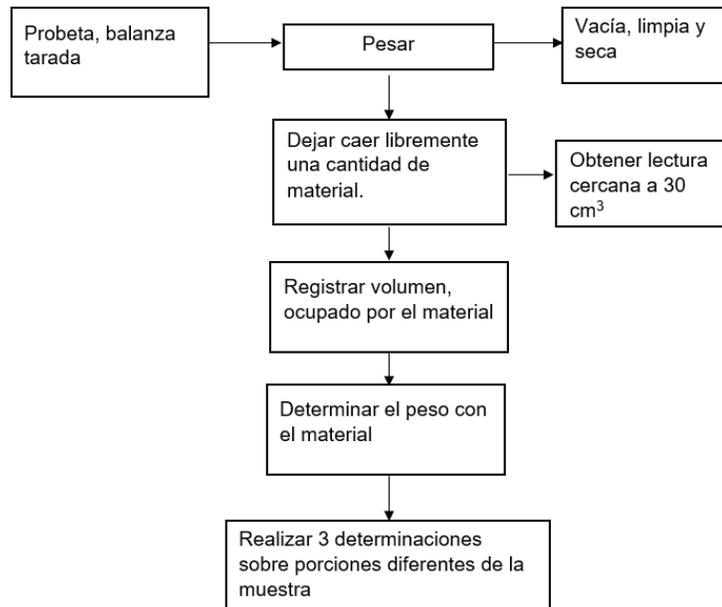
**Quím. Adriana Mireya Zamudio**  
Jefe Lab. Suelos Centro de Bio-Sistemas



## ANEXO C PROTOCOLOS DE LABORATORIO

### Protocolo De Densidad

La densidad se determina, según la Norma técnica colombiana NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo, en las páginas 23 y 24. En el Diagrama 4., se evidencia el procedimiento.



Teniendo los respectivos datos, del procedimiento anterior, se procede a determinar la densidad. Se usa el siguiente cálculo:

$$Densidad\ real(en\ base\ seca) = \left[ \frac{W_2 - W_1}{V} \right]$$

Donde:

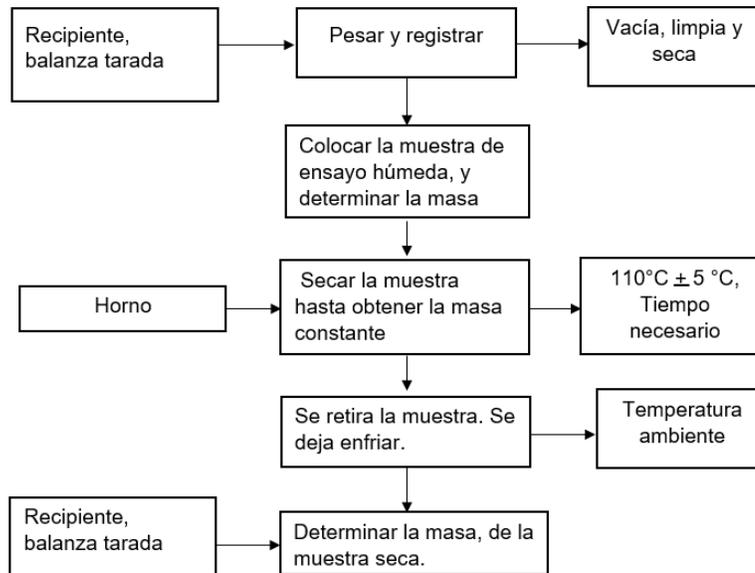
$W_1$ =Peso de la probeta vacía, en g

$W_2$ =Peso de la probeta con la materia seco, en g.

$V$ =volumen ocupado por la materia en la probeta, expresada en  $cm^3$

El porcentaje de humedad, se determinó según la norma NTC 1495. Metodo de ensayo para determinar el contenido de agua (Humedad) de suelos y rocas, con base en la masa. En las páginas 8 y 10. En el Diagrama 5., se observa el procedimiento.

## Protocolo De Humedad



Después del respectivo procedimiento. Para hallar el %de humedad, se emplea la fórmula:

$$w = \left[ \frac{(M_{csh} + M_{css})}{(M_{css} - M_c)} \right] \times 100 = \left( \frac{M_w}{M_s} \right)$$

Donde

W=Contenido de agua, %

$M_{csh}$ =Masa del recipiente la muestra humedad.

$M_{css}$ =Masa del recipiente y la muestra secada en horno,

$M_c$ =Masa del recipiente.

$M_w$ =masa del agua.

$M_s$ =Masa de la muestra secada en el horno.

**ANEXO D**  
**INSTRUMENTOS DE MEDICION PARA EL CONTROL DE LAS VARIABLES**

pHmetro pH 009 (I)



pH buffer powder .



## Multimetro UNIT – T UT33c

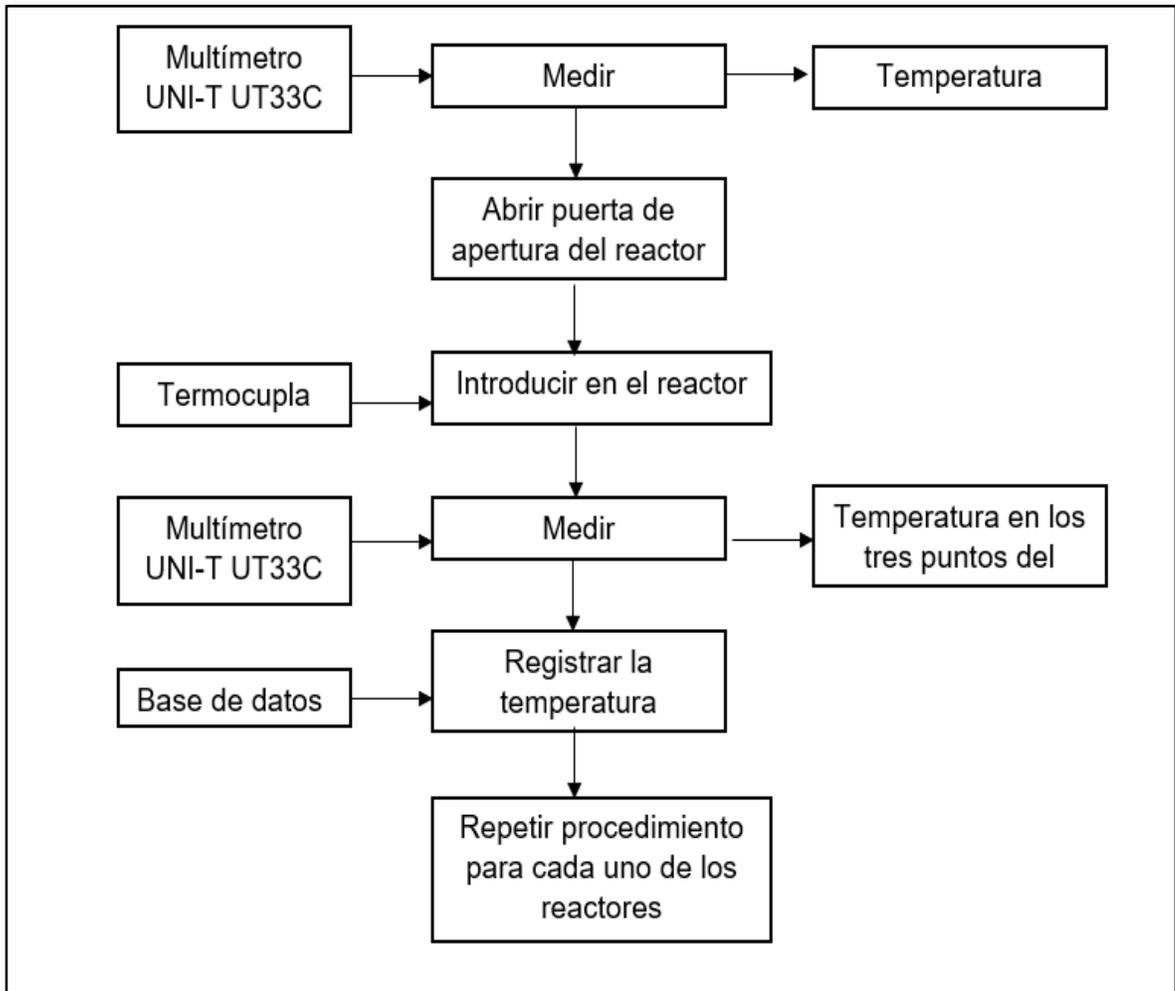


## Termocupla

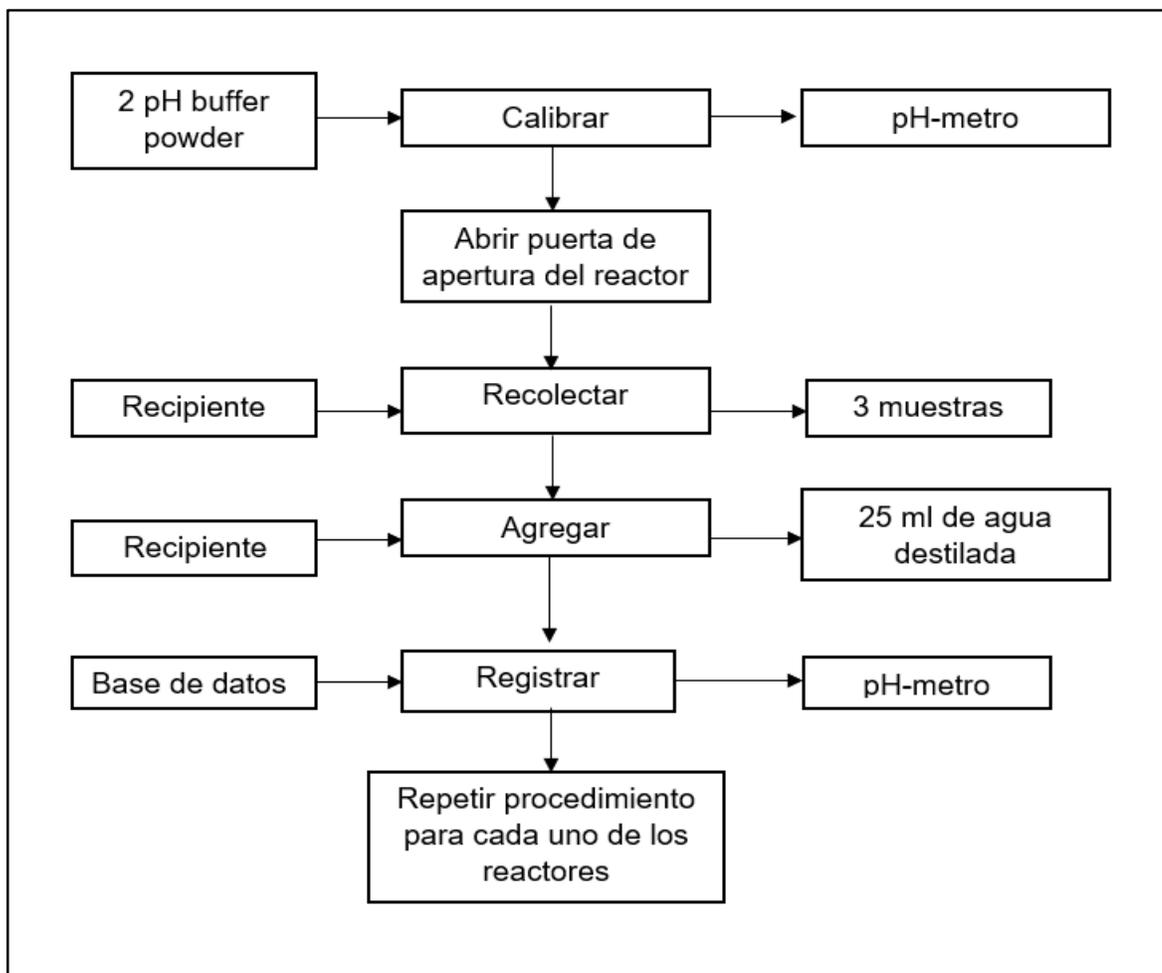


**ANEXO E**  
**PROTOCOLOS DE MEDICION VARIABLES DE PROCESO**

**Medición de temperatura**

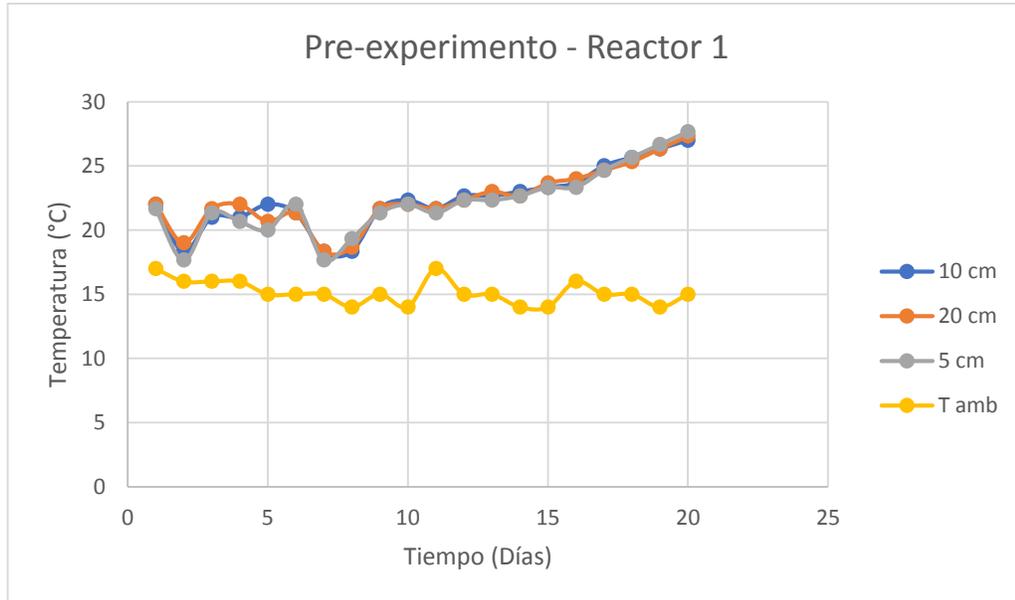


## Medición de pH

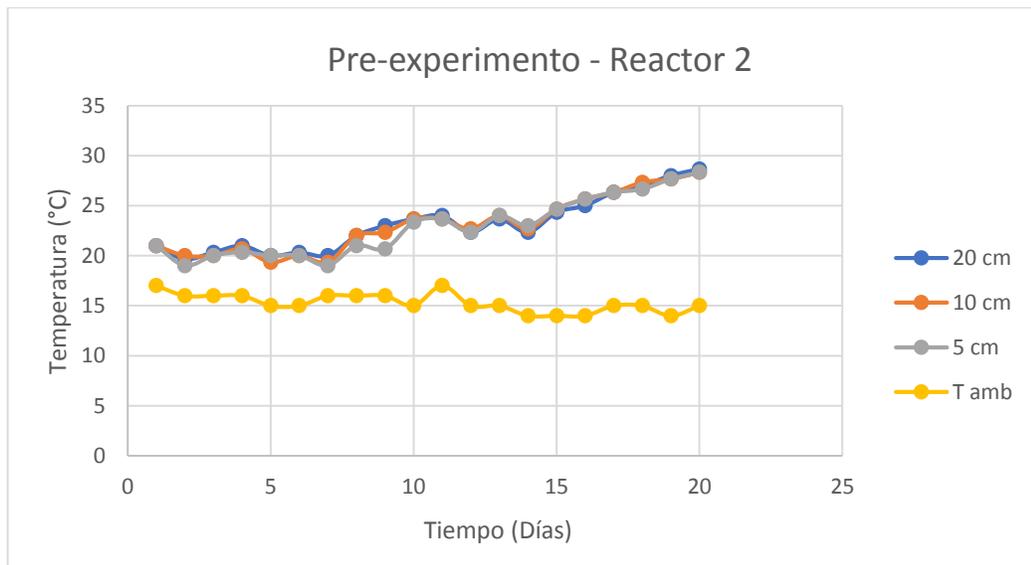


## ANEXO F RESULTADOS DE TEMPERATURA DE Y pH EN EL PRE-EXPERIMENTO

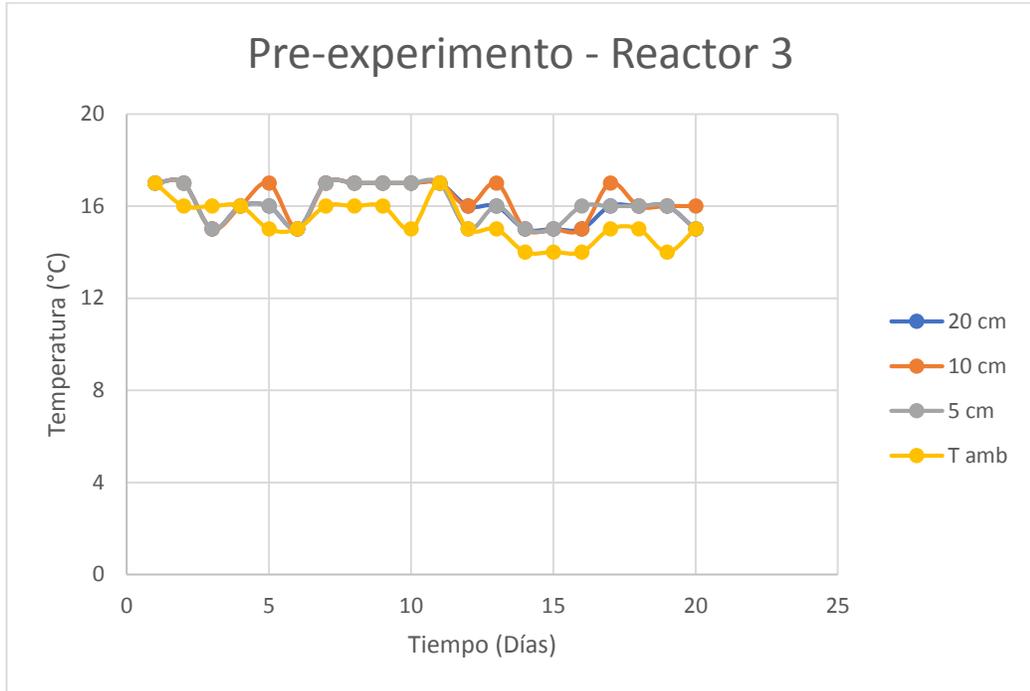
### Resultados de temperatura en el reactor 1



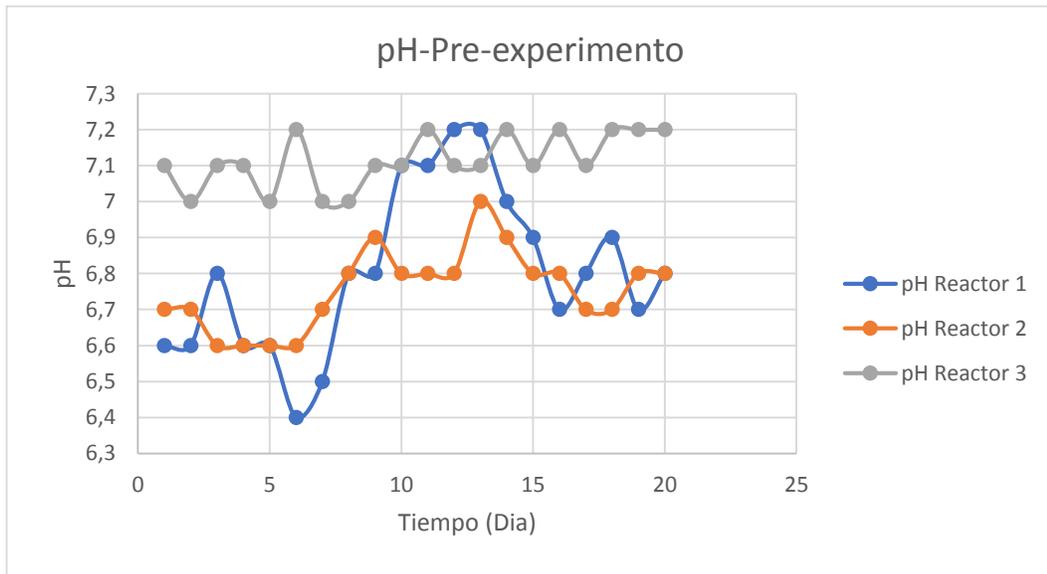
### Resultados de temperatura en el reactor 2



## Resultados de temperatura en el reactor 3.blanco



## Resultados del pH



## ANEXO G

### DATOS DE LA TEMPERATURA EN LA EXPERIMENTACIÓN

A continuación se presenta los formatos que se utilizan para el seguimiento de las temperaturas de cada reactor.

Dias	EXPERIMENTACION								
	Reactor 1								
	Izquierda			Centro			Derecho		
	20 cm	10 cm	5 cm	20 cm	10 cm	5 cm	20 cm	10 cm	5 cm
1	16	15	16	16	15	15	15	15	14
2	19	18	17	18	17	18	18	19	17
3	20	21	21	21	21	20	21	21	20
4	23	23	22	23	21	22	23	21	22
5	25	25	24	26	25	24	24	25	25
6	24	23	23	21	22	22	20	21	22
7	23	23	22	22	21	22	23	22	22
8	25	25	23	24	25	23	22	22	22
9	25	24	25	24	25	25	24	24	25
10	26	25	25	25	26	26	25	25	26
11	26	27	26	26	27	27	26	26	26
12	27	27	26	27	27	27	27	26	27
13	28	28	27	28	28	27	28	27	27
14	29	29	28	29	29	29	28	28	29
15	32	31	31	32	32	31	32	32	32
16	32	33	32	32	33	32	32	32	33
17	33	33	33	32	33	33	32	33	33
18	34	34	33	34	34	34	33	33	34
19	35	35	34	35	35	34	34	34	34
20	35	34	35	35	35	35	35	34	35
21	35	33	34	33	35	34	35	35	33
22	34	33	33	35	33	34	34	34	34
23	34	33	34	33	33	34	34	33	33
24	34	34	33	34	34	33	33	34	33

Dias	EXPERIMENTACION								
	Reactor 2								
	Izquierda			Centro			Derecho		
	20 cm	10 cm	5 cm	20 cm	10 cm	5 cm	20 cm	10 cm	5 cm
1	16	15	16	16	15	15	15	15	14
2	19	18	17	18	17	18	18	19	17
3	21	22	22	21	20	22	21	22	22
4	23	22	21	23	22	22	23	22	23
5	25	25	25	26	25	24	24	26	25
6	24	24	22	21	24	24	20	21	22
7	25	24	24	22	22	22	23	22	22
8	25	25	23	24	25	23	22	24	26
9	25	25	25	24	25	25	24	24	25
10	26	26	25	26	26	26	26	25	26
11	26	28	26	26	27	27	26	27	26
12	26	27	27	27	27	27	27	26	27
13	28	28	26	28	28	27	29	27	27
14	29	29	28	29	30	29	28	29	29
15	32	31	33	32	32	31	32	32	32
16	33	33	32	32	33	32	32	32	31
17	33	33	32	32	33	33	32	33	33
18	31	32	33	34	34	34	33	33	34
19	34	34	35	33	32	33	34	35	34
20	35	34	35	35	33	35	34	35	35
21	35	34	34	35	35	34	35	35	34
22	34	33	34	35	34	33	35	34	34
23	34	34	34	35	35	35	34	34	35
24	33	33	34	33	33	34	32	34	34

Dias	EXPERIMENTACION								
	Reactor 3								
	Izquierda			Centro			Derecho		
	20 cm	10 cm	5 cm	20 cm	10 cm	5 cm	20 cm	10 cm	5 cm
1	16	16	16	16	16	15	15	16	16
2	17	17	16	17	17	16	16	16	16
3	14	14	14	14	14	15	15	14	15
4	17	16	17	16	16	17	16	16	16
5	15	14	15	15	15	15	15	15	15
6	15	15	15	15	14	15	14	15	15
7	16	15	16	16	16	16	16	16	16
8	17	16	16	16	16	16	16	17	16
9	16	16	16	16	16	16	16	15	16
10	15	15	15	14	15	14	15	15	15
11	14	15	15	14	15	15	15	15	15
12	14	14	14	15	14	15	15	15	15
13	16	15	15	15	16	15	15	15	15
14	17	18	18	18	18	18	17	18	18
15	18	17	18	18	17	17	18	18	18
16	18	18	18	18	18	18	17	18	18
17	19	19	19	18	19	18	18	19	19
18	18	18	17	18	18	18	18	18	18
19	18	19	19	18	18	17	18	17	17
20	18	19	19	18	19	19	19	18	19
21	19	18	19	18	18	19	18	19	19
22	18	18	18	19	18	19	18	18	18
23	19	18	18	18	18	18	19	18	19
24	17	17	18	18	17	18	18	18	18

### Formato utilizado para el seguimiento del pH en la experimentación

<b>Tiempo</b>	<b>pH-Experimento</b>		
<b>Dias</b>	<b>Reactor 1</b>	<b>Reactor 2</b>	<b>Reactor 3</b>
1	6,6	6,7	7
2	6,6	6,7	7
3	6,7	6,6	7,1
4	6,6	6,6	7,1
5	6,5	6,6	7,2
6	6,5	6,7	7,2
7	6,7	6,9	7
8	6,8	6,9	7
9	6,8	6,9	7,1
10	7,1	6,7	7,1
11	7,1	6,8	7
12	7,1	6,8	7,1
13	7,0	7	7,1
14	6,9	6,9	7
15	6,9	6,9	7,1
16	6,7	6,8	7,2
17	6,8	6,7	7,1
18	6,9	6,7	7,1
19	6,8	6,8	7,2
20	6,7	6,8	7,1

## ANEXO H RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN EN LA EXPERIMENTACION

### Reactor 1. Inicio del proceso

	DIRECCIÓN SERVICIOS TÉCNICOS LABORATORIO DE AGUAS REPORTE DE RESULTADOS ENSAYOS NO ACREDITADOS 201804190200943						
<b>A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)</b> 2018/06/05							
<b>B. CLIENTE</b> Nombre: Dirección Abastecimiento Dirección: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - ESP							
<b>C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)</b>							
Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Analisis (aaaa/mm/dd)	Sitio Toma Muestra	Tipo Muestra	Matriz Analizada
201804190200940	2018/04/19	14:00	2018/04/19	2018/04/19	Aviso Sap No. 400065912. Planta Wiesner. Reactor No. 1 Planta Wiesner	PUNTUAL	SÓLIDOS LODOS
Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio ( ) Cliente (X)							
<b>D. RESULTADOS</b>							
PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO		LÍMITE CUANTIFICACIÓN	LEGISLACIÓN	
Carbono Orgánico Total **	mg C / Kg	187800,0	Combustión a alta temperatura, SM 5310 B		2,0 mg/L	N.A.	
Humedad	% p/p	65	Gravimétrico SM-2540 B		1 % p/p	N.A.	
Nitrógeno Kjeldahl Total **	mg N/Kg	11478	Macro - Kjeldahl SM 4500-Norg C M4FC0304I29		1 mg/L	NA	
Sólidos Totales Volátiles**	mg/kg	107283	Gravimétrico - Ignición a 550°C, SM 2540 E		10 mg/L	NA	
<b>E. OBSERVACIONES</b>							
Nota: ** Los resultados se reportan en base seca SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WEF, Ed. 22, 2012 SM*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater, APHA, AWWA, WPCF, Ed. 15, 1980 (Aplica para el metodo ácido cromotropico de Nitratos) La muestra fue tomada de acuerdo al plan de muestreo adjunto a la custodia. (Aplica unicamente para muestras tomadas por el Laboratorio de Aguas) Los resultados del presente reporte corresponden especificamente a la muestra en mención. El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada. El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto. L.I.=Límite Inferior, L.S.=Límite Superior, N.C.=No Cuantificable Resultado, que se encuentra por debajo del límite de cuantificación, N.A.=No Aplica							
Firma Autorizada:  Nombre: VICENTE JAVIER PEREZ NOVOA Cargo: RESPONSABLE TECNICO-SUPLENTE II Area: LABORATORIO DE AGUAS							
M4FC0309F01-06		PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO Av. Calle 24 # 37 - <b>FIN DEL DOCUMENTO</b> - Servicios Técnicos. Código Postal 111921 Bogotá D.C. - Colombia. TEL: (51) 3447199. www.acueducto.com.co				Página 1 de 1	

## Reactor 2. Inicio del proceso



**acueducto**  
AGUA Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ

DIRECCIÓN SERVICIOS TÉCNICOS  
LABORATORIO DE AGUAS  
REPORTE DE RESULTADOS  
ENSAYOS NO ACREDITADOS  
201804190200941

**A. FECHA EMISIÓN REPORTE (aaaa/mm/dd)**  
2018/05/05

**B. CLIENTE**

Nombre: Dirección Abastecimiento  
Dirección: Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá - ESP

**C. MUESTRA(S) ANALIZADA(S)**

Muestra No.	Fecha Toma (aaaa/mm/dd)	Hora	Fecha Recepción de la Muestra (aaaa/mm/dd)	Fecha Analisis (aaaa/mm/dd)	Sitio Toma Muestra	Tipo Muestra	Matriz Analizada
201804190200941	2018/04/19	14:00	2018/04/19	2018/04/19	Aviso Sap No. 400055912. Planta Wiesner. Reactor No. 2 Planta wiesner	PUNTUAL	SÓLIDOS LODOS

Toma de muestra(s) a cargo de: Laboratorio ( ) Cliente (X)

**D. RESULTADOS**

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADOS	MÉTODO	LÍMITE CUANTIFICACIÓN	LEGISLACIÓN
Carbono Orgánico Total **	mg C / Kg	172200,0	Combustión a alta temperatura, SM 5310 B	2,0 mg/L	N.A.
Humedad	% p/p	59	Gravimétrico SM-2540 B	1 % p/p	N.A.
Nitrógeno Kjeldahl Total **	mg N/Kg	10167	Macro - Kjeldahl SM 4500-Norg C M4FC0304I29	1 mg/L	NA
Sólidos Totales Volátiles**	mg/kg	106697	Gravimétrico - Ignición a 550°C, SM 2540 E	10 mg/L	NA

**E. OBSERVACIONES**

Nota: \*\* Los resultados se reportan en base seca  
 SM: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF. Ed. 22. 2012  
 SM\*: Standard Methods for the examination of Water and Wastewater. APHA,AWWA, WPCF. Ed. 15. 1980 (Aplica para el metodo ácido cromotropico de Nitratos)  
 La muestra fue tomada de acuerdo al plan de muestreo adjunto a la custodia. (Aplica unicamente para muestras tomadas por el Laboratorio de Aguas)  
 Los resultados del presente reporte corresponden especificamente a la muestra en mención.  
 El reporte de resultados sólo es válido con la firma autorizada.  
 El reporte de resultados no debe ser reproducido parcialmente, en forma total sólo con la debida autorización del laboratorio de aguas del acueducto.  
 L.I.=Limite inferior, L.S.=Limite Superior, N.C.=No Cuantificable Resultado, que se encuentra por debajo del limite de cuantificación, N.A.=No Aplica



Firma Autorizada: \_\_\_\_\_  
 Nombre: VICENTE JAVIER PEREZ NOVOA  
 Cargo: RESPONSABLE TECNICO-SUPLENTE II  
 Area: LABORATORIO DE AGUAS

M4FC0309F01-06

PROHIBIDA TODA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL DE ESTE INFORME SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO

Av. Calle 24 # 37 - ~~RINDEL DOCUMENTOS~~ Servicios Técnicos.  
 Código Postal 111321 Bogotá D.C. - Colombia.  
 Tel: (51) 34672198 - www.acueducto.gov.co

Página 1 de 1

## Reactor 1. Final del proceso



**UTADEO**  
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO  
CENTRO DE BIO-SISTEMAS

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO**  
**CENTRO DE BIO-SISTEMAS**  
Autopista Norte Km10 Vía Bogotá -Briceño Chia (Cundinamarca)  
Teléfono 2427030 Ext 2430/2431

**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS**  
**ANÁLISIS MATERIALES ORGÁNICOS**

ORDEN DE TRABAJO No. 000577	FECHA SOLICITUD : 16-may-18	FECHA IMPRESIÓN : #####
-----------------------------	-----------------------------	-------------------------

<b>Cliete</b> Nombre: SHARON ESTEFANY CESPEDES Dirección: CL 5A 71G-30 Municipio: BOGOTÁ Teléfono: 3227502456      Fax: E-Mail: sharoncespedes.13@gmail.com/ camifarieta@gm	<b>Finca</b> Nombre: PLANTA FRANCISCO WISNER Municipio: LA CALERA Departamento: CUNDINAMARCA <hr/> Solicitante: SHARON ESTEFANY CESPEDES <hr/> Material: No Especificado <hr/> Identificación: REACTOR 2
--	--

No. Muestra:	45
--------------	----

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	kg/Ton Base Humeda
Porcentaje de Humedad	%	55.67			
Carbono Orgánico	%	6.97	34.73		
Materia Orgánica	%	15.12	75.36		
Cenizas	%		24.64		
Relación Carbono:Nitrógeno	p/p	26.71	26.71		
Nitrógeno Total (N):	%	0.26	1.30		2.6

**Metodología:**  
N según Kjeldahl, Carbono orgánico por calcinación. % de elementos mayores en relación peso a peso.



**Quim. Adriana Mireya Zamudio S.**  
Jefe Laboratorio de Suelos y Aguas

www.utadeo.edu.co  
NIT. 860.006.848-6  
Personería jurídica  
No. 2613/1959 Minjusticia

Sede Chia  
Autop. Norte Km. 10 vía Bogotá-Briceño  
PBX 8650218(219/233)  
centro.biosistemas@utadeo.edu.co  
Chía - Colombia

## Reactor 2. Final del proceso



**UTADEO**  
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO  
CENTRO DE BIO-SISTEMAS

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO**  
**CENTRO DE BIO-SISTEMAS**  
Autopista Norte Km10 Vía Bogotá - Briceño Chia (Cundinamarca)  
Teléfono 2427030 Ext 2430/2431

**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS  
ANÁLISIS MATERIALES ORGÁNICOS**

ORDEN DE TRABAJO No. 000577	FECHA SOLICITUD : 16-may-18	FECHA IMPRESIÓN : #####
-----------------------------	-----------------------------	-------------------------

<b>Cliente</b> Nombre: SHARON ESTEFANY CESPEDES Dirección: CL 5A 71G-30 Municipio: BOGOTÁ Teléfono: 3227502456      Fax: E-Mail: sharoncespedes.13@gmail.com/ camifarieta@gm	<b>Finca</b> Nombre: PLANTA FRANCISCO WISNER Municipio: LA CALERA Departamento: CUNDINAMARCA <hr/> Solicitante: SHARON ESTEFANY CESPEDES <hr/> Material: No Especificado <hr/> Identificación: REACTOR 1
---	--

No. Muestra:	44
--------------	----

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	kg/Ton Base Húmeda
Porcentaje de Humedad	%	58.24			
Carbono Orgánico	%	6.54	36.07		
Materia Orgánica	%	14.18	78.27		
Cenizas	%		21.73		
Relación Carbono:Nitrógeno	p/p	22.54	22.54		
Nitrógeno Total (N):	%	0.29	1.60		2.9

**Metodología:**  
N según Kjeldahl, Carbono orgánico por calcinación. % de elementos mayores en relación peso a peso.



**Quim. Adriana Mireya Zamudio S.**  
Jefe Laboratorio de Suelos y Aguas

www.utadeo.edu.co  
NIT. 860.006.848-6  
Personería jurídica  
No. 2613/1959 Minjusticia

Sede Chia  
Autop. Norte Km. 10 vía Bogotá-Briceño  
PBX 165018/219/299  
centro.biosistemas@utades.edu.co  
Chia - Colombia

LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Muestra No. 095-01

**Fecha recepción de muestra:** 22 de mayo de 2018

**Fecha de entrega resultados:** 25 de mayo de 2018

**Cliente:** Sharon Stefani Céspedes

**Descripción de la muestra:** Muestra de suelo

**Ubicación:** Planta Francisco Wiesner

**Análisis solicitado:** Recuento de Coliformes totales, Coliformes Fecales, *Escherichia coli* y Aerobios Mesófilos.

**Consecutivo de muestra:** 095-01

**Método:** Se realizó diluciones seriadas, siembra en medios de cultivo específicos, incubación de 24 a 48 horas y recuento en placa.

RESULTADOS

**Tabla 1.** Recuento de Coliformes totales, fecales, *E. coli* y Aerobios Mesófilos.

MUESTRA	MICROORGANISMOS
095-01	<p><b>Coliformes Totales:</b> &gt;1 x 10<sup>5</sup> UFC/g</p> <p><b>Coliformes Fecales:</b> &gt;1 x 10<sup>5</sup> UFC/g</p> <p><i>E. coli:</i> 1 x 10<sup>2</sup> UFC/g</p> <p><b>Aerobios Mesófilos</b> 5,2 x 10<sup>3</sup> UFC/g</p>

**Observaciones:** Según el decreto 1594 de 1984 del Ministerio de Agricultura, para agua de riego el número (NMP) de Coliformes Totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto y el número (NMP) de Coliformes Fecales no deberá exceder 2.000 cuando se use el recurso para el mismo fin del literal anterior. Según el decreto 1575 de 2007 del Ministerio de la protección social, y el Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial (Resolución No.2115), para agua de consumo humano el nivel máximo de Coliformes Totales es 0 UFC/100 cm<sup>3</sup> y de *E. coli* es 0 UFC/100 cm<sup>3</sup>.