

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA
PTAR DE LA EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA**

MARÍA CAMILA TORRES CORTÉS

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D. C.
2017**

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA
PTAR DE LA EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA**

MARÍA CAMILA TORRES CORTÉS

**Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO QUIMICO**

**Orientador
OSCAR LOMBANA
Ingeniero Químico**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ, D. C.
2017**

NOTA DE ACEPTACIÓN

ING. OSCAR LOMBANA

ING. ELIZABETH TORRES

ING. SANDRA MESA

Bogotá, 14 de Noviembre del 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro:

Dr. JAIME POSADA DIAZ.

Vice-rector de Desarrollo y Recursos Humanos:

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCA-PEÑA.

Vice-rectora Académica y de Posgrados:

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS.

Secretario General:

Dr. JUAN CARLOS POSADA GARCIA-PEÑA.

Decano Facultad de Ingeniería:

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI.

Director de programa de Ingeniería Química:

DR. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ.

Las directivas de la 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.

Primeramente le doy gracias a Dios por permitirme cumplir este sueño. A mis padres Hernando Torres y Amparo Cortés quienes con su amor, perseverancia, sabiduría y esfuerzo, me han formado como la persona que hoy soy, a ellos toda mi admiración y amor. También les doy gracias porque sin importar los obstáculos que se presentaron a lo largo de este recorrido, siempre estuvieron apoyándome y siempre creyeron en mí. A mis hermanos Hernando Torres y Sara Torres por su comprensión y apoyo en todo momento.

María Camila Torres Cortés

AGRADECIMIENTOS

A Dios por bendecirme con esta profesión, por darme la sabiduría, por hacerme una mujer fuerte y valiente, por iluminarme para hoy poder estar finalizando este proceso de formación.

A la EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA me dio la oportunidad de llevar a cabo este proyecto de grado.

A **JULIO CÉSAR RAMIREZ RODRÍGUES**, que me brindó asesoría compartiendo sus conocimientos incondicionalmente.

Y un agradecimiento especial al ingeniero **OSCAR LOMBANA**, asesor de este trabajo de grado, quien con sus consejos y recomendaciones me alentó en la elaboración de este proyecto haciéndome sentir cada vez más cerca de la meta.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	20
OBJETIVOS	22
1. MARCO TEÓRICO	22
1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	22
1.2 PRODUCCIÓN DE LODOS RESIDUALES	22
1.3 TRATAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES	22
1.3.1 Lechos de secado	23
1.3.2 Deshidratación	23
1.3.3 Lagunas de deshidratación	23
1.3.4 Espesamiento	24
1.4 APROVECHAMIENTO	24
1.5 DISPOSICIÓN	25
1.5.1 Reverdecimiento de las tierras estériles	25
1.5.2 Fijación química	25
1.5.3 Incineración	25
1.5.4 Aplicación de lodos al suelo	25
1.5.5 Relleno	25
1.6 COMPOSTAJE	25
1.6.1 Parámetros de seguimiento	26
1.6.1.1 Temperatura	27
1.6.1.2 Humedad	26
1.6.1.3 pH	29
1.6.1.4 Aireación	29
1.6.1.5 Relación C/N	29
1.7 MATRIZ DE SELECCION	30
1.8 MARCO LEGAL	32
2. DIAGNÓSTICO DE LOS LODOS PROCESADOS	33
2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	34
2.1.1 Tratamiento preliminar	35
2.1.2 Tratamiento secundario	38
2.2 MUESTREO DEL LODO	40
2.2.1 Muestreo para contenido de metales pesados	41
2.2.2 Muestreo para análisis microbiológico	41
2.3 CARACTERIZACIÓN DEL LODO	41
2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS TRABAJOS EXPUESTOS	44

3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PTAR	47
3.1 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS	47
3.1.1 Aprovechamiento energético	47
3.1.2 Aprovechamiento como fertilizante orgánico	48
3.1.3 Aprovechamiento como material de construcción	49
3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN	50
3.2.1 Tiempo de implementación	50
3.2.2 Operatividad del proceso	50
3.2.3 Área disponible	50
3.2.4 Costos de inversión, operación y mantenimiento	50
3.3 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	50
4. EVALUACION DE LA ALTERNATIVA	53
4.1 METODOLOGIA DE DESARROLLO	53
4.2 EXPERIMENTACION	55
4.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACION	59
4.3.1 Temperatura	59
4.3.2 pH	61
4.3.3 Porcentaje de humedad	62
4.4 RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS DEL ABONO OBTENIDO	63
4.4.1 Microbiológicos	63
4.4.2 Color	64
5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	66
5.1 SECADO	66
5.2 TRITURACIÓN	67
5.3 SELECCIÓN DEL ABONO O MATERIAL LLENANTE	67
5.4 MEZCLADO	68
5.5 COMPOSTAJE	68
5.6 TAMIZADO	69
5.7 ALMACENAMIENTO	69
6. ANÁLISIS DE COSTOS DEL COMPOSTAJE	72
6.1 EGRESOS	72
6.1.1 Inversión	73
6.1.2 Gastos administrativos y operacionales	73
6.1.2.1 Mano de obra	73
6.1.2.2 Servicios públicos	73
6.1.2.3 Laboratorios	73
6.1.2.4 Mantenimiento	74
6.1.2.5 Préstamo	74
6.1.3 Compra materia prima	75

6.2 INGRESOS	75
6.3 FLUJO DE CAJA	76
6.4 INDICADORES	77
6.4.1 Valor Presente Neto (VPN)	77
6.4.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)	78
7. CONCLUSIONES	79
8. RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	81
ANEXOS	83

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Matriz de positivos y negativos	31
Tabla 2. Caracterización del agua que ingresa a la PTAR	38
Tabla 3. Caracterización del agua que sale a la quebrada la Carbonera	39
Tabla 4. Variables de caracterización de biosólidos para su uso	42
Tabla 5. Resultados de la características de los lodos de cada proyecto	44
Tabla 6. Matriz de positivos y negativos	52
Tabla 7. Factores a considerar en el proceso de compostaje	53
Tabla 8. Condiciones iniciales de lodo de la PTAR la Carbonera	55
Tabla 9. Concentraciones de las pilas	56
Tabla 10. Resultados microbiológicos	64
Tabla 11. Inversión. (COP)	73
Tabla 12. Tabla de amortización	75
Tabla 13. Cantidades necesarias y producidas anualmente	76
Tabla 14. Inversión proyectada	76
Tabla 15. Gastos administrativos y operacionales proyectados	76
Tabla 16. Compra materia prima proyectada	76
Tabla 17. Ingresos proyectados	76
Tabla 18. Flujo de caja	77

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Etapas de tratamiento de lodos residuales	23
Figura 2. Proceso general del compostaje	26
Figura 3. Fases del compostaje	27
Figura 4. Mapa del casco urbano de La Mesa, Cundinamarca	33
Figura 5. Mapa de procesos de la empresa regional aguas del Tequendama	34
Figura 6. Diagrama de procesos del tratamiento de lodos de la PTAR La Carbonera	36
Figura 7. Aireadores	39
Figura 8. Sopladores	39
Figura 9. Agitador sumergible	40
Figura 10. Métodos más comunes para el aprovechamiento de lodos residuales	47
Figura 11. Diagrama de flujo del compostaje	55
Figura 12. Lodos almacenados en la PTAR la Carbonera	56
Figura 13. Pilas 1, 2 y 3	57
Figura 14. Lugar donde se llevó a cabo el compostaje	57
Figura 15. Termómetro	58
Figura 16. Multímetro	59
Figura 17. Etapa 1	66
Figura 18. Etapa 2	67
Figura 19. Etapa 3	68
Figura 20. Forma de la pila	68
Figura 21. Etapa 4	69
Figura 22. Etapa 5	69
Figura 23. Diagrama de procesos de la alternativa	71

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Matriz Pugh	30
Cuadro 2. Ventajas y desventajas	48
Cuadro 3. Conceptos y su valoración	51
Cuadro 4. Nivel de importancia de criterios	51
Cuadro 5. Matriz Pugh	52
Cuadro 6. Variación del color en las pilas	65

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Cantidad de habitantes por cada municipio, Censo 2015	45
Gráfica 2. Temperatura en la Pila No. 1	59
Gráfica 3. Temperatura en la Pila No. 2	60
Gráfica 4. Temperatura en la Pila No. 3	60
Gráfica 5. Variación del pH	61
Gráfica 6. Porcentaje de humedad semanal	63

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Suma positivos	31
Ecuación 2. Suma iguales	31
Ecuación 3. Suma negativos	31
Ecuación 4. Valor total	32
Ecuación 5. Volumen de las pilas	56
Ecuación 6. Valor Presente Neto (VPN)	77
Ecuación 7. Tasa Interna de Retorno (TIR)	78

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Ficha técnica Oxynova	84
Anexo B. Ficha técnica del Hidrocloruro de aluminio	88
Anexo C. Ficha técnica cal	89
Anexo D. Ficha técnica abono	90
Anexo E. Relación C/N lodo residual	91
Anexo F. Análisis microbiológicos de las tres pilas	92
Anexo G. Cotizaciones de equipos	95

GLOSARIO

ABONO ORGÁNICO: es todo compuesto de origen natural, resultante de la descomposición de materiales de origen vegetal, animal o ambos, que tiene propiedades fertilizantes o mejoradoras del suelo y que no ha sido obtenido a través de procesos de síntesis química.

AIREACIÓN: proceso mediante el cual se remueve sustancias volátiles y se introduce aire al agua.

AGUA RESIDUAL TRATADA: efluente del sistema de tratamiento de las aguas residuales, después de ser sometidas a remoción de contaminantes, a través de métodos biológicos o fisicoquímicos

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS : es la utilización de residuos mediante actividades tales como separación en la fuente, recuperación, transformación y re- uso de los mismos, permitiendo la reincorporación en el ciclo económico y productivo con el fin de generar un beneficio económico y social y de reducir los impactos ambientales y los riesgos a la salud humana asociados con la producción, manejo y disposición final de los residuos. (Decreto 2676 de 2000).

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS: estudio y determinación de las propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los residuos.

COMPOSTAJE: proceso biológico controlado que permite la degradación y estabilización de la materia orgánica por la acción de microorganismos

CONTROL DE VECTORES: Vector se le llama al mecanismo u organismo que transmite un agente infeccioso o infectante desde unos individuos infectados a otros no infectados.

HUMIDIFICACIÓN: conjunto de procesos microbiológicos y químicos que permiten la transformación de la materia orgánica en humus. Este proceso es responsable de la acumulación de la materia orgánica en el suelo.

MATERIA ORGÁNICA: moléculas que contienen carbono, grandes, complejas y muy diversas, dentro de esta se pueden encontrar: las proteínas, carbohidratos, grasas o ácidos nucleicos.

MATERIAL LLENANTE: para este proceso se entiende como material llenante al abono ya estable y libre de microorganismos patógenos, el cual se utiliza para el proceso de compostaje mezclado con los lodos residuales domésticos.

RESUMEN

TÍTULO PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PTAR DE LA EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA.

La propuesta se realizó en la empresa regional aguas del Tequendama en el municipio de la Mesa – Cundinamarca. Esta empresa es la encargada de prestar los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en este municipio. Esta empresa cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas llamada la Carbonera, en donde se realiza el tratamiento de aguas residuales domesticas por medio de un tratamiento preliminar y un tratamiento secundario en el cual se producen mensualmente 1 tonelada de lodos residuales, los cuales tienen que ser tratados para poder aprovecharlos.

En primera instancia se realizó una investigación de diferentes documentos bibliográficos relacionados con el aprovechamiento de lodos residuales, para así poder tener una caracterización inicial de los lodos de la Carbonera, basados en parámetros químicos y microbiológicos según el decreto 1287. La caracterización dio como resultado que los parámetros químicos se encontraban dentro de los valores máximos permisibles, pero en cuanto a los parámetros microbiológicos, estos tenían que reducirse por medio de un tratamiento de lodos y luego poder aprovecharlos de acuerdo a los resultados obtenidos.

Seguido a esto se evaluaron tres alternativas de aprovechamiento para estos lodos, las cuales se identificaron de acuerdo al tipo de tratamiento de cada PTAR en la producción de lodos residuales y el valor de caudal de entrada del agua. Para seleccionar la mejor alternativa, se realizó una matriz de selección y una simulación de monte Carlo, dando la matriz como mejor resultado el aprovechamiento como fertilizante orgánico por medio del proceso de compostaje con 3 puntos contra del aprovechamiento energético por medio de la digestión anaerobia que obtuvo 2 puntos. En la simulación de monte Carlo, el aprovechamiento con el valor menor en la desviación estándar, es la alternativa con mayor confiabilidad, en este caso el aprovechamiento como fertilizante orgánico como mejor resultado debido a su desviación estándar de 11.21 contra el aprovechamiento energético con una desviación de 11.33 y el aprovechamiento como material de construcción 28.22 de desviación estándar. Lo que llevo a concluir que la mejor propuesta de aprovechamiento para estos lodos es el fertilizante orgánico por medio del compostaje. Para esto se realizó una prueba piloto con los lodos de la PTAR la Carbonera, para estar seguros de si los lodos compostaban o no. Esta prueba se realizó utilizando abono ya estable dado a que los lodos residuales se encontraban parcialmente estabilizados y la empresa necesitaba resultados rápidos para evitar sanciones de la CAR “corporación autónoma regional de Cundinamarca”

La experimentación se llevó a cabo durante un mes, en donde se realizó un seguimiento a la temperatura, pH, humedad y aireación, dado a que estos son los factores que más intervinieron durante el proceso de compostaje. Posteriormente se tomaron muestras de las tres pilas experimentales, las cuales se realizaron en diferentes concentraciones de lodos (100%, 80%, 60%) y abono (0%, 20%, 40%), para realizarles un análisis de enterobacterias y *salmonella sp*, para tener conocimiento si el producto compostado podría aprovecharse como material aplicable al suelo o abono de acuerdo a los requerimientos de la NTC 5167. El resultado obtenido de las tres muestras, indicó que la pila con mayor concentración de abono (pila 3), fue la que mejor comportamiento tuvo dentro del proceso de compostaje, dado a que los valores de microorganismos patógenos fue de 160 de enterobacterias y ausencia de *salmonella sp*, los cuales se encontraban dentro de los valores máximos permisibles de la NTC 5167.

Luego se plantearon unas especificaciones técnicas de cada etapa involucrada dentro del proceso de compostaje. Por último, se realizó un análisis de costos de la propuesta seleccionada, donde se usó como indicador financiero el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR), incluyendo costos de inversión, costos directos e indirectos, a fin de evaluar la viabilidad y rentabilidad de la aplicación de esta propuesta de aprovechamiento de lodos residuales en la empresa regional aguas del Tequendama.

PALABRAS CLAVES:

- Abono orgánico.
- Compostaje.
- Lodos residuales domésticos.
- La Mesa-Cundinamarca.
- Material llenante.

INTRODUCCIÓN

El alto nivel de producción de lodos residuales en los municipios, exhibe hoy día, un problema medioambiental, principalmente en los rellenos sanitarios que es el destino final de estos desechos. La Mesa, no tiene un mecanismo que permita aprovechar los lodos residuales que se producen en el municipio; por ello, éstos se disponen hacia el relleno sanitario Nuevo Mondoñedo, ocasionando costos de transporte, problemas de salud y una gran problemática ambiental derivada del vertimiento incontrolado; causando así, contaminación de suelos, contaminación de agua por lixiviados, los cuales pueden liberar metales pesados y emisión de gases de efecto invernadero.

En la actualidad, la Mesa cuenta con una empresa de servicios públicos, empresa regional aguas del Tequendama, la cual no cuenta con un programa en cuanto al aprovechamiento de lodos residuales, por lo que, esta propuesta es una alternativa, debido a que el proceso de compostaje permite la obtención de un producto valioso como lo es el abono orgánico, el cual tiene propiedades que renuevan la calidad fisicoquímica y microbiológica del suelo y por ende, de la producción agrícola.

Por esta razón, se lleva a cabo el proceso de compostaje de manera eficiente hasta la obtención de abono orgánico maduro y de calidad, que cumpla con la normatividad colombiana (NTC 5167). Para comprobar el estado del producto final se realizaron pruebas microbiológicas en el laboratorio Doctor Calderón y por último, se finalizó con un análisis de costos de esta propuesta verificando así su viabilidad en aplicaciones futuras.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de la empresa regional aguas del Tequendama.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diagnosticar los lodos generados en la PTAR.
2. Seleccionar la alternativa adecuada para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR.
3. Evaluar la alternativa seleccionada
4. Determinar las especificaciones técnicas de la alternativa seleccionada para el aprovechamiento de los lodos.
5. Realizar el análisis de costos de la propuesta seleccionada.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Una PTAR es una instalación en donde se le retiran los contaminantes al agua, para que esta pueda disponerse sin riesgo a la salud o al medio ambiente. Estas aguas se pueden disponer ya sea en el mar, en ríos o lagos, aunque en la actualidad se ha reutilizado estas aguas en las actividades de la vida cotidiana excepto para el consumo humano.¹

1.2 PRODUCCIÓN DE LODOS RESIDUALES

Las aguas provenientes de las diferentes actividades de los hogares, deben ser tratadas para la reducción de contaminantes, para así poderlas disponer y/o reusarlas. La calidad de estas aguas tratadas se mejora al eliminar los contaminantes en diferentes procesos. Debido a esto se genera un subproducto llamado lodos residuales, los cuales son dañinos².

Para determinar el tratamiento adecuado para la reducción de los contaminantes de las aguas residuales, es indispensable conocer las características de entrada de estas aguas a la PTAR. No obstante se ha concluido que de acuerdo a las investigaciones realizadas a lo largo de los años, la composición de estas aguas comprende de cierta homogeneidad, por lo tanto se establecen una serie de generalidades para los tratamientos de las mismas.

Uno de los aspectos más críticos en la operación de plantas de tratamiento es el manejo de los lodos producidos en los procesos de sedimentación, puesto que sus características fisicoquímicas como sus volúmenes son distintos en cada caso, lo que puede cambiar anual, estacional o diariamente, dependiendo de las condiciones climáticas

Los residuos generados en las operaciones y procesos de las plantas de potabilización que pueden ser reciclados al inicio del tratamiento provienen principalmente de:

- Tanques de clarificación y sedimentación.
- Sobrenadante del espesamiento de lodos.
- Residuos líquidos de operaciones de deshidratación³

1 CONIL, Philippe. BIOTEC. Congreso Nacional de ACODAL. 2000.

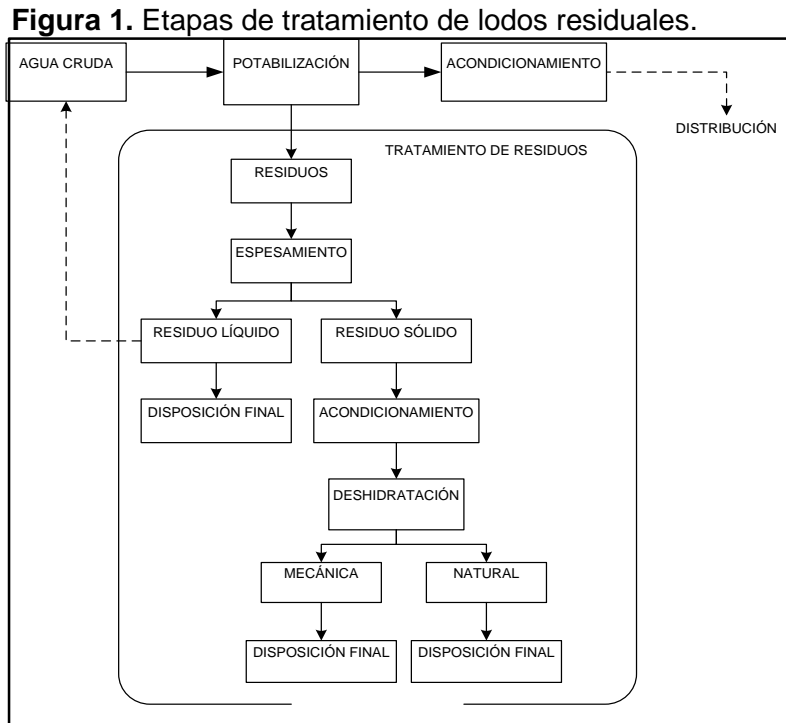
2 GUZMÁN, Carolina y CAMPOS, Claudia. Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Universidad Javeriana. 2004.

3 Ibíd,

1.3 TRATAMIENTO DE LOS LODOS RESIDUALES

El tratamiento de los lodos residuales producidos en procesos de tratamiento de agua, implica la separación del agua y de los sólidos, por lo que el grado de tratamiento requerido es una función directa del método de disposición final.

En la **Figura 1** se muestran las etapas involucradas en el tratamiento de los lodos residuales de las plantas de tratamiento de agua potable.



Fuente: ESCOBAR RIVERA, Juan Carlos. Gestión Integral del Manejo de Lodos de Plantas de Tratamiento de Agua Potable. ACODAL. 2004.

1.3.1 Lechos de secado. Su principal mecanismo es el drenaje, la sedimentación y evaporación.

1.3.2 Deshidratación. Reducción del contenido de humedad de los lodos para ahorrar en costo de transporte, hace más fácil la manipulación del lodo y la reducción de la producción de lixiviados. Este tratamiento puede realizarse por métodos mecánicos o naturales, entendiendo como naturales los lechos de secado y los mecánicos por filtros de prensa y centrifugación.

1.3.3 Lagunas de deshidratación. Operan a cargas mayores que los lechos de secado y se demora más el secado. Una laguna deshidratante, se llena en un período de tiempo largo de tres a doce meses y después se deja secar durante un largo período de tiempo mientras que se llena otra vez.

1.3.4 Espesamiento. Disminuye el volumen de residuo, produciendo un lodo más concentrado ayudando al lodo para ser deshidratado. También los espesadores garantizan una calidad determinada del agua clarificada efluente del tanque, permitiendo la descarga de esta a una fuente receptora, previo cumplimiento de las normas, o su recirculación al inicio del tratamiento.

Es importante que luego de someter el lodo proveniente del tratamiento de agua, a cualquier tratamiento de los anteriormente mencionados, éste sea dispuesto de la mejor manera buscando el menor riesgo de impacto ambiental y tratando de darle un uso benéfico, tanto al lodo como al agua sobrenadante.

1.4 APROVECHAMIENTO

De las características que poseen los lodos residuales han llevado a realizar diferentes investigaciones en diferentes áreas de aprovechamiento como:

- **Aprovechamiento como fertilizante orgánico.** Para llegar a obtener este producto que puede ser comercializado dependiendo de las características finales, se le realiza un proceso de estabilización a los lodos residuales con el fin de aprovechar sus características como acondicionadores de suelos o abono, en parques, en áreas forestales y jardines.
- **Aprovechamiento como material de construcción.** Por las necesidades en la elaboración de materia primas para la construcción, surge esta alternativa. De acuerdo a las investigaciones previas, los productos resultantes de estos materiales, han demostrado una perfecta adecuación a las normas técnicas de construcción.
- **Restauración de espacios.** Se basa en la recuperación de minas, a prados y terrenos forestales. Solo se necesita de una aplicación inicial para que el lodo se descomponga rápidamente y se formen colonias de lombrices, y después de un año la vegetación se vuelva uniforme.
- **Obtención de carbón activado.** Solo los lodos con alto contenido en carbono, son los utilizados para este tipo de aprovechamiento, el cual es utilizado en la purificación de aguas y aire.
- **Aprovechamiento energético.** Para aprovechar los lodos de esta manera, se requiere que tengan un porcentaje de humedad inferior al 5% , este se puede realizar o por digestión anaerobia o digestión aerobia ⁴

⁴ TEJADA, Lesly. Aprovechamiento de lodos de aguas residuales. Revista científica TEKNOS.

1.5 DISPOSICIÓN

1.5.1 Reverdecimiento de las tierras estériles. La industria causa graves daños al medio, los casos con mayor frecuencia son la escoria de las minas gracias a los desperdicios metálicos o la descarga de desperdicios domésticos. Por esta razón, se ha tratado de cubrirlos de humus a fin de que puedan sembrar en ellos hierbas y otras plantas. Dependiendo de las características fisicoquímicas, microbiológicas del suelo y del lodo, este último puede ser útil en la recuperación ecológica de ecosistemas como el de alta montaña.

1.5.2 Fijación química. Consiste en el mezclado de lodo deshidratado, con agentes estabilizadores tales como el cemento, silicato de sodio, materiales puzolánico (silicatos finos) y cal, para que reaccione químicamente con el lodo y lo bloquee. El proceso puede generar un producto de elevado pH, que inactiva las bacterias patógenas y virus

1.5.3 Incineración. Consiste básicamente en dos procesos: Evaporación del agua e incineración de la sustancia seca con una cierta adición de combustible, en caso de que el contenido de calor de la sustancia seca no proporcione el calor necesario para la evaporación⁵, es decir que la incineración es la destrucción completa de materiales por calor a sus componentes inertes. Se debe tener en cuenta que este método, dependiendo de la forma de operación, produce cenizas que requieren una última disposición.

1.5.4 Aplicación de lodos al suelo. Incluye el uso agrícola, aplicación en silvicultura, aplicación para la recuperación de terrenos o zonas degradadas. La aplicación de lodos de plantas de tratamiento puede optimizar las condiciones físicas del suelo, por la floculación de partículas coloidales mediante reacciones análogas al tratamiento del agua.

1.5.5 Relleno. Existen dos opciones de disposición de los lodos generados en plantas de tratamiento: relleno sanitario y monorelleno. Para ello, existen una serie de parámetros a considerar en su implementación de tal forma que garanticen tanto el adecuado funcionamiento como la salud pública de la población y el ambiente.

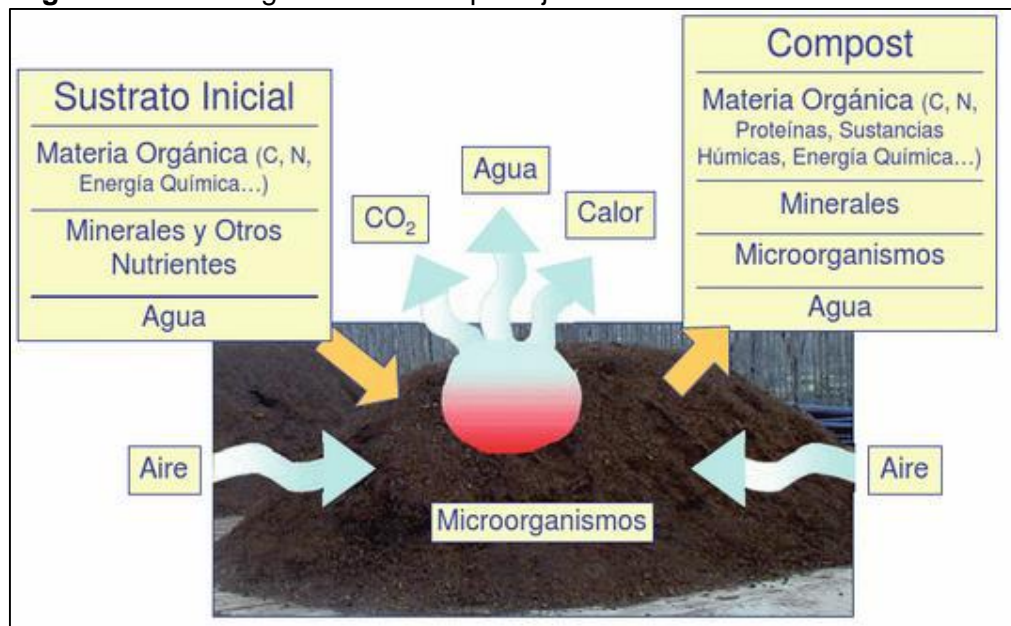
1.6 COMPOSTAJE

El proceso de compostaje es el proceso más frecuente utilizado para la transformación orgánica de los residuos sólidos urbanos a un material húmico estable. Este proceso se efectúa mediante la fermentación, controlando factores que influyen durante el tratamiento (temperatura, pH, humedad y aireación) de la fracción orgánica de los residuos por poblaciones de microorganismos aerobios

⁵ ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA. Guía para el manejo integral de residuos. Medellín, Colombia. 2008.

(bacterias, hongos y actinomicetos). La riqueza en la materia orgánica, permite mejorar las propiedades del suelo, incrementar su porosidad mejorando la aireación, aumentando la retención y absorción de humedades impidiendo la colocación de los nutrientes. Según esto el compostaje es un regenerador, acondicionador o corrector de suelos. En la **Figura 2** se observa un esquema con el proceso general del compostaje.

Figura 2. Proceso general del compostaje.



Fuente: MORENO CASCO, Joaquín & MORAL HERRERO, Raúl. Compostaje. Madrid, 2008. p. 113.

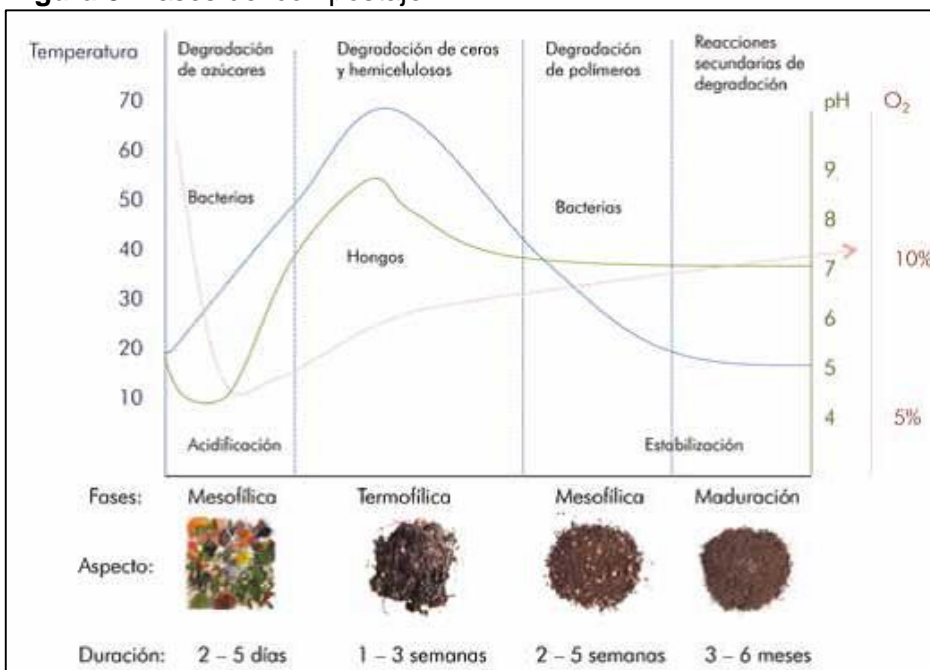
Para llevar a cabo el compostaje, se tienen que seguir ciertos parámetros que varían durante el proceso. Dentro de estos se encuentran la temperatura, el pH y la humedad. En la **Figura 3** se observa el comportamiento de estos tres factores, al igual que las etapas presentes durante el proceso de compostaje, con sus respectivos tiempos de duración.

1.6.1 Parámetros de seguimiento.

1.6.1.1 Temperatura. El compostaje es un proceso microbiológico que combina fases (Ver **Figura 3**) mesófitas (15-45 °C), termófilas (45-70 °C) y una etapa final en la que disminuye la temperatura inicial y la fase final de maduración que es donde se estabiliza el compost hasta una temperatura ambiente para conseguir la transformación de un residuo orgánico en un producto estable, libre de microorganismo patógenos y de interés agrícola.

Según la variación de la temperatura generada durante el proceso de compostaje, se pueden definir cuatro etapas.

Figura 3. Fases del compostaje.



Fuente: ROMAN, Pilar; MARTÍNEZ, María & PANTOJA, Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias de américa latina. Santiago de Chile. 2013. p.25

- **Mesofílica.** Inicialmente los residuos por descomponer se encuentran a una temperatura ambiente. A medida que transcurre el tiempo, la temperatura va aumentando gradualmente hasta llegar a 45°C. Los microorganismos mesófilos, se desarrollan a temperaturas entre 19 y 40 °C, es decir que el aumento de esta temperatura se debe a la actividad microbiana y a la descomposición de compuestos solubles como los azúcares. El pH descenderá de 4 a 5,5 por la producción de ácidos orgánicos.⁶
- **Termofílica.** Como bien se dijo, las fases se definen por el aumento de temperatura, en esta etapa la temperatura asciende cada vez más a medida que va pasando el tiempo por esta razón los microorganismos mesófilos son sustituidos por los termófilos los cuales sobreviven a temperaturas de 45 y 70°C. Esta fase puede durar de una a tres semanas.

Durante esta etapa se descomponen material celulósico. El nitrógeno orgánico se convierte en amoníaco, motivo por el cual el pH aumenta hasta volverse alcalino. A temperaturas superiores de 60°C se destruyen bacterias y contaminantes de origen fecal y se eliminan las esporas de hongos patógenos.

⁶ ROMAN, Pilar; MARTÍNEZ, María & PANTOJA, Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias de américa latina. Santiago de Chile. 2013

Para poder mantener la temperatura en los rangos óptimos para que los microorganismos se desarrollen, se recomienda airear los residuos, bien sea por volteos mecánicos o manuales, asegurando no solo la temperatura sino la humedad y el pH también.⁷

- **Mesófilica final.** En esta etapa la materia orgánica y el nitrógeno comienzan a agotarse. Por esta razón los microorganismos termófilos disminuyen su acción hasta desaparecer completamente. La temperatura desciende a <45°C, los microorganismos mesófilos se desarrollan y descomponen la materia orgánica que quedó de las primeras etapas. Esta fase puede demorar de 2 a 5 semanas.
- **Maduración.** Esta es la fase definitiva del proceso del compostaje y la que dura más tiempo de 3 a 6 meses, en donde se desencadenan reacciones secundarias que descomponen la parte menos biodegradable de la materia orgánica y produce ácidos húmicos. Al finalizar se obtendrá un producto con características específicas, el cual puede ser utilizado como fertilizante o enmienda para suelos, donde el pH tiene que estar cerca de 7, la humedad de 20 a 35 % y deben cumplir con los requisitos de las normas en cuanto el contenido de metales pesados y microorganismos patógenos.⁸

1.6.1.2 Humedad. Siendo el compostaje un proceso de descomposición biológica de la materia orgánica, la presencia de agua es indispensable para las necesidades fisiológicas de los microorganismos porque este es el medio de transporte de las sustancias que sirve como alimento a las células. Esta debe estar entre 50 y 60% por que la actividad microbiana decrece cuando la humedad está por debajo del 40%.

El control de esta puede realizarse por el siguiente procedimiento empírico⁹:

Paso 1. Se toma de forma manual una muestra de material.

Paso 2. Se cierra la mano y se aprieta fuertemente el mismo.

Paso 3. Si con esta operación verifica que sale un hilo de agua continuo del material, entonces se puede establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.

Paso 4. Si no se produce un hilo continuo de agua el material gotea intermitentemente, se puede establecer que su contenido de humedad es cercano al 40%.

⁷ *Ibíd.*,

⁸ *Ibíd.*,

⁹ COLOMER, Francisco & GALLARDO Antonio. Tratamiento y gestión de residuos sólidos. Valencia – España. p. 212.

Paso 5. Si el material no gotea y cuando se abre el puño de la mano permanece moldeado, se estima que la humedad se presenta entre un 20 a 30%.

Paso 6. Finalmente si se abre el puño y el material se disgrega, se asume que el material contiene una humedad inferior al 20%.

1.6.1.3 pH. El rango del pH tolerado por las bacterias es relativamente amplio pues existen grupos fisiológicos adaptados a valores extremos, es decir que el pH cercano a neutro (6,5-7,5), ligeramente ácido o ligeramente alcalino nos asegura el desarrollo de la gran mayoría de los grupos fisiológicos. Cuando el pH es inferior a 5,5 (ácido) inhibe el crecimiento y valores superiores a 8 (alcalinos) también son agentes inhibidores de crecimiento.

Existe una relación entre el cambio de pH con la aireación de la mezcla, por lo tanto un compostaje con una aireación adecuada, genera un producto final con un pH de 7 y 8, si el valor es inferior a estos, quiere decir que la mezcla aún no está madura.

1.6.1.4 Aireación. Con el fin de conseguir un compostaje de buenas condiciones y una obtención de forma rápida, y a la vez evitar malos olores, es importante asegurar la presencia de oxígeno para así mantener la actividad microbiana. Para esto es aconsejable mezclar cada 2 o 3 días la pila de compostaje para asegurar que se esté dando el proceso en condiciones aerobias y así proporcionar aire al centro de la misma.

Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en los espacios libres: la parte más externa contiene el oxígeno del aire (18-20%), al interior el oxígeno va disminuyendo pero el dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de llegar a una profundidad de aproximadamente 60cm al interior de la pila, el contenido de oxígeno puede estar de 0,5% a 2%¹⁰.

1.6.1.5 Relación C/N. Esta relación expresa las unidades de carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. El carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes, favorece un buen crecimiento y reproducción. Una relación adecuada de C/N de entrada a compostar es de 25 unidades de carbono por unidad de nitrógeno es decir $C(25)/N(1)=25$ ¹¹. Si la relación C/N está en 10 indica que el material contiene más proporción de nitrógeno pero si tiene 40 quiere decir que contiene más carbono

¹⁰ EKINCI, K. et al. Effects of aeration strategies on the composting process: Part I. Experimental studies. American society of agricultural engineers. 2004. Vol. 47 no 5. p. 1697.

¹¹ COLOMER, Francisco & GALLARDO, Antonio. Op., Cit.,

1.7 MATRIZ DE SELECCIÓN

La matriz de PUGH (Ver **Cuadro 1**) llamada así en honor a su creador **Stuart Pugh** es una técnica cuantitativa, utilizada para clasificar la mejor opción de un conjunto de opciones. En esta matriz, una serie de criterios se pueden descomponer, registrar, y sumar para obtener una puntuación de alguna de las alternativas establecidas que puede ser clasificada dependiendo de lo que se busca.

Cuadro 1. Matriz Pugh.

MATRIZ PUGH										
<u>Tabla de Conceptos</u> INDISPENSABLE + MEDIANAMENTE INDISENSABLE - NO INDISPENSABLE - Variables	Etapas del proceso									
	Nivel de Importancia	Comparación	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
V1	3	=	-	+	I	I	I	+	I	-
V2	1	=	-	I	+	I	I	+	I	-
V3	4	=	-	I	I	+	+	+	+	-
V4	2	=	-	+	+	I	I	+	I	-
SUMA POSITIVOS			0	2	2	1	1	4	1	0
SUMA NEGATIVOS			4	0	0	0	0	0	0	4
SUMA IGUALES			0	2	2	3	3	0	3	0
SUMA PONDERADA DE POSITIVOS			0	5	3	4	4	1	4	0
SUMA PONDERADA DE			1	0	0	0	0	0	0	10
TOTALES			-	5	3	4	4	1	4	-10
			1					0		

Fuente: MANUFACTURING TERMS. Pugh Matrix. Disponible en: <http://www.manufacturingterms.com/Spanish/Pugh-Matrix-Definition.html>. Consultado en: 19 de agosto de 2017

Las ventajas de utilizar esta técnica son¹²

- Las opiniones subjetivas que se tienen acerca de una alternativa, se pueden tornar objetivas.
- Los estudios de sensibilidad que se pueden llevar a cabo, se pueden analizar qué tanto tendría que cambiar una opción o un factor para que una alternativa de menor rango clasifique en una alternativa competitiva.

¹² MANUFACTURING TERMS. Pugh Matrix. Disponible en: <http://www.manufacturingterms.com/Spanish/Pugh-Matrix-Definition.html>.

Para construir la matriz de Pugh lo primero que se debe hacer es valorar unos conceptos con los cuales se van a calificar las diferentes alternativa. Seguido a esto a los criterios ya establecidos se deben evaluar por cantidades numéricas del más importante al menos importante. En tercer lugar para el desarrollo numérico de la matriz se utilizan las siguientes ecuaciones (Ver **Ecuaciones 1, 2 y 3**).

Ecuación 1. Suma positivos.

$$Suma\ positivos = v_1 + v_2 + v_3 + v_n$$

Ecuación 2. Suma iguales.

$$Suma\ iguales = v_1 + v_2 + v_3 + v_n$$

Ecuación 3. Suma negativos.

$$Suma\ negativos = v_1 + v_2 + v_3 + v_n$$

“Para hallar la alternativa con mayor puntaje en la matriz se debe realizar la suma ponderada de positivos y negativos, pues los iguales no afectan. Numéricamente se representa el (+) como 1, (-) como -1 y el igual representa un valor igual a 0, por esta razón la suma ponderada que se realiza es de los valores que afecten”¹³

Seguido a esto se realizan dos matrices una para positivos y otra para negativos de la siguiente manera; El número de columnas estará dado por n etapas+1 y las filas serán igual al número de variables analizadas. Ver **Tabla 1**.

Tabla 1. Matriz de positivos y negativos.

POSITIVOS							NEGATIVOS						

Fuente: MANUFACTURING TERMS. Pugh Matrix. Disponible en: <http://www.manufacturingterms.com/Spanish/Pugh-Matrix-Definition.html> Consultado en: 19 agosto de 2017

“La primera columna sería igual al nivel de importancia y la comparación según la metodología de la matriz Pugh; Para calcular el resto de la matriz se realiza la siguiente operación: se multiplica el concepto de la etapa n por la variable n y se pone un condicional si es concepto positivo o negativo que son los de interés”¹⁴.

¹³ *Ibíd.*,

¹⁴ *Ibíd.*,

Para la suma de ponderados positivos se toman únicamente los conceptos positivos y de la misma manera los conceptos negativos, para el valor total que es el de interés por cada etapa se realiza la siguiente operación (Ver **Ecuación 4**).

Ecuación 4. Valor total.

$$Total = Suma\ ponderados\ positivos - Suma\ ponderados\ negativos$$

1.8 MARCO LEGAL

- **Decreto 1287 del 10 de julio del 2014.** Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales.
- **Resolución 0631 del 17 de marzo del 2015.** Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan en otras disposiciones.
- **Norma técnica Colombiana 5167.** Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abono o fertilizantes y enmiendas de suelos.
- **Norma técnica colombiana Iso 5667-13.** Gestión ambiental. Calidad de agua. Muestreo. Parte 13: guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas.

2. DIAGNÓSTICO DE LOS LODOS GENERADOS

La Mesa es un municipio de Cundinamarca que se encuentra a 65Km de la ciudad de Bogotá, fundada el 12 de marzo de 1.977 por Ramón Ibáñez, Laureano de Rojas y Joaquín de Lis.

Este municipio cuenta con una población aproximada de 30.250¹⁵ habitantes, divididos en 20 barrios, subdivisiones, conjuntos cerrados y 17 veredas. (Ver **Figura 4**)

Figura 4. Mapa del casco urbano de La Mesa, Cundinamarca.



Fuente: ALCALDÍA DE LA MESA, CUNDINAMARCA. Consultado en: 1 de marzo de 2017

Anapoima es también un municipio de Cundinamarca que se encuentra a 87Km de la ciudad de Bogotá, es decir que está a 22Km de la Mesa, esta fue fundada el 10 de agosto de 1627 por Oidor y consejero real, Don Lesmes de Espinosa Saravia.

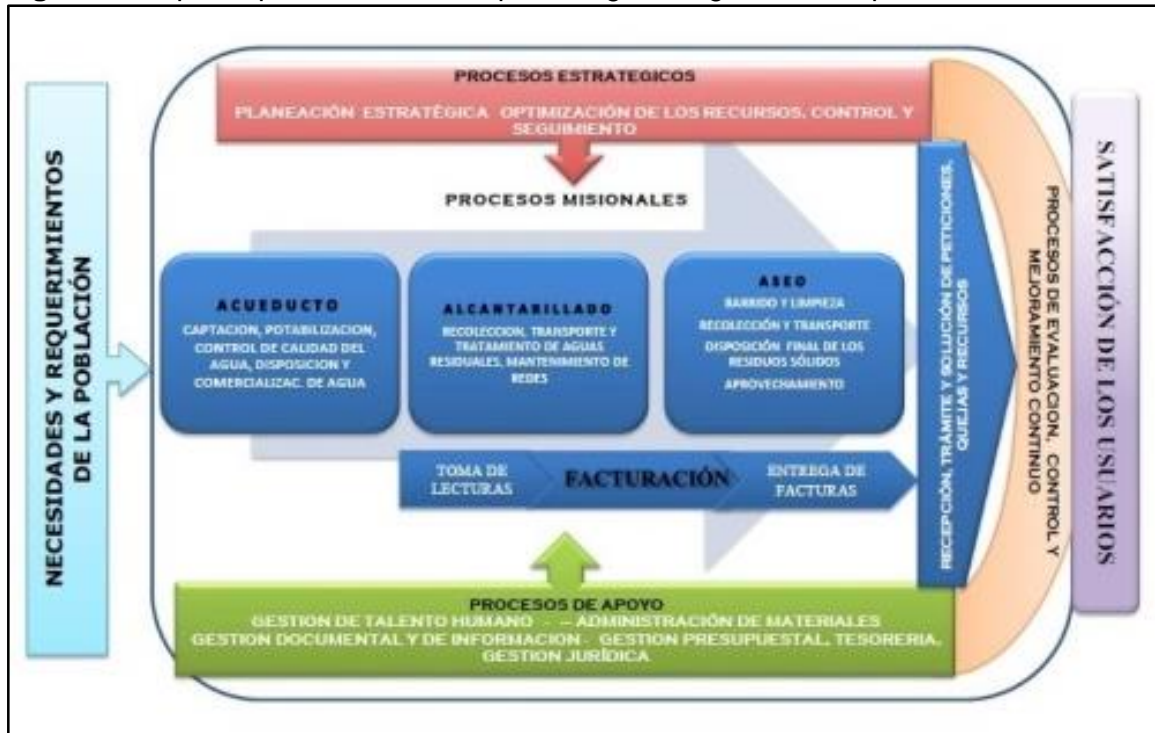
Este municipio cuenta con una población de 10.259¹⁶ habitantes, por tanto el total de habitantes de estos dos municipios es de aproximadamente 40.509.

¹⁵ LA MESA, CUNDINAMARCA. Cantidad de habitantes del 2 de noviembre de 2016. Disponible en: http://www.lamesa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. Consultado en: 2 de Noviembre de 2016.

¹⁶ ANAPOÍMA. Cantidad de habitantes del 24 de Abril. Disponible en: <http://www.anapoima-cundinamarca.gov.co/indicadores.shtml>. Consultado en: 24 de Abril de 2017.

La empresa regional aguas del Tequendama S.A. E.S.P. es la encargada de prestar los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo en estos dos municipios, realizando el suministro de estos servicios con eficiencia, calidad, responsabilidad y de acuerdo con la normatividad vigente (Decreto 302 de 2000 por el cual se reglamenta la ley 142 de 1994, en materia de prestación de los servicios públicos domiciliarios de acuerdo al alcantarillado; Decreto 229 de 2002 por el cual se modifica parcialmente el Decreto 302 del 25 de febrero de 2000) . (Ver **Figura 5**).

Figura 5. Mapa de procesos de la empresa regional aguas del Tequendama.



Fuente: AGUAS DEL TEQUENDAMA. Nuestra empresa. Disponible en: <http://www.aguasdeltquendama.com/nuestra-empresa> Consultado en: 24 de Julio de 2017

2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La empresa regional aguas del Tequendama cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales llamada la Carbonera que se encuentra ubicada en el municipio de la Mesa, en la vereda el Hatónorte, a la cual llegan los residuos por medio de tuberías y conductos, desalojando aguas residuales o de lluvia. El proceso de tratamiento de aguas se divide en dos partes, tratamiento preliminar y luego pasa por un tratamiento secundario. En la sección 2.1.2 se describe el proceso secundario de las aguas residuales y la producción de los lodos, que se generan durante este tratamiento. (Ver **Figura 6**.)

2.1.1 Tratamiento preliminar. En esta planta de tratamiento llegan las aguas residuales por gravedad a un tratamiento preliminar con ciertas características de entrada. (Ver **Tabla 2**). Este tratamiento inicia en una canaleta de excesos en donde se le realiza una dosificación al agua con Oxynova, este, es una mezcla de enzimas, probióticos y catalizadores orgánicos para la descomposición de la materia orgánica en sus componentes más simples, en el tratamiento de agua contaminada y reducción de olores ofensivos, como amoniaco y ácido sulfhídrico. (Ver ficha técnica del Oxynova en el **Anexo A**).

Seguido a esto el agua pasa a través de 3 rejas realizando un proceso llamado desbaste que de acuerdo a la separación de los barrotes (9cm, 2cm y 0.5cm); retiene solidos de mayor y mediano tamaño. Los operarios le realizan la limpieza manual 3 veces al día. Luego, el agua pasa por un desarenador al cual se le realiza mantenimiento cada 6 meses, este remueve materia pesada de tamaños superiores a 0.2mm, pasando el agua continuamente por una canaleta Parshall donde se podrá encontrar el medidor digital de caudal 18L/s y luego pasa a la recamara de distribución la cual se divide en 3 fases. Por ahora la empresa regional aguas del Tequendama de estas tres fases solamente maneja una ya que está en proyecto la construcción de las otras dos.

Figura 6. Diagrama de procesos del tratamiento de lodos de la PTAR La Carbonera.

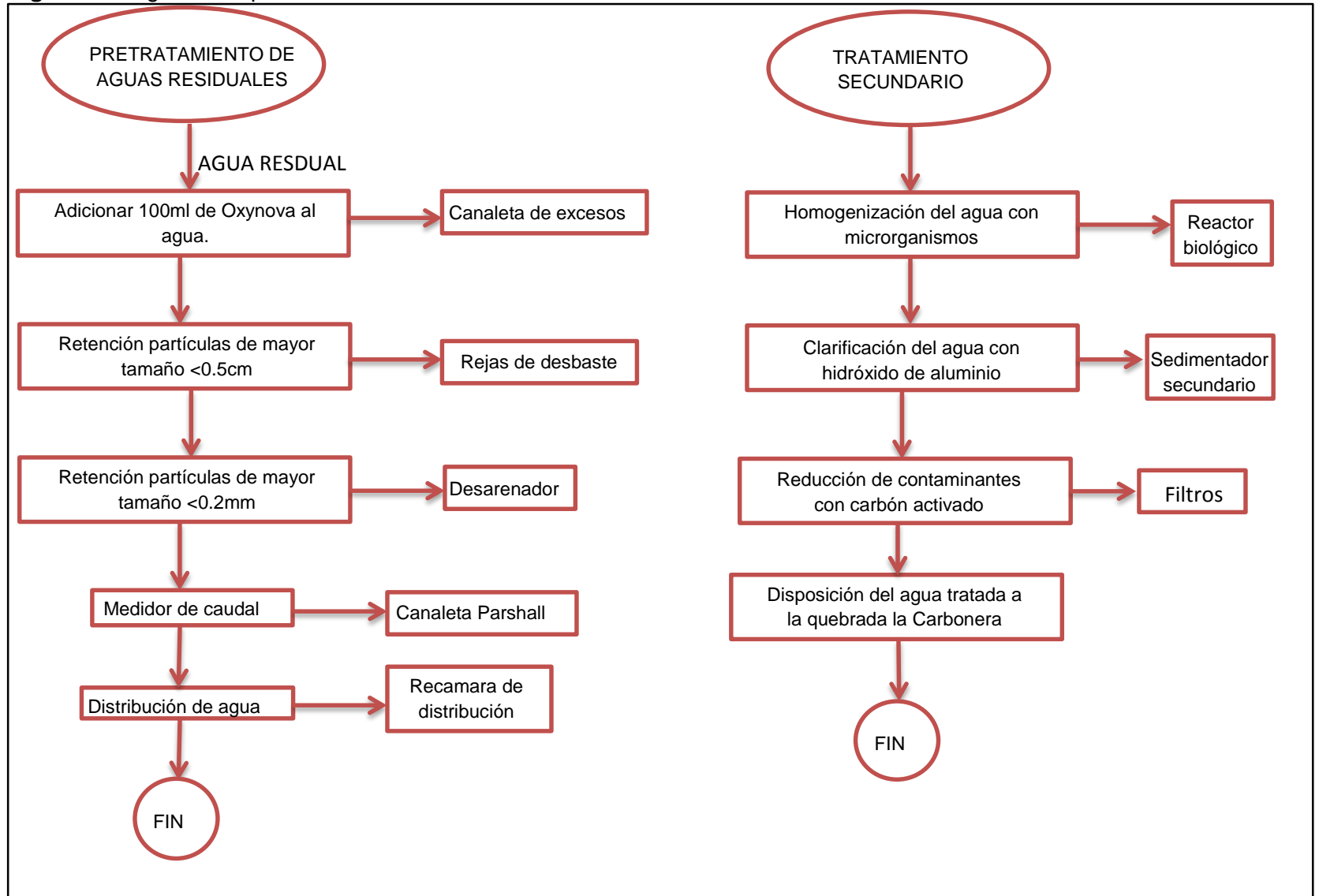


Figura 6. (Continuación).

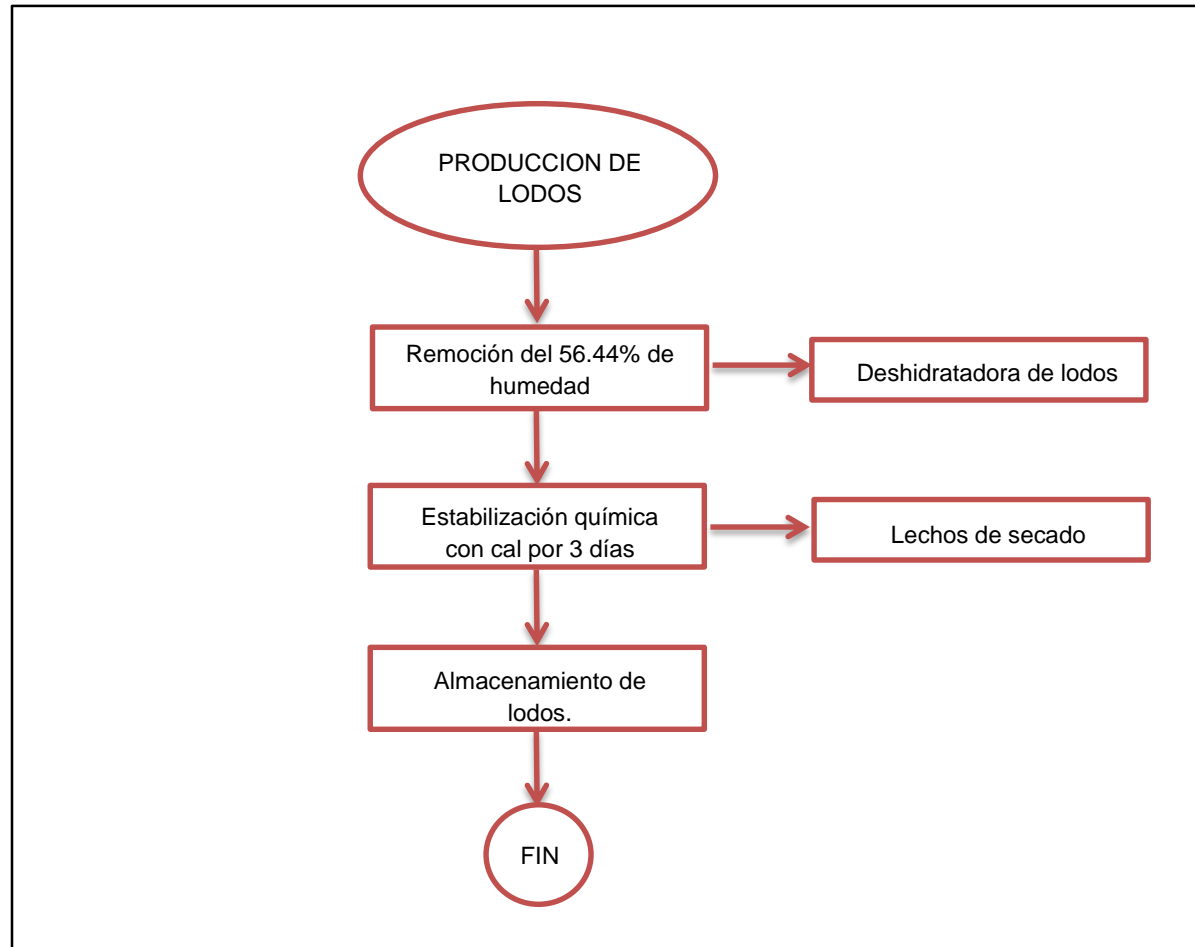


Tabla 2. Caracterización del agua que ingresa a la PTAR.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO
Caudal promedio	L/s	18
DBO5	mg O ₂ /L	278
DQO	mg O ₂ /L	125
Grasas y aceites	mg/L	34
SAAM (Tensoactivos)	mg/L	12.67
Color	UPC	26
Ph	Unidades pH	7.95-8.32
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	650
Temperatura	°C	25.2-28

2.1.2 Tratamiento secundario. El agua por medio de gravedad pasa de la recamara de distribución al reactor biológico, el cual tiene 12m de ancho y 12m de alto. En la parte inferior de este se encuentran los aireadores de agua que son de tipo membrana, de burbuja fina, circulares, montados sobre parrillas de distribución de aire construidas en PVC. (Ver **Figura 7**). Para el funcionamiento de los aireadores se requieren de 3 sopladores, (Ver **Figura 8**) a los cuales se les realiza un mantenimiento cada 15 días de filtro y se les cambia el aceite cada 6 meses. La sala en donde están ubicados los sopladores, está equipada con facilidades para evitar la propagación del ruido, y con un sistema de ventilación que permite la evacuación del calor liberado por los equipos y por sus motores de accionamiento. En este reactor ocurre la homogenización del agua con los microorganismos con ayuda de agitación transfiriendo oxígeno a la masa de agua a través de un agitador sumergible. (Ver **Figura 9**).

Seguido de esto el agua pasa a un sedimentador secundario de 9m de altura por 9m de diámetro, circular, de fondo cónico en donde se realiza el proceso de clarificación del agua residual por medio del hidroxiclورو de aluminio. (Ver ficha técnica en el **Anexo B**).

El sedimentador tiene un sistema de barrido por medio de un carro de tracción el cual tarda 40 minutos en realizar la operación. El agua clarificada queda en la parte superior del sedimentador, la cual es removida hasta el canal efluente, para luego pasar a los filtros, los cuales contienen carbón activado que permite el control de los parámetros contaminantes del agua. Seguido a esto el agua tratada es vertida en la quebrada la Carbonera con las siguientes características finales (Ver **Tabla 3**)

Como se dijo anteriormente, durante el tratamiento secundario de aguas residuales, en el fondo del sedimentador secundario se producen los lodos, los cuales son removidos por medio de unas rastas, las cuales se encuentran en la parte inferior del sistema de tracción que tiene el sedimentador. Estos lodos son bombeados hasta el reactor biológico para así poder recircularlos y realizarles de nuevo el tratamiento.

Cada dos meses el operario bombea los lodos desde el sedimentador hasta la deshidratadora de lodos para luego ponerlos a secar en un lecho por tres días, en donde se les adiciona cal para el control de vectores. Para finalizar, estos lodos se almacenan en tulas en un cuarto, en donde están protegidos de los cambios climáticos. (Ver ficha técnica de la cal en el **Anexo C**).

Tabla 3. Características del agua que sale a la quebrada la Carbonera.

PARÁMETRO	UNIDADES	RESULTADO	Valores máximos Resolución 0631
Caudal promedio	L/s	18	
DBO5	mg O ₂ /L	<8	90
DQO	mg O ₂ /L	70	180
Grasas y aceites	mg/L	16	20
SAAM (Tensoactivos)	mg/L	0.11	-
Color	UPC	9	
Ph	Unidades pH	7.05-7.45	6-9
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	19	90
Temperatura	°C	24.5-28.1	-

Figura 7. Aireadores.



Figura 8. Sopladores.



Figura 9. Agitador sumergible.



2.2 MUESTREO DEL LODO

El objetivo del muestreo como lo indica la NTC-ISO 5667-13 es:

- “Suministrar datos para la operación de instalaciones para el tratamiento de lodos.
- Determinar la concentración de contaminantes en los lodos de aguas residuales para su disposición final en rellenos sanitarios.
- Determinar si los límites establecidos de la sustancia se infringen cuando los lodos se usan en agricultura.
- Facilitar investigaciones especiales sobre el desarrollo de nuevos equipos y procesos.
- Optimizar costos: por ejemplo, para el transporte de lodos para tratamiento y/o disposición final”.¹⁷

Existen diferentes tipos de muestras:

- **Compuesta.** Son muestras aleatorias o continuas, tomadas de apilamientos, lodos líquidos o en torta.¹⁸
- **Aleatoria o puntual.** Es una muestra que se toma aleatoriamente de un líquido o un flujo de torta en un transportador o de un solo punto en la muestra, en una pila.¹⁹

¹⁷ NTC-ISO 5667-13

¹⁸ *Ibid.*,

¹⁹ *Ibid.*,

La toma de muestras se realiza acorde a las indicaciones de cada laboratorio en el cual se van a realizar las pruebas. Algunos tipos de muestreo son:

2.2.1 Muestreo para contenido de metales pesados. Para obtener unas muestras eficientes para el desarrollo del análisis, 800gramos de lodos residuales se toman en bolsas plásticas de cierre hermético rotuladas.

2.2.2 Muestreo para análisis microbiológico. Dentro de este muestreo se puede encontrar análisis para: huevos de helminto en donde se utiliza un recipiente de plástico aproximadamente de 8 litros de capacidad, previamente esterilizado. Este recipiente en la mayoría de los casos, el laboratorio al cual se contrata para realizar estos análisis, hace entrega del recipiente.

Para el análisis de enterobacterias, la muestra se recoge en un recipiente de vidrio aproximadamente de 700 ml de capacidad, también previamente esterilizado

2.3 CARACTERIZACIÓN DEL LODO

De acuerdo con el decreto 1287 del 10 de julio del 2014, “por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”²⁰; El tratamiento de aguas residuales municipales combina una serie de procesos de tipo físico, químico y biológico, considerados tratamientos primarios y secundarios en su mayoría, cuyo resultado es la producción de residuos o subproductos llamados lodos, los cuales deben ser sometidos a procesos de estabilización para reducir la carga contaminante, y al final se obtiene un producto denominado “biosólidos”. Estos biosólidos poseen características físicas, químicas y microbiológicas que deben ser evaluadas para determinar una adecuada disposición”²¹.

A continuación, se evidencia en la **Tabla 4** las variables de caracterización de biosólidos tal cual como lo indican en el decreto anteriormente descrito.

²⁰ Decreto 1287 del 10 de julio del 2014.

²¹ *Ibid.*,

Tabla 4. Variables de caracterización de biosólidos para su uso.²²

CRITERIO	VARIABLE
QUÍMICOS – METALES	Arsénico (As)
	Cadmio (Cd)
	Cobre (Cu)
	Cromo (Cr)
	Mercurio (Hg)
	Molibdeno (Mb)
	Níquel (Ni)
	Plomo (Pb)
	Selenio (Se)
	Zinc (Zn)
MICROBIOLÓGICOS	Coliformes Fecales
	Huevos de Helminto viables
	<i>Salmonella sp.</i>
	Virus Entéricos

Debido a inconvenientes internos de la empresa, la caracterización del lodo residual se realizó bibliográficamente, por medio de una investigación de diferentes proyectos de grado en diferentes municipios del país, en donde se tuvo en cuenta, la cantidad de población, con el fin de realizar una comparación de un municipio con otro. También se tuvo en cuenta que los lodos residuales se generaran durante el tratamiento secundario y que el tratamiento de la PTAR de los municipios fuera biológico aerobio como el de la PTAR la Carbonera. Los proyectos de los cuales se tomó la caracterización del lodo son los siguientes:

- **Proyecto No. 1. “Factibilidad de aprovechamiento de los lodos residuales de la PTAR del municipio de Chinavita- Boyacá “.** Este proyecto fue realizado por Martha Lucia Balderrama Pedraza, para obtener el título de Magister en desarrollo sostenible y medio ambiente, en la Universidad de Manizales en el año 2013.

Chinavita es un municipio pequeño de Boyacá, con aproximadamente 3.215 habitantes²³, con un clima promedio de 20°C²⁴. Dentro de este proyecto, se determina el tipo de lodo en la PTAR de Chinavita y las posibilidades de manejo. Estos resultados se dan por medio de un muestreo compuesto que se le realizó a los lodos para la determinación del contenido de los mismos. El tratamiento seleccionado fue estabilización química por la facilidad de implementación en la reducción de patógenos, para que puedan ser utilizados en plantaciones forestales, en la recuperación de suelos degradados y en la elaboración de abonos y enmiendas.

²² *Ibíd.*,

²³ Chinavita Boyacá. Censo del año 2015. Disponible en: <http://www.chinavita-boyaca.gov.co/indicadores.shtm> l#poblacion.

²⁴ *Ibíd.*,

- **Proyecto No. 2. “Informe de las condiciones técnicas generales de los lodos residuales producidos en la PTAR el Salitre en Bogotá”²⁵.** Este documento hace parte de una ficha técnica de los lodos generados en la PTAR el Salitre, los cuales son generados por 22 mil hogares y son removidos del sedimentador en un tratamiento secundario.

De acuerdo al último censo realizado en Colombia en el año 2015, hay 3,4 personas por cada hogar en la ciudad de Bogotá, lo que quiere decir que aproximadamente en esta PTAR se producen lodos de 74.810 personas. Dentro de este informe describen las características generales de los lodos producidos, sus condiciones iniciales y finales.

- **Proyecto No. 3. “Propuesta de producción de abono orgánico mediante un proceso de compostaje con los residuos sólidos orgánicos del municipio de Silvania – Cundinamarca.** Este proyecto fue realizado por Natalia Sanabria Ortiz y por Jessica Paola Segura para obtener el título como ingeniero químico en la Universidad América en el año 2015.

La finalidad de este proyecto es darle un aprovechamiento adecuado a los residuos sólidos del municipio al igual que a la materia orgánica generada por los 21.712²⁶ habitantes. Para llevar a cabo el compostaje, realizaron análisis característicos con muestras compuestas a los lodos provenientes de la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de Silvania. Estos lodos fueron generados por un tratamiento de aguas residuales en donde son sedimentados después de un tratamiento secundario de aguas residuales domésticas.

- **Proyecto No. 4. “Diseño básico de la planta de tratamiento de lodos generados en el sistema de potabilización de aguas de la empresa acueducto, alcantarillado y aseo Madrid- Cundinamarca”.** La empresa de aseo del municipio de Madrid, al tratar el agua residual de 77.828²⁷ habitantes, genera lodos, los cuales tienen que ser tratados para poder darles un aprovechamiento adecuado. La finalidad de este proyecto es diseñar una planta de tratamiento químico de lodos. Estos son extraídos después de una sedimentación en un tratamiento secundario de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo con lo anterior, se puede considerar que los proyectos se pueden utilizar como referencia para la caracterización del lodo debido a que en todos se cumplió que los lodos residuales son producto de un tratamiento secundario.

²⁵ AGUA DE BOGOTÁ. Condiciones técnicas generales PTAR el Salitre en Bogotá. Disponible en: <http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/aguasbogota/resources/CondTecDisCont.pdf>.

²⁶ SILVANIA. Número de habitantes. Disponible en: <http://www.silvania-cundinamarca.gov.co/indicadores.shtml#poblacion>.

²⁷ MADRID. Número de habitantes. Disponible en: <http://madrid-cundinamarca.gov.co/indicadores.shtml#poblacion>.

2.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS TRABAJOS EXPUESTOS

Para llegar a un análisis de caracterización inicial de lodos, fue importante revisar los resultados de los proyectos, realizar una comparación numérica y analizar los resultados y las conclusiones obtenidas de cada uno, determinando los criterios que se salen del rango máximo permisible por el decreto 1287.

A continuación, se refleja en la **Tabla 5** los resultados de estos cinco proyectos para sacar las conclusiones adecuadas para el presente proyecto y así poder continuar con la investigación de aprovechamiento de lodos residuales de la PTAR la Carbonera.

Tabla 5. Resultados de las características de los lodos de cada proyecto.

Parámetros	Chinavita	PTAR El Salitre	Silvania	Madrid	Valores máximos permisibles (Decreto 1287)	
					Lodo tipo A	Lodo tipo B
Arsénico (As)	<0,500	11	0,725	0,004	20	40
Cadmio (Cd)	<0,500	5,9	0,95	0,008	8	40
Cobre (Cu)	92,190	177,2		0,060	1.000	1.750
Cromo (Cr)	<0,500	76,7		<0,01	1.000	1.500
Mercurio (Hg)	0,705	2,6	0,351	<0,001	10	20
Molibdeno (Mb)	<0,500	4,2			18	75
Níquel (Ni)	10,432	39,2			80	420
Plomo (Pb)	41,014	88,1	2,8	<0,01	300	400
Selenio (Se)	4,420	5,0		<0,01	36	100
Zinc (Zn)	679,035	1.072,6		0.01	2.000	2.800
Coliformes fecales	>16.000	4.000	>1.000	>10.000	<1E+3	<2E+6
Huevos de Helminto	148,5	174			<1	<10
Salmonella sp	-	4,2	-	-	Ausencia	<1E+3

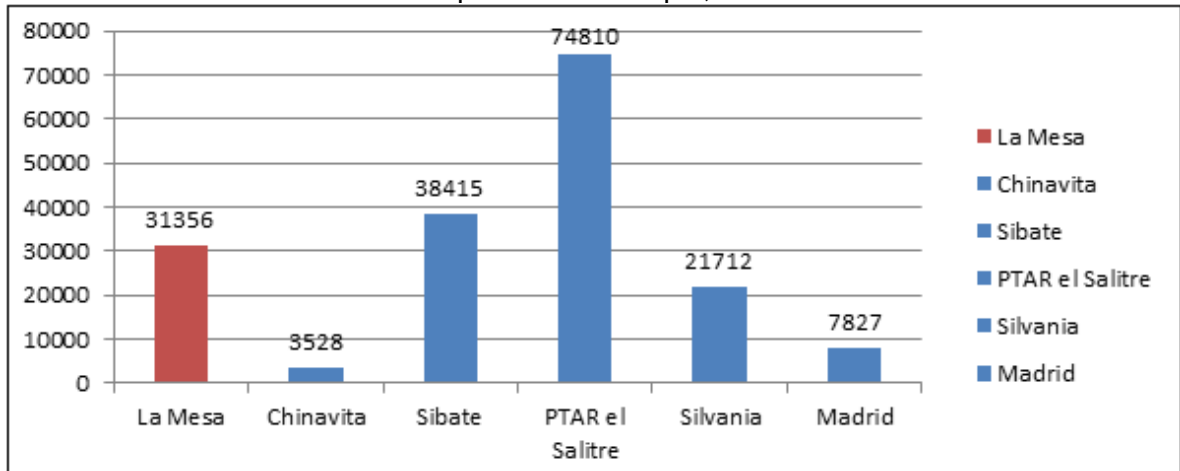
De acuerdo con la tabla anterior se puede considerar que en todos los proyectos se realizaron los mismos análisis que requiere el decreto 1287. No obstante se puede resaltar que los valores en los parámetros de metales pesados, se encuentran dentro de los valores máximos permisibles.

Para los parámetros microbiológicos, se puede concluir que en toda la información que se tiene como base para esta primera caracterización, los valores incumplen la norma, lo que quiere decir que se tiene que realizar un tratamiento a estos lodos para disminuir la concentración de microorganismos patógenos (Coliformes fecales, Coliformes totales, huevos de helminto y *salmonella sp.*) y así poder darles un

aprovechamiento,²⁸ siendo la misma conclusión de los autores de los proyectos anteriores.

Otro de los factores importantes para realizar la investigación fue determinar la influencia de la cantidad de habitantes que producían lodos en los diferentes municipios, para esto se realizó una comparación de los resultados investigados de cada municipio y de la PTAR el Salitre, con respecto a la Mesa. (Ver **Gráfica 1**).

Gráfica 1. Cantidad de habitantes por cada municipio, Censo 2015.



Como se mencionó anteriormente, los resultados de los análisis característicos de los diferentes proyectos, reflejan las mismas conclusiones en cuanto a la reducción de microorganismos patógenos. Con la **Gráfica 1** se puede evidenciar que sin importar la cantidad de personas de un municipio con el otro, los resultados serán los mismos, por ejemplo, si se realiza una comparación del municipio de la Mesa con Chinavita, la Mesa tiene 27.828 más habitantes, es decir, un 89% de incremento en la población con respecto a Chinavita Boyacá, y aun así, los resultados reflejan que lodos residuales exceden los valores de los parámetros microbiológicos.

Como bien se dijo anteriormente en la PTAR el Salitre, se produce una cantidad de lodos de 22 mil hogares, es decir 74.810 personas de Bogotá, por lo tanto, se está hablando de 43.454 personas más en comparación con la Mesa. Al comprar los resultados de los análisis de la caracterización de los lodos, la PTAR el Salitre también concluye que se debe realizar una reducción de microorganismos patógenos para poder aprovechar debidamente estos lodos.

Lo que se concluye que sin importar la cantidad de habitantes que haya en el municipio, mientras los lodos generados sean en un tratamiento secundario, extraídos de un sedimentador, las características de estos son relativamente las mismas, y los lodos residuales domésticos, tienen que ser tratados para la reducción

²⁸ Decreto 1287 del 10 de julio del 2014 párrafo 2, artículo 5.

de los microorganismo patógenos para así poderles dar un aprovechamiento adecuado.

De acuerdo con el decreto 1287 en el artículo 5, estipula que “los biosólidos que no se usen de acuerdo con los valores máximos, deberán disponerse o ser tratados hasta cumplir con los valores establecidos en las categorías A o B para viabilizar su uso”.

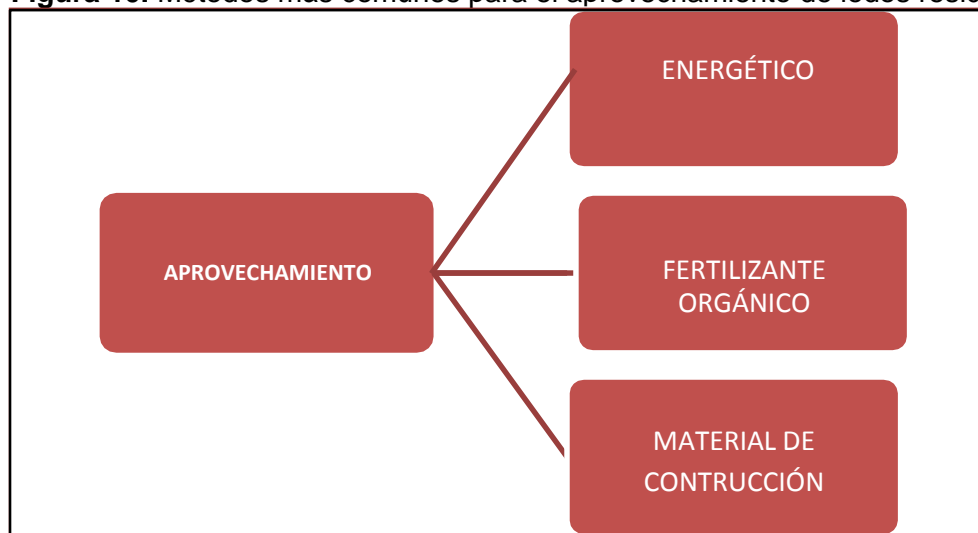
3. SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PTAR

A lo largo de este capítulo, se seleccionó una alternativa de aprovechamiento de acuerdo a los resultados de la **Tabla 5**, donde se evidenció que los parámetros químicos se encontraron dentro de los valores máximos permitidos; lo que es una gran ventaja a la hora proponer las alternativas ya que el lodo es catalogado como un lodo no peligroso, lo que facilita su aprovechamiento.²⁹

3.1 IDENTIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS

El manejo y la disposición de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, trae consigo una serie de problemas ambientales, económicos y tecnológicos para las diferentes empresas. No obstante, estos pueden traer beneficios de acuerdo al tratamiento o destino de los mismos. Las principales alternativas de aprovechamiento y las más comunes, son fuente de energía, mejoradores de suelos o material en la construcción³⁰. (Ver **Figura 10**)

Figura 10. Métodos más comunes para el aprovechamiento de lodos residuales.



Fuente: COLOMER Francisco & GALLARDO Antonio. Tratamiento y gestión de residuos sólidos. Valencia –España.

3.1.1 Aprovechamiento energético. Es una forma de aprovechamiento de los lodos residuales, por medio del biogás obtenido como subproducto durante la digestión anaerobia (Ver **Cuadro 2**), liberando energía y convirtiendo la materia orgánica en metano, dióxido de carbono y agua. La digestión anaerobia tiene como propósito producir un compuesto final estable, es decir, un lodo residual sin

²⁹ Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/repamar/gtzproye/lodos/lodos.html>

³⁰ LIMON, Juan. Los lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ¿problema o recurso?. México. 2016.

presencia de microorganismos patógenos³¹, lo cual es importante ya que en el diagnóstico los parámetros microbiológicos no cumplieron con los valores máximos permisibles según el decreto 1287.

Para la digestión anaerobia, se puede realizar el proceso en un digester con capacidad de 0,5kg SV/m³d hasta de 8 kg SV/m³d³², obteniendo grandes beneficios debido al porcentaje de metano en el gas (65-70%)³³

Cuadro 2. Ventajas y desventajas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Los lodos que están parcialmente tratados se digieren de mejor forma. • Mayor velocidad en la reducción de sólidos volátiles. • Mayor recuperación del lodo como fertilizante. • Ausencia de olores. • Proceso microbiológico sencillo. • Buena inactivación de patógenos 	<ul style="list-style-type: none"> • Limitación de cargas orgánicas • Requerimiento de grandes áreas. • Requiere de mucha energía eléctrica para el funcionamiento del digester. • Altos costos de operación por los requerimientos energéticos. • Alta inversión inicial. • Mayor síntesis de células nuevas, que hace necesaria su digestión antes de sacarlos para su disposición.

Fuente: COLOMER Francisco & GALLARDO Antonio. Tratamiento y gestión de residuos sólidos. Valencia – España. p. 212.

3.1.2 Aprovechamiento como fertilizante orgánico. Los lodos mejoran las propiedades del suelo, proporcionando nutrientes, para esto se han usado lodos crudos, lodos deshidratados, lodos incinerados, lodos secos, lodo digerido y lodo compostado. Antes de ser usados como fertilizante orgánico, se tiene que cerciorar que estos no sean un residuo peligroso³⁴, lo cual se cumple de acuerdo al diagnóstico inicial (ver Tabla 5) que se realizó a los lodos de la PTAR la Carbonera.

Los nutrientes obtenidos en los fertilizantes orgánicos por medio del compostaje tienen varias ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos, ya que estos

³¹ COLOMER, Francisco & GALLARDO Antonio. Op., Cit.,

³² LIMON, Juan. Op., Cit., p.261.

³³ Ibid.,

³⁴ TEJEDA Lesly. Op., Cit,

pueden ser incorporados lentamente,³⁵ debido a la degradación de la materia orgánica de los lodos por la acción de los microorganismos en condiciones controladas, dejando un producto higienizado, el cual puede aprovecharse como fertilizante orgánico o aplicarlo al suelo como sustrato.

El compostaje consta de algunas operaciones básicas: mezclado, descomposición, clarificación, recirculación, curado, almacenamiento y si este cumple con algunas normas requeridas se puede comercializar³⁶. Para esto, es necesario controlar ciertas variables como la temperatura, pH, contenido de humedad, y relación C/N.

El compostaje es un proceso sencillo para la producción de fertilizantes orgánicos o abono, el cual no necesita un operario capacitado para llevar a cabo el proceso y el control del mismo. Es importante tener un área suficiente dependiendo de la cantidad de compost que se vaya a producir, ya que materiales vegetales, estiércol, lodos residuales, compost listo, se mezclan en espacios abiertos con el fin de permitir la fermentación a través de la acción microbiana natural en diferentes etapas.

3.1.3 Aprovechamiento como material de construcción. Una de las alternativas para el aprovechamiento de los lodos residuales es en el sector de la construcción. Se han realizado investigaciones acerca de esto, en donde una de la más importante fue la de Dillon en el año 1996, donde propone la adición de lodos residuales para la elaboración de cemento, ladrillos, hierro y acero.³⁷ En el Reino Unido, en el año 2004 un autor anónimo, planteo la elaboración de morteros mediante el uso de lodos residuales, calentando el lodo a presión por un determinado tiempo, donde la temperatura requerida es aproximadamente de 260°C.³⁰ Lo que quiere decir que también es un proceso costoso por el alto valor de la energía requerida para poder llegar a estas temperaturas dentro de un horno. También es importante especificar el nivel de peligrosidad que se manejaría durante la estabilización por el nivel de temperatura, adicional a esto, subproductos como cenizas, y el humo, se generan emisiones a la atmosfera afectando el medio ambiente y generando peligro a la salud de los trabajadores y las personas que habitan en la zona.

La construcción de un alto horno, su mantenimiento, funcionamiento y la adecuación del suelo para llevar a cabo el proceso térmico, son condiciones elevadas que requieren de una gran inversión para lograr que el proceso sea exitoso, por lo tanto, se requeriría a un operario que tenga conocimiento pleno del tema para así no generar pérdidas.

³⁵ LIMON, Juan. Op., Cit.,

³⁶ RAMALHO, Rubens Sette. Tratamiento de aguas residuales.

³⁷ Ibid.,

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los criterios que se van a mencionar a continuación fueron seleccionados de acuerdo a las necesidades de la empresa.

3.2.1 Tiempo de implementación. La PTAR la Carbonera es una planta de tratamiento de agua residual nueva, a la cual le están realizando un proceso de certificación ambiental, lo que quiere decir que es de mayor importancia un tratamiento con resultados a corto plazo para evitar multas por no tener una propuesta lo antes posible para darle un adecuado aprovechamiento a los lodos generados.

3.2.2 Operatividad del proceso. Aguas del Tequendama busca que el proceso a realizarle a los lodos generados sea simple, para no tener que invertir en expertos, si no que el operario de la planta se pueda encargar de llevar a cabo este proceso.

3.2.3 Área disponible. Se busca que la propuesta a estudiar no requiera de otras áreas diferentes a las que la PTAR la Carbonera tiene (500m²).

3.2.4 Costos de inversión, operación y mantenimiento. Como toda empresa que lleva a cabo un proyecto, es de suma importancia el tipo de inversión que se va a realizar, el costo mensual que se tendría que pagar al personal encargado de llevar a cabo el proceso y no menos importante que el tipo de mantenimiento que se realice ya sea periódico o a largo plazo no tenga un alto valor. La empresa aguas del Tequendama, busca una reducción de gastos ya que se está pagando altos costos para la disposición de los lodos residuales.

3.3 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Existen diferentes tipos de metodologías para la selección de la alternativa. Estos pueden ser por un método estadístico o por juicio de expertos, con el fin de llegar a una respuesta factible y equilibrada entre varias opciones teniendo en cuenta investigaciones recientes. Un método útil para el proyecto es la Matriz de selección.

Una matriz de selección consiste en realizar una evaluación mediante criterios, los cuales varían según el proyecto a realizar. Después, los mejores criterios para la matriz se deben comparar entre sí, otorgándoles valores según el nivel de importancia, considerando como referencia a que estos valores deben de ser estimados por expertos en el tema los cuales cuentan con experiencia, intuición y juicio, aunque también se consideran por medio de referentes bibliográficos y/o investigaciones realizadas con credibilidad.

El siguiente paso es evaluar cada tratamiento con base a cada criterio considerado lo anterior. Por último se realizó una multiplicación de los valores de importancia entre los criterios y las alternativas de aprovechamiento evaluados en cada uno de

ellos para concluir que el que tenga mayor valor en un puntaje final será la elección correcta, que en este proyecto sería el aprovechamiento que presenta mejor comportamiento con los lodos residuales

A continuación, se realizó la matriz de Pugh para la evaluación de la alternativa más viable para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR la Carbonera en la empresa regional aguas del Tequendama. Para esto se procedió a realizar una tabla de conceptos donde se relacionan de la siguiente manera: lo favorable con un valor de positivo (+) (1 punto), lo medianamente favorable con un valor de igual (=) (0 puntos) y lo no favorable con un valor de negativo (-) (-1 punto). (Ver **Cuadro 3.**)

Cuadro 3. Conceptos y su valoración.

CONCEPTOS	VALORACIÓN
Favorable	+ Positivo
Medianamente favorable	= Igual
No favorable	- Negativo

En segundo lugar, se procede a calificar los criterios previamente escogidos de acuerdo con la necesidad de la empresa por un nivel de importancia donde 4 es el más importante y 1 el menos importante (Ver **Cuadro 4**).

Una vez valorados los criterios, se efectuó la matriz de Pugh, y la tabla de la matriz de positivos y negativos para el proyecto. (Ver **Cuadro 5** y **Tabla 6**).

Cuadro 4. Nivel de importancia de criterios.

CRITERIO	NIVEL DE IMPORTANCIA
Tiempo de implementación	4
Operatividad del proceso	2
Área disponible	1
Costos “inversión, operación y mantenimiento”	3

Cuadro 5. Matriz Pugh.

MATRIZ PUGH					
<p><u>Tabla de Conceptos</u></p> <p>FAVORABLE + MEDIANAMENTE FAVORABLE = NO FAVORABLE -</p> <p>Criterios</p>	Alternativas				
	Nivel de Importancia	Comparación	Aprovechamiento energético	Aprovechamiento como fertilizante orgánico	Aprovechamiento como material de construcción
Tiempo de implementación	4	=	+	=	+
Operatividad del proceso	2	=	+	+	-
Área disponible	1	=	+	+	+
Costos "Inversión, operación y mantenimiento"	3	=	-	+	-
SUMA POSITIVOS			3	3	2
SUMA NEGATIVOS			1	0	2
SUMA IGUALES			0	0	0
SUMA PONDERADA DE POSITIVOS			3	3	2
SUMA PONDERADA DE NEGATIVOS			1	0	2
TOTALES			2	3	0

Tabla 6. Matriz positivos y negativos.

POSITIVOS				NEGATIVOS			
0	4	0	4	0	0	0	0
0	2	2	0	0	0	0	2
0	1	1	1	0	0	0	0

Al realizar la comparación de los criterios con las alternativas de aprovechamiento, se concluyó que la mejor alternativa para los lodos residuales es el aprovechamiento como fertilizante orgánico, ya que tiene la mayor puntuación de 3 en comparación con el aprovechamiento energético que obtuvo una puntuación de 2.

4. EVALUACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

4.1 METODOLOGÍA DE DESARROLLO

La mezcla de lodos residuales y compost en pilas es una alternativa para disminuir el nivel de contaminantes que presentan los lodos, el principio fundamental consiste en ir reduciendo el nivel de contaminantes aumentando la mezcla de compost. “Los lodos residuales, son una alternativa válida para el mejoramiento de suelos, pero bajo ningún punto de vista, es conveniente su aplicación directa, los mismos deben ser sometidos a un proceso de compostaje, que permitirá estabilizar la materia orgánica existente, disminuir o eliminar el contenido de sustancias fitotóxicas de naturaleza orgánica y los microorganismos patógenos existentes”³⁸

Para llevar a cabo la alternativa como fertilizante orgánico, se les realizó una prueba piloto a los lodos producido en la PTAR la carbonera, para evaluar si el lodo residual compostaba o no, para así obtener un abono que puede ser aprovechado de acuerdo con las características obtenidas.

La metodología a seguir para llevar a cabo este proceso fue la siguiente: (ver **Tabla 7**)

Tabla 7. Factores a considerar en el proceso de compostaje³⁹

Factores a considerar	Intervalo aceptable.	Frecuencia de medición
Temperatura en la etapa termófila (°C)	Entre 45 a 55	Diario
Ph	De 5.5 a 8	Cada 2 días
Contenido de humedad en la mezcla (%)	De 40-60	Diaria
Aireación o volteo		Cada 3 días
Relación C/N (%)	De 15 a 25	Antes de iniciar el compostaje

De acuerdo con los autores Luis Sepúlveda y John Alvarado, en el documento titulado Manual Del Compostaje, el tiempo ideal para llevar a cabo este proceso es de 30 días sin la etapa de maduración, la cual podría tardar de uno a dos meses dependiendo la calidad de abono que se desee⁴⁰. También los autores Pilar Martínez y Alberto Pantoja, del Manual De Compostaje Experiencias De América Latina, hacen referencia que el proceso de compostaje antes de la etapa de maduración, puede tardar de 2 a 5 semanas⁴¹, con lo que se llegó a la conclusión de que el proceso de compostaje de los lodos de la Carbonera, se llevaría a cabo en un periodo de 30 días.

³⁸ DECRETO 1287 DE 2014. Op., Cit.,

³⁹ Chiumenti A, Chiumenti R, Díaz, Savage, Eggerth, & Goldstein, Manual de compostaje.2005

⁴⁰ SEPULVEDA, Luis & ALVARADO John. Manual del compostaje. Medellin-Colombia 2013

⁴¹ ROMAN, Pilar; MARTÍNEZ, María & PANTOJA, Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias de américa latina. Santiago de Chile. 2013. p.25

Como se mencionó en el capítulo anterior, en la sección 2.1.2 el lodo residual de la Carbonera está parcialmente estabilizado ya que los operarios después de ponerlos a secar le adicionan cal (Hidróxido de Calcio).

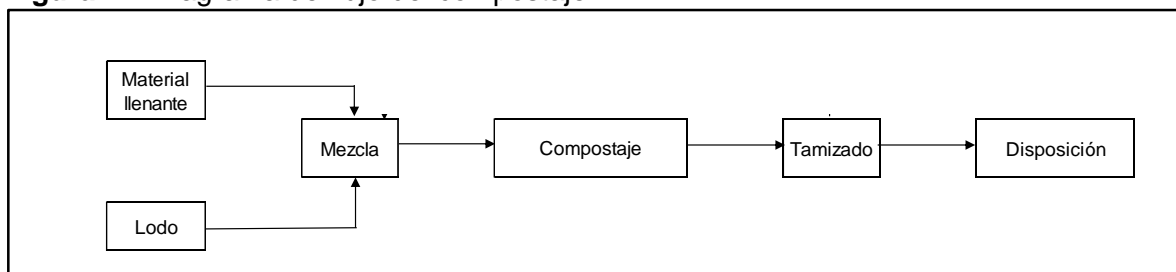
De acuerdo al decreto 1287, en el artículo 3, se entiende por materiales de complemento o mezcla de biosólido, los materiales que cuentan con propiedades para mejorar las características de los lodos, los cuales pueden provenir de procesos de compostaje, humificación o lombricultura. El autor German Tortosa en el artículo “Cubrir Las Pilas Con Compost Maduro Elimina Mejor Los Patógenos Durante El Compostaje”, hace referencia que si se realiza un proceso de compostaje con compost maduro, elimina de mejor manera los microorganismos patógenos presentes en el lodo residual en un tiempo más corto que si se realiza solo con desechos orgánicos⁴². También en el proyecto de grado de Guillermo Gonzales y Alberto Díaz de la universidad libre, realizaron un proceso de compostaje con compost maduro para la reducción de parámetros microbiológicos para caracterizar el lodo de la PTAR el Salitre como lodo tipo A, de acuerdo al decreto 1287⁴³. Conforme a estos estudios realizados por los autores, y dado a que la PTAR la Carbonera, al ser una planta nueva, está en proceso de certificación ambiental por medio de la CAR “Corporación Autónoma Regional De Cundinamarca”, se optó por realizar el proceso de compostaje con compost maduro o abono ya estabilizado el cual fue realizado por una empresa externa. Lo que quiere decir, que en este proyecto no se realizará un compostaje típico, ya que el contenido de materia orgánica no es el mismo, y por este motivo las curvas de los parámetros a seguir varían con respecto a las típicas curvas de un compostaje.

Se describe a continuación en la **Figura 11** el diagrama de flujo del proceso de compostaje que se llevó a cabo a lo largo de esta sección, teniendo en cuenta que el lodo que entra a ser mezclado manualmente es el lodo producido durante el tratamiento de aguas residuales y que el material llenante es el abono ya estabilizado (Ver ficha técnica en el **Anexo D**).

⁴² TORTOSA, Germán. Cubrir las pilas con compost maduro elimina mejor los patógenos durante el compostaje. 2015.

⁴³ GONZÁLEZ Guillermo & DÍAZ, Alberto. Análisis de alternativas para ajustar de categoría B a categoría A los biosólidos generados en la PTAR el Salitre según con lo dispuesto en el decreto 1287 de 2014. 2015.

Figura 11. Diagrama de flujo del compostaje.



4.2 EXPERIMENTACIÓN

Como bien se ha dicho a lo largo de este proyecto, la empresa regional aguas del Tequendama cuenta con unos lodos almacenados de meses anteriores, los cuales sumaban una cantidad de 2 toneladas (Ver **Figura 16**), lo que fue favorable a la hora de desarrollar la propuesta, ya que se podría realizar más de una prueba experimental.

Antes de llevar a cabo la experimentación, fue necesario realizarle las siguientes pruebas al lodo que se iban a compostar, para tener conocimiento de sus características fisicoquímicas. (Ver **Tabla 8**)

Tabla 8. Condiciones iniciales de lodo de la PTAR la Carbonera.

Parámetros	Datos
Temperatura	18,6°C
Ph	6,51
%Humedad	43,56
Relación C/N	5,46
Densidad	0,9986 g/m ³

Los métodos que se siguieron para los resultados de las condiciones anteriormente descritas se realizaron como se indica en la NTC 5167 en el artículo 5 “métodos de ensayo”

Para la relación C/N, se contrató a un laboratorio externo el cual se encargó de analizar este parámetro. En el **Anexo E** Se adjunta el resultado obtenido de este análisis.

Dado a que el valor para la relación C/N ideal para llevar a cabo el proceso de compostaje es de 25:1⁴⁴, y el resultado obtenido es 5,46, se optó por realizar dos pruebas experimentales con diferentes concentraciones de lodos residuales y abono, las cuales se compararon con una prueba experimental cero a la cual no se le adicione contenido de abono.

⁴⁴ SEPULVEDA, Luis & ALVARADO John. Manual del compostaje. Medellín-Colombia 2013.

Las dos pruebas experimentales se realizaron en 2 pilas diferentes. Con la densidad obtenida y la cantidad de lodos producidos mensualmente (1 tonelada), se realizó el cálculo del volumen de las pilas de la siguiente manera⁴⁵: (Ver **Ecuación 5**).

Ecuación 5. Volumen de las pilas.

$$V = \frac{1.000.000g \text{ lodo producido mensual}}{0,9986 \frac{g}{m^3}} =$$

$$\frac{1.001.402 \text{ volumen de las pilas}}{2 \text{ cantidad de pilas}} = 500.700g \text{ cada pila}$$

Es decir que cada pila se realizó de 500kg al igual la prueba cero. (Ver **Figura 12**). Las concentraciones de las pilas, se hicieron una con 20% de abono y la otra con el 40% ya que para el proceso de compostaje, es recomendable no usar concentraciones de materia orgánica y/o material llenante con más del 50% ⁴⁶(Ver **Tabla 9** y **Figura 13**).

Tabla 9. Concentraciones de las pilas.

Pilas	Cantidad de Lodo	Cantidad de Abono	Total
Pila # 1	500 kg	100%	500 kg
Pila # 2.	400 kg	80%	500 kg
Pila # 3.	300 kg	60%	500 kg

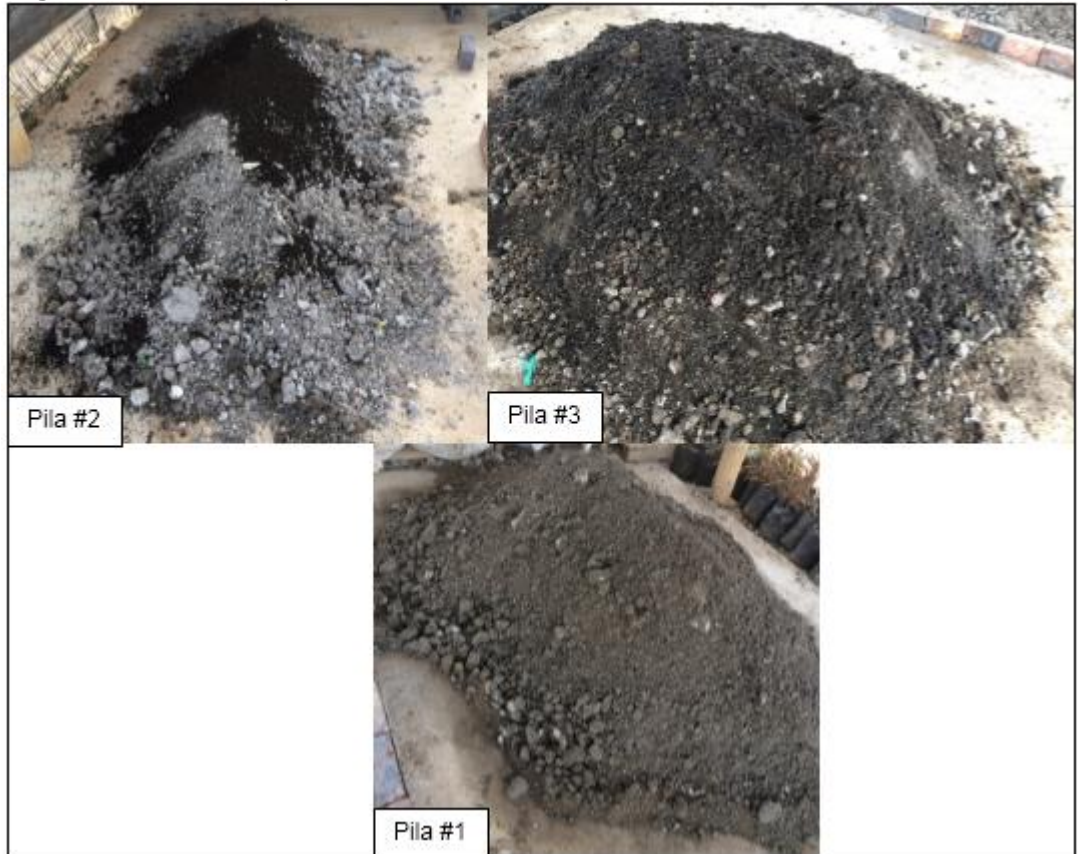
Figura 12. Lodos almacenados en la PTAR la Carbonera.



⁴⁵ Ibid.,

⁴⁶ GONZALEZ., Op cit.

Figura 13. Pilas 1, 2 y 3.



Las pilas se hicieron en un cuarto de almacenamiento, el cual estaba en condiciones adecuadas para proteger de la lluvia a las pilas. No obstante, al tercer día de iniciar el proceso de compostaje, se procedió a acondicionar el sitio ya que era necesario hacer una especie de invernadero para mantener el ambiente del interior caliente, y así evitar la pérdida de calor. (Ver **Figura 14**).

Figura 14. Lugar donde se llevó a cabo el compostaje.



Para la construcción de la pila es recomendable realizarla de forma trapezoidal de 1m de ancho x 1,10m de alto y de 1,50m a 4m de largo⁴⁷. Se contaba con que el sitio en donde se llevó a cabo la experimentación tiene: 8m de ancho x 4 metros de largo x 2,5metros de alto.

Con las medidas del sitio y la recomendación de cuanto tiene que medir aproximadamente una pila, se procedió a realizarlas de la siguiente forma: 1,5m de largo x 1m de ancho por 1,10m de alto. Las tres pilas se realizaron de la misma manera, dejando un espacio entre pilas de aproximadamente de 1,2m para que a la hora de realizar el volteo, se puedan mezclar adecuadamente para que quede bien aireada.

Las mediciones de los parámetros a controlar se realizaron de la siguiente manera:

Para la temperatura se utilizó un termómetro de laboratorio (ver **Figura 15**), para el pH se utilizó un multímetro *gro line hanna* (ver **Figura 16**) el cual también toma la temperatura y de esta manera se comparan las temperaturas obtenidas con el termómetro y el multímetro. La humedad se realizó de dos maneras: la primera empíricamente como se especificó anteriormente en la sección 1.5.1 B y la otra en un laboratorio siguiendo la NTC 5197 artículo 5, como se le realizó a los lodos al inicio de la experimentación. La aireación se realizó manualmente con una pala.

Figura 15. Termómetro.



⁴⁷ *Ibid.*,

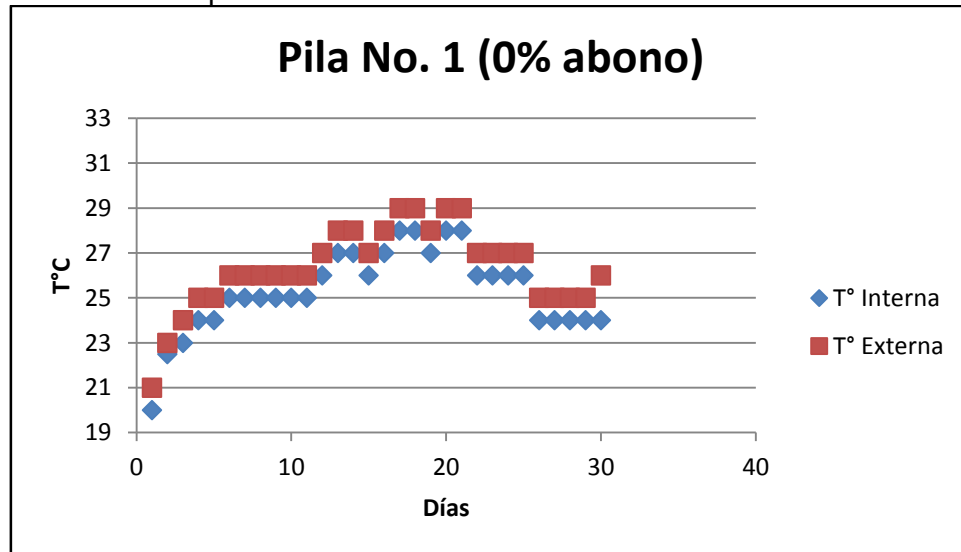
Figura 16. Multímetro.



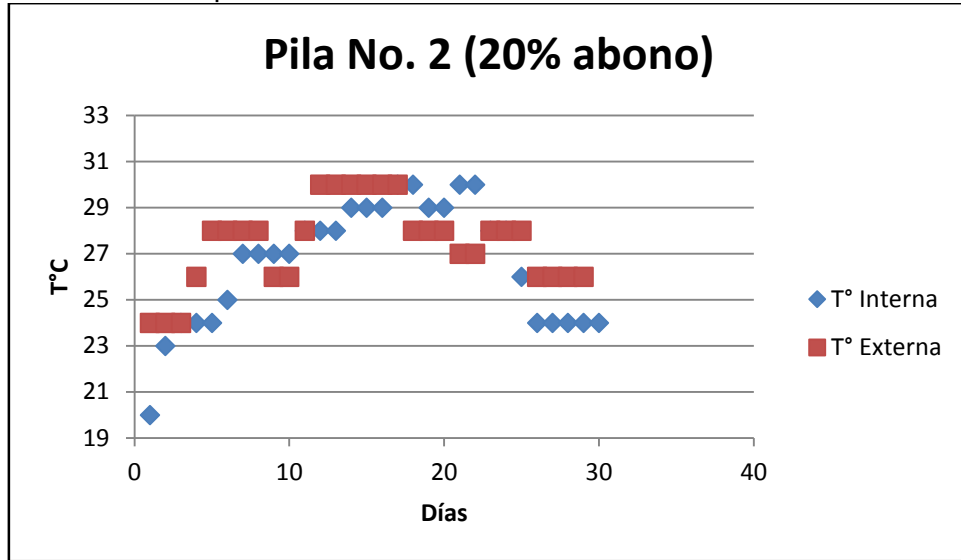
4.3 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN

4.3.1 Temperatura. Como se indica en la tabla anterior, la temperatura se midió todos los días en cuatro puntos diferentes de la pila: parte externa superior, externa lateral, interna lateral y centro. De los valores obtenidos de la parte interna se realizó un promedio, y de este mismo modo se hizo con los valores externos, obteniendo de esta manera la temperatura interna y externa de las pilas. (Ver **Gráfica 2**, **Gráfica 3** y **Gráfica 4**).

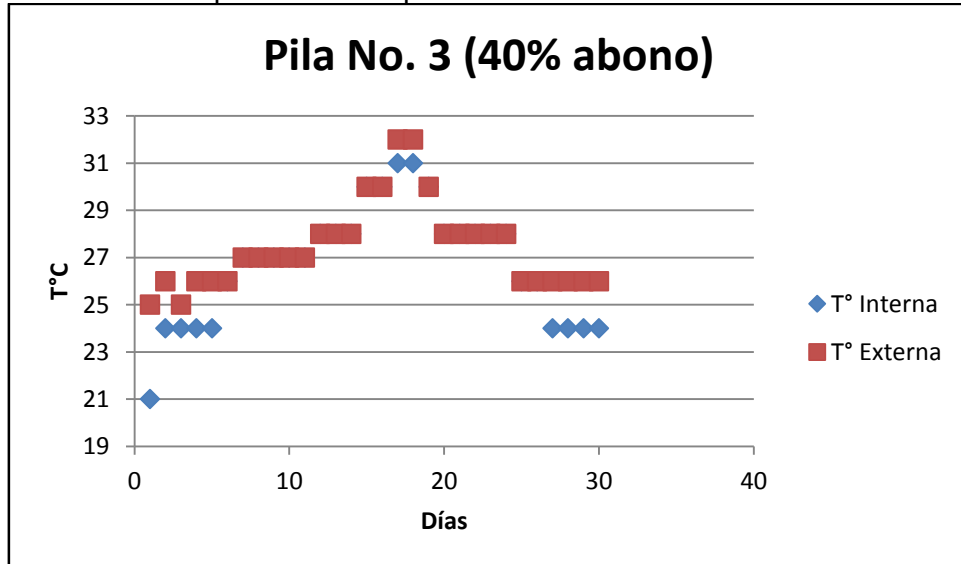
Gráfica 2. Temperatura en la Pila No. 1.



Gráfica 3. Temperatura en la Pila No. 2.



Gráfica 4. Temperatura en la pila No. 3.



Con las **Gráficas 2, 3 y 4**, se puede resaltar que el control de la temperatura, gracias a los volteos periódicos que se le realizaban a cada pila, fue ideal, ya que como se mencionó anteriormente estos lodos ya estaban previamente estabilizados, lo que indica que la temperatura interna de las pilas en este caso no podía diferir con la temperatura externa de las mismas⁴⁸.

De la **Gráfica 3 y 4** se puede concluir que al ser las de la pila 2 y 3, la variación de la temperatura no fue de gran diferencia de la una con la otra, la pila 2 finalizó el

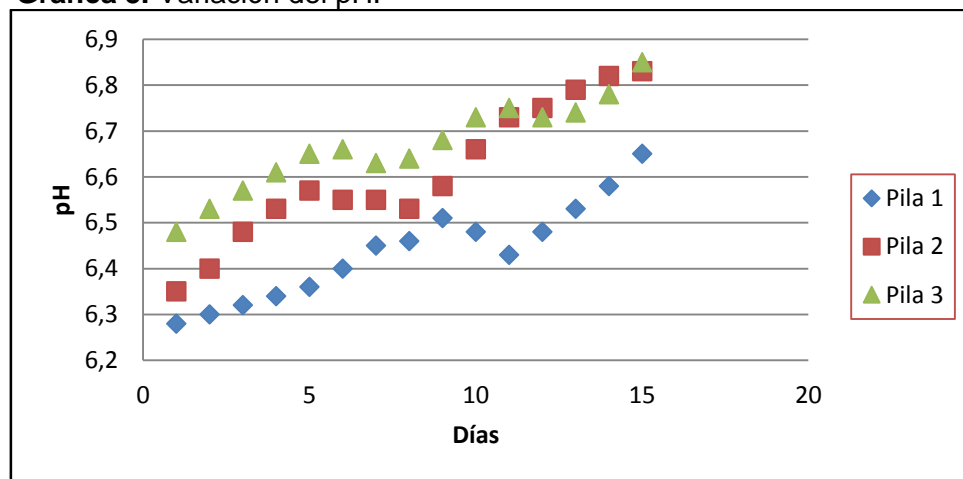
⁴⁸ COLOMER, Francisco & GALLARDO, Antonio. Op., Cit.,

proceso con 24°C de temperatura interna y la pila 3 25°C, esto fue gracias al contenido de abono que se mezcló en cada una de ellas, no obstante, se observa que la pila 3 estuvo a mejores condiciones que la pila 2 ya que esta tenía un 20% más de abono que la otra pila, permitiéndole a los microorganismos una mejor alimentación y por ende un mejor comportamiento.

La **Gráfica 1** hace referencia a la pila 1 o prueba cero. De esta se puede concluir que la temperatura a comparación con las otras dos pilas, fue mucho más bajo puesto que esta tenía un 100% de lodo. Lo que lleva a deducir que al adicionarle a los lodos abono, esto genera mejores condiciones.

4.3.2 pH. Para la medida del pH se tomaron 200 g en total de mezcla de cada pila: 100gr de la parte interna y 100 g de la parte externa de cada pila, para luego ser mezclada con 400 L de agua destilada hasta obtener una mezcla homogénea y así poder realizar la toma de este parámetro. A continuación en la **Gráfica 5** se observa la variación del pH obtenido por cada pila.

Gráfica 5. Variación del pH.



De la **Gráfica 5** se puede deducir que el comportamiento del pH se mantuvo en el rango de los valores neutro, lo que es muy satisfactorio para el proceso ya que inicio con valores alrededor de 6,4 y a medida que paso el tiempo, el pH aumento debido a la formación de compuestos húmicos, tal cual como se esperaba que fuera el comportamiento del pH en las pilas⁴⁹

El pH de la pila 1 como se observa en la gráfica anterior, estaba por debajo de las pilas 2 y 3. La explicación a este comportamiento es que como la pila 1 o prueba cero del proceso, no contiene concentraciones de abono o material llenante, no hay actividad microbiana, es decir que esta pila llego a condiciones anaeróbicas en

⁴⁹ Ibid.,

donde se liberaron ácidos orgánicos los cuales no permiten que el pH aumente para llegar a un valor neutro⁵⁰.

4.3.3 Porcentaje de humedad. El control de este parámetro se realizó de la siguiente manera todos los días, ya que es un procedimiento sencillo, aplicable por cualquier operario para el futuro.

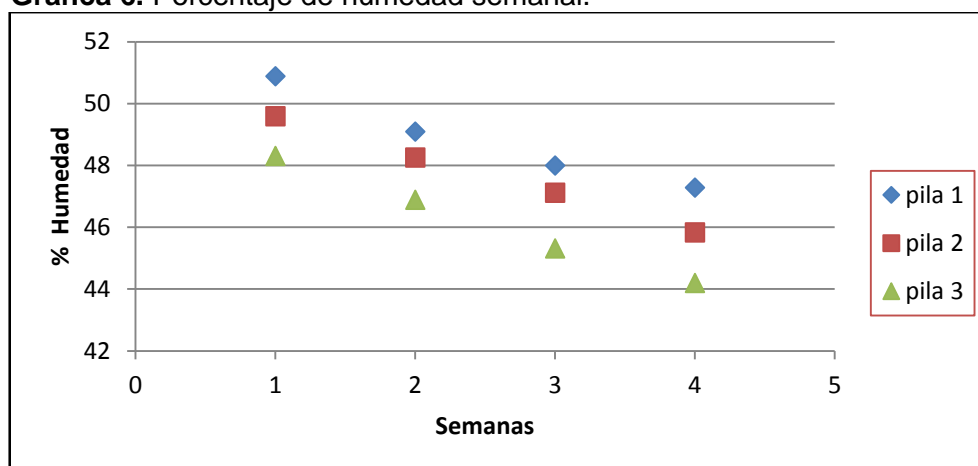
- Se tomó de forma manual una muestra de material.
- Se cierra la mano y se aprieta fuertemente el mismo.
- Si con esta operación se verifica que salga un hilo de agua continuo del material, entonces se puede establecer que el material contiene más de un 40% de humedad.
- Si no se produce un hilo continuo de agua el material gotea intermitentemente, se puede establecer que su contenido de humedad es cercano al 40%.
- Si el material no gotea y cuando se abre el puño de la mano permanece moldeado, se estima que la humedad se presenta entre un 20 a 30%.
- Finalmente si se abre el puño y el material se disgrega, se asume que el material contiene una humedad inferior al 20%.

De esta manera se sabía si las pilas estaban con la humedad requerida (40 – 60%) o si se tenían que humedecer con agua, hasta llegar al punto de humedad requerido. También se compararon estos valores con otra técnica de medición, la cual se siguió acorde a la NTC 5167 artículo 5. Este método se empleó semanalmente

Los datos de la **Gráfica 6** son los correspondientes a los que se realizaron semanalmente ya que estos confirman que la pila se encontraba con la humedad indicada gracias a la adición de agua que se le hacía diariamente.

⁵⁰ SEPULVEDA Luis. ALVARADO John. Op., Cit.,

Gráfica 6. Porcentaje de humedad semanal.



De la **Gráfica 6** se puede deducir que el porcentaje de humedad de las pilas se encontraba dentro del rango requerido (40 a 60%). Para llegar a estos valores como se indicó anteriormente se realizó una medida empírica y de acuerdo a esto se le agrego agua a las pilas.

También se puede resaltar que los volteos que se le realizaron a cada pila fueron indispensables, ya que de esta manera se homogenizó la humedad, dado a que la parte externa de la pila se secaba mucho más rápido que la parte interna.

El porcentaje final de humedad para cada pila fue: para la pila 1= 47,29%, pila 2= 45,84% y la pila 3= 44,2%, por lo que cabe mencionar que la pila 3 es la que mejor proceso de aireación tuvo durante la experimentación. No obstante cabe descartar que esta pila fuera la que más contenido de material llenante o abono tenía 40%, es decir que la actividad microbiana se encontraba en mayores condiciones.

4.4 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL ABONO OBTENIDO

4.4.1 Microbiológicos. Dada la caracterización inicial del lodo de la PTAR la Carbonera que se menciona en el capítulo uno de este proyecto, se resaltó que se tenían que reducir los microorganismos patógenos de los lodos. Para esto, al cabo de los 30 días que duró la experimentación del compostaje, se tomaron muestras de cada pila y se analizaron en un laboratorio externo. Los análisis requeridos fueron los microbiológicos: Enterobacterias (Coliformes totales, huevos de helminto y fitopatogenos) y *salmonella sp.*, como lo describe la NTC 5167 en el **Anexo E** se encuentran estos análisis para cada muestra correspondiente a cada pila.

A continuación en la **Tabla 10** se resumen estos resultados.

Tabla 10. Resultados microbiológicos.

Pila	Muestra	Enterobacterias	Salmonella sp	NTC 5167	
1	1	100.000 UFC/g	Ausencia/25g	Salmonella sp: ausencia/ 25g	No cumple la norma
2	2	2.000 UFC/g	Ausencia/25g	Enterobacteria s: menos de 1000 UFC/g	No cumple la norma
3	3	160 UFC/g	Ausencia/25g		Cumple la norma












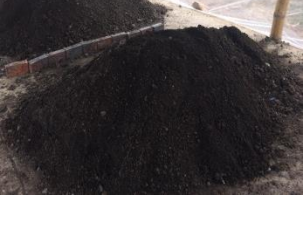
De la **Tabla 10** se puede concluir que la pila 3 fue la que mejor resultado obtuvo, permitiendo a este proceso estar dentro de los rangos estipulados en la norma NTC 5167, ya que fue la pila con mayor concentración de abono.

4.4.2 Color. Durante el proceso de compostaje de los lodos residuales, se da lugar al oscurecimiento del material como consecuencia de la rápida humificación de la materia orgánica. Así que, el producto final presentó un color café oscuro debido a la formación de grupos cromóforos, fundamentalmente de compuestos con dobles enlaces conjugados y a la síntesis de melanoidinas⁵¹.

En el **Cuadro 6** se observa el comportamiento semanal de las pilas en donde al terminar el proceso en la pila No. 3 se observa el color característico de abono.

⁵¹ Ibid.,

Cuadro 6. Variación del color en las pilas.

Semana	Pila 1	Pila 2	Pila 3
1			
2			
3			
4			

5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Dado que en el capítulo 4, la prueba piloto de compostaje para los lodos residuales, dio resultados positivos, se puede decir que la alternativa de aprovechamiento como fertilizante orgánico, es la recomendada para los lodos producidos en la PTAR la Carbonera.

En este capítulo se amplió la información del diagrama del proceso del compostaje realizado en la PTAR la Carbonera, determinando las condiciones de operación etapa por etapa y las especificaciones de los equipos que se deben utilizar para el proceso de compostaje para los lodos residuales de la PTAR la Carbonera del municipio de la Mesa-Cundinamarca.

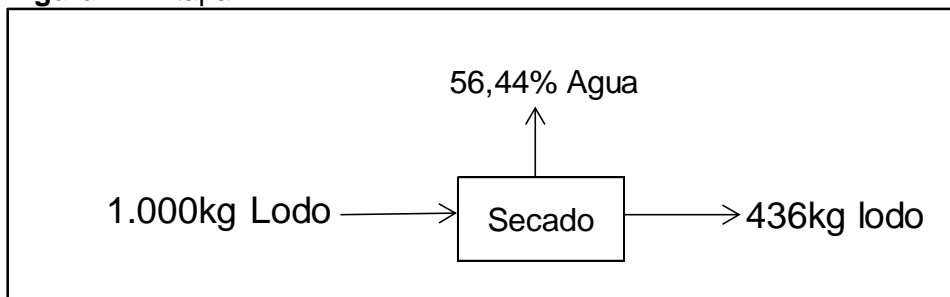
Las especificaciones técnicas que se proporcionaron a lo largo de este capítulo, fueron para el proceso de compostaje por lotes mensuales de 1.000 Kg de lodos húmedos. Las pilas se van a mezclar con 40% de abono (174kg) inicialmente, es decir, que se cuenta con una cantidad de 610 Kg de mezcla para iniciar el proceso, para esto es necesario una segunda persona como apoyo para llevar a cabo el compostaje de los lodos residuales

Principalmente la empresa regional aguas del Tequendama, tiene que cambiar el plástico que se colocó al cuarto de almacenamiento mientras se llevó a cabo la experimentación, ya que este es de un calibre pequeño y puede deteriorarse fácilmente en poco tiempo

5.1 SECADO

Este es un proceso el cual se encuentra dentro del manual de funcionamiento de la PTAR la Carbonera, es decir que el estudio de estas especificaciones técnicas, están dadas para las etapas siguientes a la del secado. No obstante es necesario demostrar la cantidad de lodo que sale después de que el operario lleva los lodos al lecho de secado un tiempo de 3 días a temperatura ambiente, los cuales han sido estabilizados parcialmente con cal. (Ver **Figura 17**).

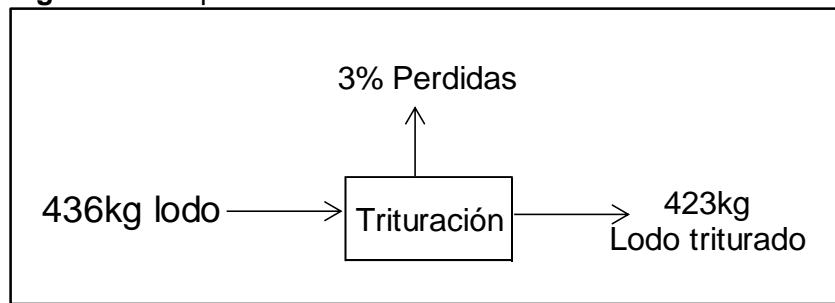
Figura 17. Etapa1.



5.2 TRITURACIÓN

La segunda operación unitaria dentro del proceso de compostaje de lodos residuales es la trituración (Ver **Figura 18**). Dependiendo del tamaño de la partícula es la calidad del producto final, esta tiene que estar de 5 a 30mm⁵², antes de iniciar el proceso. Para esto se hizo una cotización, en donde se especificó que la trituradora debería ser con tolva para que el operario encargado de realizar este proceso, se le facilite la alimentación del lodo a la trituradora, se sugiere que el mecanismo de trituración sea tipo sierra, ya que este mecanismo proporciona que el tamaño de la partícula sea del tamaño deseado (mínimo 5mm, máximo 30mm) y permite la trituración de húmeda (>15%) y/o seca⁵³, se especificó que la cantidad de lodos residuales que se tiene es de 500kg/mes y se quería triturar 20kg/día, es necesario que se en acero inoxidable para que sea de larga duración y que tenga ruedas para facilitar el desplazamiento. En el **Anexo G** se encuentra la cotización. Durante un proceso de triturado es considerable reconocer que se van a generar unas pérdidas de lodo aproximadamente de 3%⁵⁴

Figura 18. Etapa 2.



5.3 SELECCIÓN DEL ABONO O MATERIAL LLENANTE

Para comenzar a implementar la propuesta del compostaje en la empresa, se iniciará con la compra del material llenante a una empresa encargada de producir abono, este ya tiene que ser maduro, estable y libre de microorganismos patógenos.

Una vez producido el abono en la PTAR la Carbonera, al ya estar maduro y listo, la empresa regional aguas del Tequendama, podría usarlo como material llenante para el tratamiento de los lodos producidos a futuro.

⁵² ROMÁN, Pilar. Op., Cit.,

⁵³ Disponible en: <http://www.products/trituradora-de-martillos.html>

⁵⁴ JARA, José. Etapas de un proyecto minero. 2017.

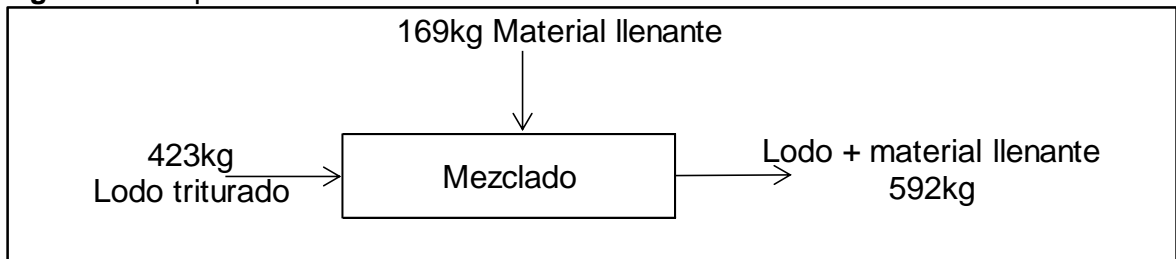
5.4 MEZCLADO

En esta etapa del proceso, (Ver **Figura 19**) el operario deberá mezclar manualmente con ayuda de una pala el material llenante y el lodo ya triturado.

Una vez la mezcla esté homogénea, se procede a hacer las pilas para el compostaje, como en total se tiene 610Kg de mezcla mensual, se procede hacer dos pilas cada una con 305 Kg de mezcla.

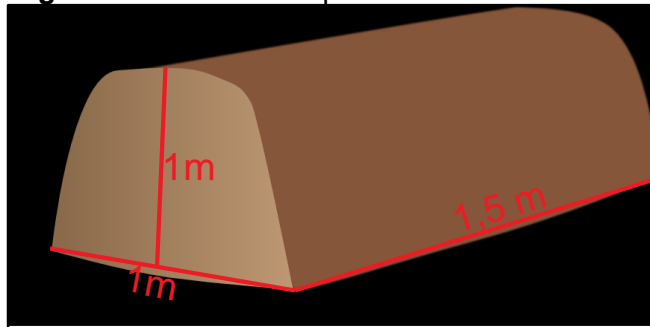
Para tener la cantidad de las pilas exactas, se le recomienda a la empresa una báscula electrónica galvanizada con estructura inoxidable de 600 mm x 600 mm, con indicador digital y capacidad de hasta 600 Kg. (Ver cotización en el **Anexo G**)

Figura 19. Etapa 3.



Como se indicó en el capítulo anterior, las pilas tendrán que ser construidas como se observa en la **Figura 20**.

Figura 20. Forma de la pila.

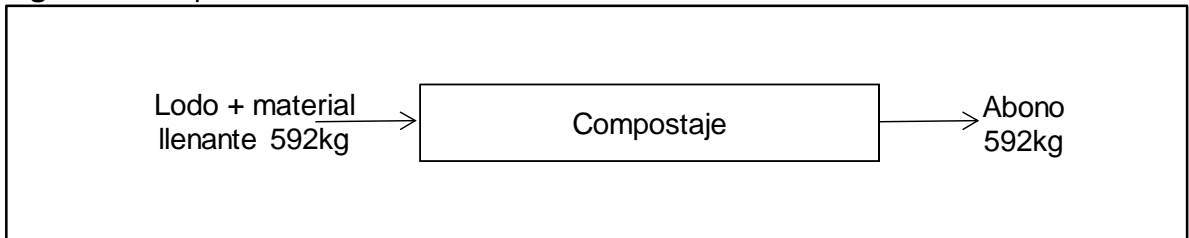


5.5 COMPOSTAJE

Para llevar a cabo el proceso del compostaje (ver **Figura 21**) de los lodos residuales de la PTAR la Carbonera, es indispensable seguir las indicaciones que se dieron en la **Tabla 7** en donde se especifica la frecuencia de la medición de cada parámetro. Para esto se le recomienda a la empresa un termómetro de suelos digital termopar tipo K, que alcanza temperaturas desde -50 a 1.350 °C, el cual podrá ser anclado en la parte del centro de la pila durante todo el proceso para así tener un control más exacto y facilitar el momento del volteo de la pila.

El volteo debe hacerse cada tercer día, en cuanto a la humedad, se sugiere realizarla de la manera empírica, siempre y cuando la persona encargada este utilizando los elementos de protección personal. Se va a realizar de esta manera, ya que como se observó en el capítulo anterior, fue el método que ayudo a controlar este parámetro.

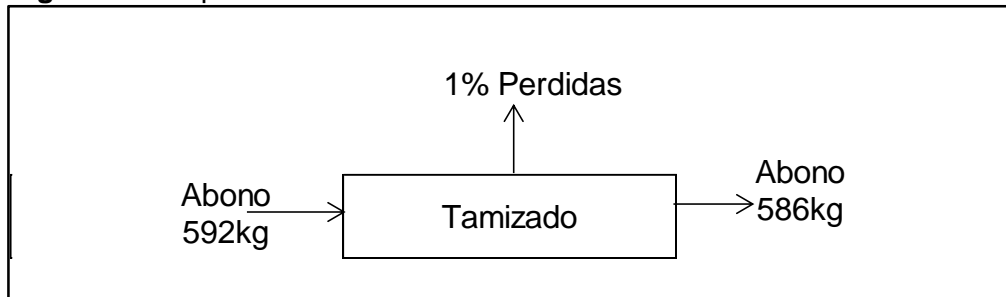
Figura 21. Etapa 4.



5.6 TAMIZADO

Una vez que el compostaje termine su proceso de maduración que es de un mes, este pasara a ser tamizado por medio de una malla de 2mm x 2mm de abertura. En cuanto a la norma NTC 5167 no existe algún límite en el valor de este parámetro; sin embargo, el producto final se prefiere con una textura equivalente a una distribución de partículas entre 0,25 y 2,5mm. Durante un proceso de tamizado es considerable reconocer que se van a generar unas pérdidas de aproximadamente 1%⁵⁵ (Ver **Figura 22**).

Figura 22. Etapa 5.



5.7 ALMACENAMIENTO

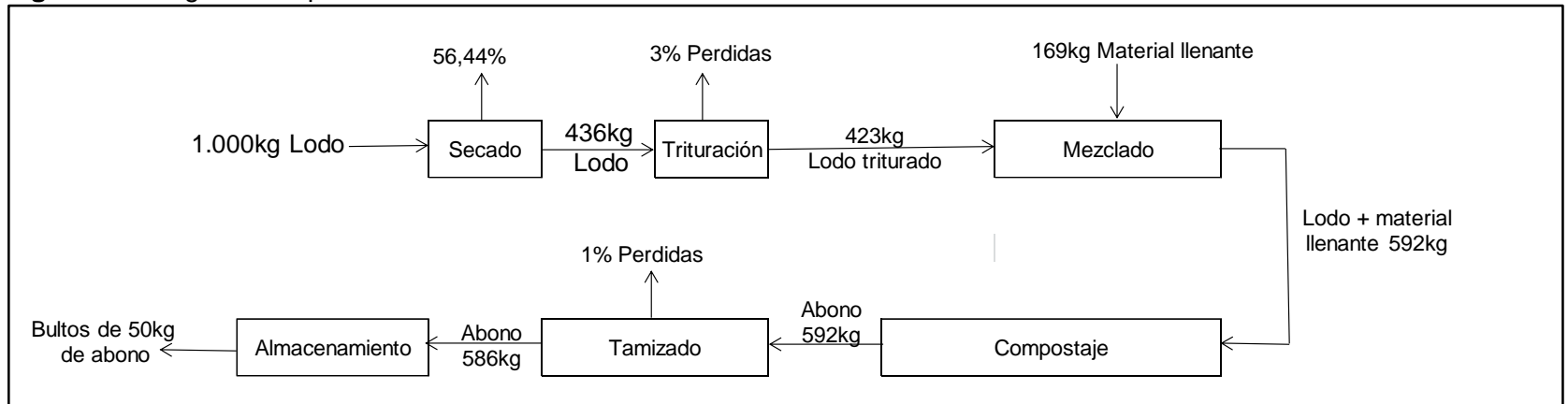
Ya siendo la disposición la etapa final del proceso de tratamiento de los lodos residuales, estos tienen que ser almacenados en tulas de propileno de 50 Kg y previamente sellados. Para esto se recomienda una cosedora selladora, la cual se usa manualmente.

⁵⁵ Ibid.,

El producto terminado tiene que estar almacenado en un cuarto seguro contra lluvias, humedad y rayos solares ya que esto podría afectar el abono y podría perder los nutrientes que se ganaron durante el proceso de compostaje.

En la **Figura 23** se muestra el proceso completo de la alternativa como compostaje para los lodos residuales de la empresa regional aguas del Tequendama.

Figura 23. Diagrama de procesos de la alternativa.



6. ANÁLISIS DE COSTOS DEL COMPOSTAJE

La evaluación financiera se realiza con el objetivo de estudiar los costos de implementación del proyecto; de esta manera, se evalúa la rentabilidad y viabilidad de la aplicación de la propuesta de compostaje, en la empresa regional aguas del Tequendama en el municipio de la Mesa

En primer lugar, como se mencionó en el capítulo anterior, la empresa tendrá que realizar una inversión en la que se involucre los costos fijos (terreno y equipos) y el capital de trabajo; seguidamente, se incluyen los costos directos tales como materia prima, mano de obra y costos del producto final; así como los costos indirectos como consumo de energía, consumo de agua, y mantenimiento; por último, se evalúan los ingresos que tendría la planta con la venta del abono orgánico, para así, realizar el flujo de caja neto

El flujo de caja ver se proyecta a cinco años, para saber la viabilidad del proyecto a futuro, teniendo en cuenta los valores del índice de precios al consumidor (IPC)⁵⁶:

- 2018 = 3,50%.
- 2019 = 3,60%.
- 2020 = 3,40%.
- 2021 = 3,20%.
- 2022 = 3,43%.

6.1 EGRESOS

6.1.1 Inversión. Dentro de este valor se incluye la adecuación del terreno, y la compra de los equipos como: la trituradora, la malla para el tamizaje, medidores de temperatura, pH y humedad, la báscula y la cosedora selladora de costales. Las cotizaciones de los respectivos equipos anteriormente nombrados se encuentran en el **Anexo F**. Este cálculo se puede observar en la **Tabla 11**.

⁵⁶ BANCOLOMBIA. Tabla Macroeconómicos proyectados 2014. p. 1.

Tabla 11. Inversión. (COP).

Inversión	COP
Adecuación del terreno	1.000.000
Total terreno	1.000.000
Medidor de pH	1.868.605
Termómetro	776.132
Trituradora	10.255.000
Malla tamizadora	2.000.000
Bascula	3.388.834
Cosedora selladora	500.000
Total equipos	18.788.571
Total Inversión	19.788.571

6.1.2 Gastos administrativos y operacionales.

6.1.2.1 Mano de obra. Para el desarrollo de este proceso se tienen que tener en cuenta 2 personas que serán las encargadas de realizar todo el proceso de compostaje (secado, trituración, mezclado, toma de medidas, montaje de las pilas, volteos, tamizado, empaque), dentro de este valor se encuentran todas las prestaciones de ley de estos dos operarios y los elementos de protección personal.

6.1.2.2 Servicios públicos.

- **Energía.** De acuerdo con las fichas técnicas de cada equipo, se conoce el consumo energético de cada uno de estos; sabiendo que el valor del kWh en el municipio de la Mesa el cual es de \$437.90.
- **Acueducto y alcantarillado.** El valor total de este servicio se sacó, teniendo en cuenta que el valor del m³ en la Mesa es de \$661,44.

6.1.2.3 Laboratorios. La CAR es la corporación autónoma regional de Cundinamarca, esta obliga a las empresas a realizar unos análisis al producto producido del proceso de lodos residuales, en este caso al abono. No obstante también exige caracterizaciones anuales de los lodos producidos dentro de la PTAR.

Lo que quiere decir que la empresa regional aguas del Tequendama está obligada a realizar unos análisis a los lodos y al abono para tener todo bajo las normas y que a la hora de la inspección no se incumplan los requisitos requeridos para el tratamiento y disposición de lodos.

- **Fisicoquímicos.** Dentro de estos análisis encontramos: pH, Humedad, Temperatura, densidad aparente.
- **Relación C/N** al abono producido.

- **NTC 5167.** Estos análisis se le tienen que hacer cada año al abono producido, los parámetros dentro de esta norma son: metales pesados (As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb), Contenido de carbono orgánico (%C), Cantidad de intercambio catiónico, Enterobacterias y *salmonella sp.*
- **Decreto 1287.** Este es para la caracterización del lodo residual y como indica este mismo, los análisis son anuales. Los parámetros a analizar son: metales pesados (As, Cd, Cu, Cr, Hg, Mb, Ni, Pb, Se, Zn), Coliformes fecales, Huevos de helminto, Salmonella Sp, virus entéricos.

6.1.2.4 Mantenimiento. En estos costos se tiene en cuenta el mantenimiento predictivo de la trituradora, al ser un equipo nuevo y en los primeros años de operación no presentarán fallas en su operación, se estima un valor anual de \$1'000.000 dado a que este es el valor estipulado por parte de la empresa.

6.1.2.5 Préstamo. Este proyecto al tener una inversión inicial para la implementación de la propuesta de compostaje, se tendrá que acudir a entidades bancarias por un préstamo. El banco con el que la empresa regional aguas del Tequendama realiza este tipo de procesos, es el banco de occidente. Este banco antes de dar una tasa de interés anual, realizan un estudio a la empresa en donde solicitan el estado financiero de la empresa, cámara de comercio, RUT, declaración de renta de los socios y de la empresa, balance general y composición accionaria realizada por un contador. Después de este estudio, el banco otorga una tasa del 20% de interés anual. Dado a que el préstamo se solicitara por un año (12 meses), la tasa de interés de mes vencido que el banco otorga para este proyecto es del 1.67%. A continuación en la **Tabla 12** se muestra la tabla de amortización para esta solicitud.

Tabla 12. Tabla de amortización.

		Interes Anual		20%	
		Credito	Meses	Interes Mensual	Cuota fija
		\$ 19.788.571	12	1,67%	\$ 1.649.048
Mes	Saldo inicial	Pago a Capital	Pago Interes	Pago total	saldo
1	\$ 19.788.571	\$ 1.649.048	\$ 329.810	\$ 1.978.857	\$ 18.139.523
2	\$ 18.139.523	\$ 1.649.048	\$ 302.325	\$ 1.951.373	\$ 16.490.476
3	\$ 16.490.476	\$ 1.649.048	\$ 274.841	\$ 1.923.889	\$ 14.841.428
4	\$ 14.841.428	\$ 1.649.048	\$ 247.357	\$ 1.896.405	\$ 13.192.381
5	\$ 13.192.381	\$ 1.649.048	\$ 219.873	\$ 1.868.921	\$ 11.543.333
6	\$ 11.543.333	\$ 1.649.048	\$ 192.389	\$ 1.841.436	\$ 9.894.286
7	\$ 9.894.286	\$ 1.649.048	\$ 164.905	\$ 1.813.952	\$ 8.245.238
8	\$ 8.245.238	\$ 1.649.048	\$ 137.421	\$ 1.786.468	\$ 6.596.190
9	\$ 6.596.190	\$ 1.649.048	\$ 109.937	\$ 1.758.984	\$ 4.947.143
10	\$ 4.947.143	\$ 1.649.048	\$ 82.452	\$ 1.731.500	\$ 3.298.095
11	\$ 3.298.095	\$ 1.649.048	\$ 54.968	\$ 1.704.016	\$ 1.649.048
12	\$ 1.649.048	\$ 1.649.048	\$ 27.484	\$ 1.676.532	\$ -
TOTAL		\$ 19.788.571	\$ 2.143.762	\$ 21.932.333	

6.1.3 Compra materia prima.

- **Abono estabilizado.** La proyección se realizó de tal manera que la empresa tenga que comprar esta materia prima todos los años (\$9.000 COP/Kg), no obstante después del primer lote anual de abono es decisión de la empresa si re utilizar este abono producido como materia prima, lo cual es lo más recomendable para así ahorrar en gastos. Pero también se tiene que tener en cuenta que no siempre esto podrá ser posible debido a que este abono puede venderse (\$12.000 COP/Kg) y puede limitar la cantidad para el proceso.
- **Cal.** Como se ha mencionado a lo largo de este proyecto, la cal es el componente químico que dará un pre estabilización a los lodos y va a prevenir el olor y atracción de vectores al proceso.

6.2 INGRESOS

Como principal y única fuente de ingresos se tiene el abono producido, de acuerdo con la demanda del año 2016 y el año 2017, el valor recomendado para la venta de 1 Kg de abono es \$12.000. En la **Tabla 13** se dan a conocer las cantidades de lodo residual, abono que se necesitara para la producción anual, al igual de cuanto es el total de producción. Estas cantidades se proyectaron de acuerdo al aumento en la población del municipio (aproximadamente 1,5% anual), tal cual como lo indica el DANE después del censo del año 2015.

Tabla 13. Cantidades necesarias y producidas anualmente.

AÑOS	LODO MP ANUAL	ABONO MP ANUAL	ABONO PRODUCTO
2.018	5.149	1.883	7.032
2.019	5.223	1.910	7.133
2.020	5.298	1.937	7.235
2.021	5.373	1.964	7.337
2.022	5.448	1.992	7.440

6.3 FLUJO DE CAJA

El flujo de caja relaciona los ingresos y egresos en un periodo de 5 años, teniendo en cuenta un porcentaje de aumento para cada año basado en el índice de precios del consumidor (IPC) anteriormente mencionados. En la **Tabla 14**, **Tabla 15** y **Tabla 16** se muestran los egresos y en la **Tabla 17** los ingresos, proyectados hasta el 2.022 teniendo en cuenta el IPC, y en la **Tabla 18** el flujo de caja neto del compostaje de los lodos residuales urbanos en la PTAR la Carbonera del municipio de la Mesa-Cundinamarca.

Tabla 14. Inversión proyectada.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO A 2022						
	AÑO 0	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022
INGRESOS	\$ -	90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017
VENTAS	\$ -	90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017
ABONO ORGANICO		90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017

Tabla 15. Gastos administrativos y operacionales proyectados.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO A 2022						
	AÑO 0	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022
GASTOS ADMINISTRATIVOS -OPERACIONALES	\$ -	\$ 104.647.429	\$ 84.897.573	\$ 87.784.090	\$ 90.593.181	\$ 93.700.528
GASTOS DE PERSONAL		60.021.786	62.182.571	64.296.778	66.354.275	68.630.226
SERVICIOS PUBLICOS						
ENERGIA ELECTRICA		12.206.312	12.645.739	13.075.694	13.494.116	13.956.965
ACUEDUTO Y ALCANTARILLADO		568.724	589.198	609.231	628.726	650.292
LABORATORIOS (FISICOQUIMICOS)		621.000	643.356	665.230	686.517	710.065
LABORATORIOS (RELACION C/N)		124.200	128.671	133.046	137.303	142.013
LABORATORIOS (NTC5167)		3.182.832	3.297.414	3.409.526	3.518.631	3.639.320
LABORATORIOS (DECRETO1287)		4.187.610	4.338.364	4.485.868	4.629.416	4.788.205
MANTENIMIENTO		1.035.000	1.072.260	1.108.717	1.144.196	1.183.442
PRESTAMO						
PAGO PRESTAMO		20.481.171	\$ -	-	-	-
INTERES		2.218.794	\$ -	-	-	-

Tabla 16. Compra materia prima proyectada.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO A 2022						
	AÑO 0	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022
COMPRAS MATERIA PRIMA	\$ -	8.063.806	8.354.103	8.638.142	8.914.563	9.220.332
ABONO		5.846.836	6.057.322	6.263.271	6.463.695	6.685.400
CAL		2.216.970	2.296.781	2.374.871	2.450.867	2.534.932

Tabla 17. Ingresos proyectados.

	AÑO 0	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022
INGRESOS	\$ -	90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017
VENTAS	\$ -	90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017
ABONO ORGANICO		90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017

Tabla 18. Flujo de caja.

FLUJO DE CAJA PROYECTADO A 2022						
	AÑO 0	AÑO 2018	AÑO 2019	AÑO 2020	AÑO 2021	AÑO 2022
INGRESOS	\$ -	90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017
VENTAS	\$ -	90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017
ABONO ORGANICO		90.974.412	95.601.947	100.267.902	104.941.570	110.055.017
EGRESOS	\$ 19.788.571	\$ 112.711.235	\$ 93.251.676	\$ 96.422.233	\$ 99.507.744	\$ 102.920.860
INVERSIONES	\$ 19.788.571	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
ADECUACION DEL TERRENO	\$ 1.000.000					
EQUIPOS	\$ 18.788.571					
GASTOS ADMINISTRATIVOS -OPERACIONALES	\$ -	\$ 104.647.429	\$ 84.897.573	\$ 87.784.090	\$ 90.593.181	\$ 93.700.528
GASTOS DE PERSONAL		60.021.786	62.182.571	64.296.778	66.354.275	68.630.226
SERVICIOS PUBLICOS						
ENERGIA ELECTRICA		12.206.312	12.645.739	13.075.694	13.494.116	13.956.965
ACUEDUTO Y ALCANTARILLADO		568.724	589.198	609.231	628.726	650.292
LABORATORIOS (FISICOQUIMICOS)		621.000	643.356	665.230	686.517	710.065
LABORATORIOS (RELACION C/N)		124.200	128.671	133.046	137.303	142.013
LABORATORIOS (NTC5167)		3.182.832	3.297.414	3.409.526	3.518.631	3.639.320
LABORATORIOS (DECRETO1287)		4.187.610	4.338.364	4.485.868	4.629.416	4.788.205
MANTENIMIENTO		1.035.000	1.072.260	1.108.717	1.144.196	1.183.442
PRESTAMO						
PAGO PRESTAMO		20.481.171	\$ -	-	-	-
INTERES		2.218.794	\$ -	-	-	-
COMPRAS MATERIA PRIMA	\$ -	8.063.806	8.354.103	8.638.142	8.914.563	9.220.332
ABONO		5.846.836	6.057.322	6.263.271	6.463.695	6.685.400
CAL		2.216.970	2.296.781	2.374.871	2.450.867	2.534.932
FLUJO DE CAJA (INGRESOS -EGRESOS)	\$ -19.788.571	\$ -21.736.823	\$ 2.350.272	\$ 3.845.670	\$ 5.433.826	\$ 7.134.157

6.4 INDICADORES

6.4.1 Valor Presente Neto (VPN). Se define como la suma del valor presente de cada año del flujo de caja neto, se determina mediante la siguiente, teniendo en cuenta una tasa interna de oportunidad (TIO) del 6%. (Ver **Ecuación 6**).

Ecuación 6. Valor Presente Neto (VPN).

$$VPN = -inversión + \frac{FCN_{1año}}{(1+i)^1} + \frac{FCN_{2año}}{(1+i)^2} + \frac{FCN_{3año}}{(1+i)^3} + \frac{FCN_{4año}}{(1+i)^4} + \frac{FCN_{5año}}{(1+i)^5}$$

FCN: flujo de caja neto

i = TIO (tasa interna de oportunidad)

$$VPN = -\$19.788.571 + \frac{\$ - 21'736.823_{1año}}{(1 + 6\%)^1} + \frac{\$2'350.272_{2año}}{(1 + 6\%)^2} + \frac{\$3'845.670_{3año}}{(1 + 6\%)^3} + \frac{\$5'433.826_{4año}}{(1 + 6\%)^4} + \frac{\$7'134.157_{5año}}{(1 + 6\%)^5}$$

$$VPN= \$25'673.654$$

Como el valor presente neto fue un resultado positivo, el proyecto es rentable por encima de la tasa de interés de oportunidad, y por lo tanto, es viable el desarrollo de esta propuesta de aprovechamiento

6.4.2 Tasa interna de retorno (TIR). La tasa interna de retorno de una inversión o proyecto, es la tasa de descuento que hace que el valor actual neto de todos los flujos de efectivo sea igual a cero. (Ver **Ecuación 7**).

Ecuación 7. Tasa Interna de Retorno (TIR).

$$0 \approx -inversión + \frac{FCN_{1año}}{(1+i)^1} + \frac{FCN_{2año}}{(1+i)^2} + \frac{FCN_{3año}}{(1+i)^3} + \frac{FCN_{4año}}{(1+i)^4} + \frac{FCN_{5año}}{(1+i)^5}$$

FCN: flujo de caja neto

i = TIR (tasa interna de Retorno)

TIR = 15%

margen de rentabilidad = TIR - TIO = 12,02% - 6% = 9%

7. CONCLUSIONES

- De los datos obtenidos del diagnóstico bibliográfico de los parámetros químicos y microbiológicos presentes en los lodos de la PTAR la Carbonera, se determinó que los valores microbiológicos se encontraban fuera del rango de los valores máximos permisibles de acuerdo al decreto 1287, y los parámetros químicos de metales pesados al cumplir con el decreto, catalogaron al lodo como no peligroso, lo que lo hace apto para cualquier tipo de aprovechamiento.
- De las tres alternativas propuestas para el aprovechamiento de lodos, seleccionadas de acuerdo al diagnóstico inicial, se evaluaron en una matriz de decisión Pugh, obteniendo como mejor opción el aprovechamiento como fertilizante orgánico por medio de compostaje.
- De acuerdo a la eficiencia en la pila 3 (40% material llenante, 20% lodo residual) con respecto a las pilas 1 (0% material llenante, 100% lodo residual) y pila 2 (20% material llenante, 80% lodo residual) debido a la concentración de abono que se le adiciona a esta pila en diferencia a las otras dos, lo cual influyó en el aceleramiento del proceso y logro el mejor resultado microbiológico en la Pila 3 con presencia de 160 enterobacterias; estando entre los valores máximos permisibles de acuerdo a la NTC 5167 (menos de 1.000 UFC/g).
- Se determina que el proceso de compostaje incluye operaciones unitarias como mezclado, tamizado, secado, trituración y almacenamiento, en donde es de gran importancia la selección de los equipos para llevar a cabo el proceso y así poder obtener un abono de calidad.
- El proyecto requiere una inversión inicial de \$19.788.571 con valor presente neto de \$25'673.654 y la tasa interna de retorno (TIR) con un 15%. Estos dos indicadores demuestran que esta propuesta de tratamiento de lodos residuales como compostaje es viable y rentable (margen de rentabilidad de 9%, teniendo en cuenta una TIO del 6%), por lo que el proceso de compostaje se convierte en el proceso previo para la alternativa para el aprovechamiento de los lodos residuales como fertilizante orgánico de los lodos residuales de la empresa regional aguas del Tequendama.

8. RECOMENDACIONES

- Es importante para llevar a cabo el proceso de compostaje, realizar análisis anuales fisicoquímicos y microbiológicos del lodo residual para tener un seguimiento del cumplimiento de estos de acuerdo al decreto 1287.
- Se recomienda realizar un estricto control de los parámetros que afectan el proceso de compostaje: temperatura interna de la pila, pH, humedad y volteos y así, de esta manera asegurar que el proceso se lleve a cabo en las mejores condiciones, garantizando un producto de calidad según la norma NTC 5167.
- Se le recomienda a la empresa regional aguas del Tequendama, realizar una experimentación con residuos orgánicos para realizar el compostaje en concentraciones diferentes a las que se manejaron en este proyecto para poder realizar una comparación de las curvas de temperatura, pH y humedad de los resultados del producto final, para así darle el mejor tratamiento al lodo.

BIBLIOGRAFÍA

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. Manual para el Manejo Integral de Residuos en el Valle de Aburrá. Colombia, 2013. 47 p.

BANCOLOMBIA. Tabla Macroeconómicos proyectados 2014. 1 p.

BARRERA L.P. 2010 Estandarización del proceso de compostaje en la obtención de abono a partir de residuos sólidos orgánicos generados en el municipio de Sibaté. Tesis. Ing. Quim. Uni. America. 125 p.

BONGCAM VASQUEZ, Elkin. Guía para compostaje y manejo de suelos. Convenio Andrés Bello, Bogotá, 2003. 16 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONOMICO. Reglamento técnico de dirección de agua potable y saneamiento básico. Tratamiento de aguas residuales. [En línea: <<http://www.minambiente.gov.co>>]

COMPOSTAJE EM. [En Línea: <<http://www.tecnologiaem.com/compostaje.php>>]

POR EL CUAL SE ESTABLECEN CRITERIOS PARA EL USO DE LOS BIOSÓLIDOS GENERADOS EN PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES Decreto 1287 del 10 de julio del 2014.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Resolución 0000334., Bogotá, 04 de Febrero de 2009. 2 p.

- - - - - . MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Acondicionadores y mejoradores de suelos.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Norma técnica colombiana 1486. Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Bogotá, 2008.

- - - - - . Norma técnica colombiana 5613. Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. Bogotá, 2008. 99

- - - - - . Norma técnica colombiana 4490. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. Bogotá, 1998.

- - - - - . Norma técnica colombiana 5167. Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y acondicionadores del suelo. Bogotá, 2004. 2 p.

MENDOZA G., Lenin, 2008. Manual de lombricultivo. Secretaría de Educación Pública. Chiapas. México

LÓPEZ, Piedad. Compostaje de residuos orgánicos. Santiago de Cali: Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, 2002

PISCO CARNELO, Cesar Augusto. Tratamiento de residuos orgánicos domiciliarios mediante compostaje en la planta piloto de transformación de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. Tingo María, Perú. 2014, 88h. Practica pre-profesional. Universidad nacional agraria de la selva. Facultad de recursos naturales renovables. Departamento académico de ciencias ambientales.

PRAVIA, Miguel. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Presidencia de la República. Oficina de Planeamiento y Presupuesto. Unidad de desarrollo municipal. Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud.

RODRÍGUEZ Eder. 2008. Gestión Ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparación con sistemas similares en San Andrés. Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Colombia.

ROMAN Pilar. Manual de compostaje del agricultor. Chile, 2013. 30 p.

ROMERO ROJAS, Jairo Alberto. Tratamiento de las aguas residuales. Bogotá: Escuela colombiana de ingeniería, 1999.

ANEXOS

ANEXO A
FICHA TÉCNICA OXYNOVA

Figura 1. Hoja técnica Oxynova.


<p>AGRANCO S.A.S. Dirección: Calle 29 sur # 52B-20 El Tejar Bogotá, Colombia Tel: 3006890 Móvil: 316 8671413 e-mail agranco.col@gmail.com Nit.: 900 872454-6</p> <p style="text-align: right;"></p> <p style="text-align: center;">HOJA TECNICA OxyNova</p> <p>Sección 1: PRODUCTO E IDENTIFICACIÓN DE LA COMPAÑÍA.</p> <p>Fabricante, Agranco Corp. USA 2655 South Le Jeune Rd. Suite 805, Coral Gables, FL.33134 Tel: 305 8653782 E-mail: agranco@nescap.com WWW.AGRANCO.COM Distribuidor Colombia; Agranco SAS Calle 29 sur # 52B-20 el Tejar Bogotá, Colombia Tel.: 3006890 Cel.: 316 8671413</p> <p>Nombre del producto, OxyNova.</p> <p>Fecha de publicación, 01/12/2016</p> <p>Sección 2: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS</p> <ul style="list-style-type: none">- Información general de emergencia; lavar con abundante agua- Apariencia/color: polvo, color beige, polvo
--

Figura 1. (Continuación).

Sección 3: COMPONENTES / INFORMACIÓN SOBRE COMPONENTES			
-Productos de fermentación de <i>Aspergillus Orizae</i>			
- Amylasa	No. CAS	9000-92-4	
- Proteasa	No. CAS	9014-01-01	
- Celulosa	No. CAS	9012-54-8	
- Pectinasa	No. CAS	9032-75-1	
- Xynalasa	No. CAS	9025-57-4	
- Phytasa	No. CAS	9001-89-2	
-Probioticos			
- Bifidobactrium Longhum	No. Cas	96507-89-0	
- Bifidobactrium Thermophilium	No. Cas	2197218-45-4	
- Bacillus Subtilus	No. CAS	68038-70-0	
- Lactobacillus Acidophilus	No. CAS	308084-36-8	
- Maltodextrina	No CAS	9050-36-6	
Sección 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS			
- Contacto con ojos y piel; lavar inmediatamente con abundante agua.			
- Ingestión; tomar grandes cantidades de agua, no inducir a vomito.			
Sección 5: MEDIDAS EN CASO DE INCENDIO			
- No inflamable			
- En caso de incendio apagar con agua			
- Precaución para bomberos usar equipos de protección normal			
Sección 6: MEDIDAS EN CASO DE VERTIDOS ACCIDENTALES			
- En caso de vertido lavar con abundante agua			
- Use la protección personal recomendada en la sección 8.			
- El producto no es contaminante para el medio ambiente.			
- No son necesarias precauciones especiales.			

Figura 1. (Continuación).

Sección 7: MANEJO Y ALMACENAJE

- Almacenar en sitios ventilados y frescos
- No almacenar con productos químicos
- Manejar de acuerdo a las especificaciones del empaque

Sección 8: CONTROLES PARA EXPOSICIÓN/PROTECCIÓN PERSONAL.

- Parámetros de exposición No aplica
- No se requiere de parámetros específicos
- Usar mascarara, guantes y lentes de seguridad.
- Evitar contacto con ojos o piel
- Lavarse con agua después de manipular el producto.

Sección 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS.

- Apariencia : polvo
- Color: Beige claro.
- Olor: Característico
- sabor : ligeramente dulce
- PH: 7 en solución acuosa
- Densidad: 1.13 a 1.18 kg/lit.
- Punto de ebullición: (F) N/A
- Evaporación : (rutyl) acetato = 1 N/A
- Presión de vapor: N/A
- Gravedad específica: 750 GML
- Solubilidad: totalmente soluble en agua
- Corrosividad: No corrosivo a niveles recomendados.

Sección 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD.

- El material es estable
- No se conoce incompatibilidad
- No tiene una reacción peligrosa

Figura 1. (Continuación).

Sección 11: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA

- Toxicología en animales en la piel
LD 50 20 grms /kg (conejos) fue ligeramente irritable
LD 50 1.65 grms/kg (ratas)
- No corrosivo en los niveles recomendados.

Sección 12: INFORMACIÓN ECOLÓGICA.

-
- Producto amigable con el ambiente
- No presenta ningún peligro para el ambiente

Sección 13: CONSIDERACIONES DE DISPOSICION.

- La información aplica al material como fue fabricado. Por lo tanto cualquier procesamiento, contaminación o uso puede hacer que la información sea inapropiada o incompleta.
- Referir a la sección 7: MANIPULACION Y ALMACENAMIENTO. Y sección 8; CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCION PERSONAL.
- Las disposiciones debe hacerse en base a las regulaciones o leyes regionales, locales.

Sección 14: INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

- No tiene ninguna restricción.

ANEXO B

FICHA TÉCNICA DEL HIDROCLORURO DE ALUMINIO

Figura 1. Ficha técnica del Hidrocloruro de aluminio.

 FOX Comercial Fox S.A.S.	HSQ	Código: HSQ-R-10
	FICHA TÉCNICA	Versión: 02
		Fecha: 2012/08/22
		Página: 1 de 1

NOMBRE COMÚN: HIDROXICLORURO DE ALUMINIO
FORMULA: $Al_n(OH)_mCl_{(3n-m)}$

Es un polinuclear de aluminio líquido (Hidroxiclорuro de Aluminio) que se desempeña efectivamente como coagulante inorgánico para aguas tanto potables como residuales.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

DESCRIPCIÓN	ESTÁNDAR
Contenido Al_2O_3 (%)	18.0 – 24.0
Basicidad (%)	≥ 70
Acidez (%)	11.0 – 12.5
Turbiedad (NTU)	50 máximo
Densidad	1.30 – 1.40 g/ml


PRECAUCIONES DE USO Y SEGURIDAD

Es astringente, se requiere de gafas protectoras, guantes de neopreno o plásticos. No es un producto tóxico, pero puede producir leve resequedad e irritación en la piel y los ojos por tratarse de un producto de carácter ácido.

ANEXO C

FICHA TÉCNICA CAL

Figura 1. Ficha técnica Cal.



FICHA TECNICA CAL TIPO N

Identificación

Nombre Comercial: Cal hidratada industrial
Nombre Químico: Hidroxido de Calcio
Formula Química: Ca (OH)2
Peso Molecular: 74 g/mol

Descripción

Es un material resultante de la humectación de la cal viva (óxido de calcio, CaO) hasta satisfacer su afinidad química. Polvo blanco, finalmente dividido, impalpable e inoloro.

Especificaciones

(CaO) Total	Min 64%
Ca(OH)2 disponible	Min 80%
Residuos insolubles en HCL	Max 5.0%
(MgO) Total	Max 1.0%
F2O3	Max 0.1%
Al2O3	Max 0.1%
SiO2	Max 0.5%
Contenido de S	Max 0.1%
Contenido de P	Max 0.1%
PPC a 1000° C	Max 27%

Usos

Se usa principalmente en acueductos, en la industria del cuero y las petroleras.

Dirección: carrera 36 N° 8-508 int 1 La Paz Zipaquirá
Tel: 310 877 22 73 – mail:tapsquimicasas@gmail.com

ANEXO D

FICHA TÉCNICA ABONO

Figura 1. Ficha Técnica abono.



compost TerraViva

Abono Orgánico Acondicionador de Suelos enriquecido con microorganismos benéficos.

APTO PARA USO AGRÍCOLA EN CUALQUIER TIPO DE SUELOS

BENEFICIOS

- Aumenta la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) del suelo.
- Posee un alto contenido de sílice intercambiable.
- Contribuye a la regeneración de los suelos.
- Puede aumentar la rentabilidad de su cultivo y disminuir costos en fertilización.
- Según la época y el modo de uso puede disminuir el impacto de las heladas.
- Reduce contaminación y salinización de suelos causadas por el uso continuo de fertilizantes químicos y estiércoles sin procesar.
- Activa la formación y el desarrollo de raíces.
- Mejora propiedades físicas, químicas y microbiológicas de los suelos.
- Aumenta la retención de humedad de los suelos.

COMPOSICIÓN MÍNIMA GARANTIZADA (Base húmeda)

Humedad < 30%	Nitrógeno Total > 1.5%
Densidad < 0.6 gr/cc	Fósforo Total (P ₂ O ₅) > 2.5%
C. Orgánico Oxidable Total > 15%	Potasio Total (K ₂ O) > 3.0%
Contenido de Cenizas < 60%	Calcio (CaO) > 5.0%
Relación C/N > 10	C.I.C. meq/100 gr > 40
PH 6,5 a 8	Sílice Total (SiO ₂) < 30%

REGISTRO ICA
Resolución 2806
Cumplimiento NTC 5167
Libre de patógenos
Presentación en bulto de 50 kilos

RECOMENDACIONES DE USO

- Aplicar incorporado en pre-siembra, preparación de suelo, aporques y/o reabonadas.
- No usar como sustrato único en semillero y plantulación.
- Se recomienda para cualquier cultivo a campo abierto o bajo invernadero.
- Es compatible en mezcla con cualquier fertilizante químico.
- No aplicar antes de desinfectar el suelo.
- Se debe utilizar elementos de protección siguiendo pautas de programas de BPA (Buenas Prácticas Agrícolas).
- Se recomienda programar las dosis de acuerdo al cultivo, tipo de suelo y siguiendo las recomendaciones de un Ingeniero Agrónomo basadas en un análisis de suelo y/o foliar.
- Puede tener un ligero aumento de temperatura en almacenamiento y transporte.

Para cualquier inquietud comuníquese con nosotros para su uso y dosificación

VALORES AGREGADOS


- Ofrecemos acompañamiento técnico.
- Producimos abonos orgánicos y orgánico-minerales de acuerdo con sus necesidades y con base en las características del suelo y los requerimientos de su cultivo.
- Elaborado a partir de material orgánico.

Bogotá - Colombia Tel : (1) 530 5988 - 312 4583725 / contacto@terraviva.com.co / www.terraviva.com.co

ANEXO F


ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DE LAS TRES PILAS

Figura 1. Análisis microbiológicos de las tres pilas.



Dr. Calderón
LABS.

Somos su mejor alternativa...



Copia Autorizada
Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.
Fecha: 2017-10-03
Firma autorizada: *[Signature]*

ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
CONTROL DE CALIDAD
FOUARR
SUELOS
AGUAS


ANÁLISIS DE ENTEROBACTERIAS Y SALMONELLA S.P.

Propietario: Camila Torres		Fecha de Análisis: 25-sep-17	No. Laboratorio: 14730
Dirección: Cra 60 F No. 49 - 28 Sur		Fecha de Muestreo: 22-sep-17	Fecha de Reporte: 06-oct-17
Ciudad: Bogotá		Orden de T. #: 59751	
Procedencia: LA MESA	Nombre del Análisis: Análisis de Enterobacterias y Salmonella sp.	Características: Lodo color café	
Identificación de la Muestra: Lodo Residual - PTAR Municipal - Muestra 1		Otros Datos: Finca Aguas El Tequendama	


RESULTADOS DEL ANÁLISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VULGAR	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Enterobacterias		10 x 10 E 4 UFC/g	LBC 199
2	Salmonella sp	Salmonelosis	Ausencia/25g	LBC 205

OBSERVACIONES




Juan Carlos Amézquita
Microbiólogo



Felipe Calderón Sáenz
Director General

LABORATORIO Y OFICINAS: AV. CRA. 20 No. 87-81 - FAX: 623 6576 - TELS.: 622 2687, 622 5567, 622 4985, 533 1559 ☎ 320 493 6197
E-MAIL: calderon@drcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drcalderonlabs.com - BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA.

Figura 1. (Continuación).



Dr. Calderón
LABS.
Somos su mejor alternativa...

Copia Autorizada
Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.
Fecha: 2017-10-03
Firma autorizada: *[Firma]*

ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
CONTROL DE CALIDAD
FOUARR
SUELOS
AGUAS

ANÁLISIS DE ENTEROBACTERIAS Y SALMONELLA S.P.

Propietario: Camila Torres		Fecha de Análisis: 25-sep-17	No. Laboratorio: 14731
Dirección: Cra 60 F No. 49 - 28 Sur		Fecha de Muestreo: 22-sep-17	Fecha de Reporte: 06-oct-17
Ciudad: Bogotá		Fecha de Recepción: 25-sep-17	Orden de T. #: 59751

Procedencia	Nombre del Análisis	Características
LA MESA	Análisis de Enterobacterias y Salmonella sp.	Lodo color caté
Identificación de la Muestra		Otros Datos
Lodo Residual - PTAR Municipal - Muestra 2		Finca Aguas El Tequendama

RÉSULTADOS DEL ANÁLISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VULGAR	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Enterobacterias		20 x 10 E 2 UFC/g	LBC 199
2	Salmonella sp	Salmonelosis	Ausencia/25g	LBC 205


OBSERVACIONES

[Firma]
Microbiólogo


[Firma]
Director General

LABORATORIO Y OFICINAS: AV. CRA. 20 No. 87-81 - FAX: 623 6576 - TELS.: 622 2687, 622 5567, 622 4985, 533 1559 ☎ 320 493 6197
E-MAIL: calderon@drcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drcalderonlabs.com - BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA.

Figura 1. (Continuación).



Dr. Calderón
LABS.
Somos su mejor alternativa...



Copia Autorizada
Dr. Calderón Asistencia Técnica Agrícola Ltda.
Fecha: 2017-10-03
Firma autorizada: *[Signature]*

ASISTENCIA TÉCNICA AGRÍCOLA
CONTROL DE CALIDAD
FOUARR
SUELOS
AGUAS


ANÁLISIS DE ENTEROBACTERIAS Y SALMONELLA S.P.

Propietario: Camila Torres		Fecha de Análisis	No. Laboratorio
Dirección: Cra 60 F No. 49 - 28 Sur		25-sep-17	14732
Ciudad: Bogotá		Fecha de Muestreo	Fecha de Reporte
		22-sep-17	06-oct-17
		Orden de T. #	59751


Procedencia	Nombre del Análisis	Características
LA MESA	Análisis de Enterobacterias y Salmonella sp.	Lodo color beige con partículas blancas
Identificación de la Muestra		Otros Datos
Lodo Residual - PTAR Municipal - Muestra 3		Finca Aguas El Tequendama

RESULTADOS DEL ANALISIS

ENT. No.	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE VULGAR	POBLACION	METODO ANALITICO
1	Enterobacterias		16 x 10 E 1 UFC/g	LBC 199
2	Salmonella sp	Salmonelosis	Ausencia/25g	LBC 205
OBSERVACIONES				



Juan Camilo Amezquita
Microbiólogo




Felipe Calderón Sáenz
Director General

LABORATORIO Y OFICINAS: AV. CRA. 20 No. 87-81 - FAX: 623 6576 - TELS.: 622 2687, 622 5567, 622 4985, 533 1559 ☎ 320 493 6197
E-MAIL: calderon@drcalderonlabs.com - WEB SITE: www.drcalderonlabs.com - BOGOTÁ, D.C. - COLOMBIA.

ANEXO G

COTIZACION DE EQUIPOS

Figura 1. Cotización trituradora



PENAGOS HERMANOS Y CIA. LTDA
 CALLE 28 N°20-80
 BUCARAMANGA - COLOMBIA
 TEL: (7) 6301600, FAX: (7) 6302795

BOGOTÁ, SEPTIEMBRE 15 DEL 2017

EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA

COTIZACION 15-09-2017

CANT	REF	DESCRIPCIÓN	Vr. TOTAL
1	TDV24ARM PENAGOS	<ul style="list-style-type: none"> • Tritrador TDV24ARM Penagos • Equipo diseñado para el tratamiento de desechos • Tolva con sistema de alimentación mecánica de tambor con dedos retractibles que facilitan la entrada del material a la cámara de trituración • Tolva lateral de leños verdes de hasta 1 1/2" diámetro • 24 martillos tipo sierra de 6 posiciones de trabajo que desgarran el material facilitando su rápida estabilización • Deflector de salida abatible para controlar la distancia de la expulsión del material facilitando elaboración de la pila • Montada sobre ruedas neumáticas de 16" para facilitar su desplazamiento • Capacidad 10-12 metros cúbicos por hora de material a triturar • Con motor eléctrico trifásico de 15 hp 	
TOTAL			12.255.000

*FORMA DE PAGO: 50% para el pedido 50% para la entrega
 *ESTOS PRECIOS SON DE FÁBRICA
 *TIEMPO DE ENTREGA: 30 días previa confirmación de pedido y consignación.
 *GARANTÍA: 6 meses por defecto de fabricación
 *Fletes: por cuenta del comprador no están incluidos en la cotización

LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS, LA MANO DE OBRA, LOS MATERIALES Y OBRAS CIVILES SON
 POR CUENTA DEL COMPRADOR

Cordialmente,

CLAUDIA PENAGOS.
 GERENTE LÍNEA MAQUINARIA AGRÍCOLA.

Figura 2. Cotización bascula



Jorge E. Jaramillo Y Cia. S.A.S.
Integradores de soluciones industriales sólidas



jjycia@une.net.co
www.jjycia.com

PBX: 57 (6) 874 2302 FAX: 57 (6) 874 9043 Dirección: Calle 104A No. 30A-10 Manizales - Colombia

Oferta No. AMPV- 1-oct-15-REV A-

Para: EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA
Compañía:
e-mail:
Fecha: SEPTIEMBRE 15 DEL 2017

Referencia: COTIZACION DE BASCULA

Opción 1
Una bascula electronica marca PESA-PACK, estructura galvanizada con plataforma inoxidable de 600 x 600 mm , celda de carga sellada para ambiente industrial.
Un indicador digital WEIGH TRONIX Americano modelo ZM-201 con caja inoxidable, puerto de comunicación ethernet y serial , operación a 90-240 VAC .
Capacidad de 40 a 600 kg
La capacidad la da el cliente según requerimiento
Precio de ventas: \$ 2.968.834+IVA C/U Incluye el costo del flete

Opción 2
Una bascula electronica marca PESA-PACK, estructura FULL INOX 304, con plataforma inoxidable de 600 x 600 mm , celda de carga sellada para ambiente industrial.
Un indicador digital WEIGH TRONIX Americano modelo ZM-201 con caja inoxidable, puerto de comunicación ethernet y serial , operación a 90-240 VAC .
Capacidad 40 a 600 kg
La capacidad la da el cliente según requerimiento
Precio de ventas: \$ 3.388.834+IVA C/U Incluye el costo del flete

Si requiere el pedestal sumar al valor de la báscula:
Pedestal para báscula de 60*60 acero al carbón
Precio \$ 105.000 + IVA c/u
Pedestal para báscula de 60*60 acero inoxidable 304
Precio \$ 150.000 + IVA c/u

LA BÁSCULA PUEDE IR SOBRE PUESTA EN CUALQUIER SUPERFICIE O INSERTADA EN FOSO.



Figura 2. (Continuación).



Jorge E. Jaramillo Y Cia. S.A.S.
Integradores de *soluciones industriales sólidas*

PESA PACK

jjycia@une.net.co
www.jjycia.com

PEX: 57 (6) 874 2302 FAX: 57 (6) 874 9043 Dirección: Calle 104A No. 30A-10 Manizales - Colombia




ALGUNOS DE LOS GRANDES BENEFICIOS DE NUESTRAS BÁSCULAS PLATAFORMA:

- Diseñadas para trabajo pesado
- El rango de temperatura en su ambiente de trabajo es de -100c hasta 400c (Dependiendo de las celdas de Carga y el indicador seleccionado).
- Puede trabajar con cualquiera de los indicadores relacionados
- Portables. (Según su tamaño o ruedas)

CONDICIONES COMERCIALES

Entrega: Dos Semana luego de la orden de compra

Pago: Anticipado

Validez: 15 días calendario.

Para productos de importación sobre pedido no se aceptan devoluciones ni cancelaciones de órdenes de compra, ni devolución de anticipos. Demoras de entrega por causa del fabricante o fuerza mayor no son causa de cancelación de la orden.

Garantía: Cambio gratuito de partes defectuosas por un período de 12 meses de operación o 13 meses después del despacho, lo que ocurra primero. No incluye mano de obra ni gastos del técnico. Las partes se entregan libres de costo en la planta del fabricante. La garantía en celdas de carga es de 6 meses y no cubre daños por millivolios altos (Sobrecarga) o resistencia del puente abierta (Sobrevoltaje). Requiere el despacho por cuenta del comprador, de la(s) celda(s) dañadas al fabricante para evaluación.


En equipos/componentes comprados a terceros aplicara la garantía de dicho proveedor/fabricante.

La garantía no cubre:


- Daños causados por factores externos como transporte, manipulación inadecuada, daño del embalaje, saqueo o robo.
- Celdas de carga de capacidad menor a 50 Kg que no haya sido montada por nuestro personal.
- Daños causados por el uso indebido del producto contrario a las instrucciones de manejo y/o instalación o por montaje por personas no autorizadas por Jorge E. Jaramillo & Cia.



Figura 2. (Continuación).



Jorge E. Jaramillo Y Cia. S.A.S.
Integradores de **soluciones industriales sólidas**



PESAPACK

jjycia@une.net.co
www.jjycia.com

PBX: 57 (6) 874 2302 FAX: 57 (6) 874 8043 Dirección: Calle 104A No. 30A-10 Manizales - Colombia

- Daños ocasionados por accidentes, catástrofes naturales, desorden público, sobrecarga mecánica o eléctrica.
- Reclamaciones que no se hagan dentro de los 15 días siguientes a haber detectado el problema.
- Daños consecuenciales que pueda sufrir el comprador como resultado de un defecto del equipo. Se entienden así daños como pérdida de producto, daño del mismo, pérdida de producción, costos de transporte, pérdida de ventas, pérdida de ingresos o gastos de mano de obra y manejo.
- Partes y piezas sujetas a desgaste normal.

Montaje/ Puesta en marcha : El montaje mecánico y tendido de cables los hace el comprador con nuestra información y/o asistencia .Las conexiones finales, configuración, calibración, pruebas, puesta en marcha y entrenamiento de personal lo hacen nuestros Ingenieros y no están incluidos en el valor de los equipos . El comprador hace tendido de tubería conduit y cables entre caja de conexiones y controlador electrónico.

Exclusiones: Nuestra oferta no incluye lo siguiente:


Gastos de timbre y legalización de contrato, ni costo de primas de seguros que se exijan.
Obras civiles, eléctricas o mecánicas que se requieran, acometidas de aire o eléctricas, ni tableros de potencia.
Costo de transporte al menos que se haya incluido en el precio.
Todo aquello que no este explícitamente detallado en la oferta.

Por favor no dude en contactarnos si requiere mayor información.

ANGELA MARIA PEREZ, V

Angela María Pérez Vallejo
Jorge E. Jaramillo Y, y Cia. S.A.S
Integradores de **soluciones industriales sólidas**
PESAPACK
Calle 104 A # 36 A-10 Barrio la Esca Manizales



 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016


AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES




Yo MARIA CAMILA TORRES CORTES en calidad de titular de la obra PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS GENERADOS EN LA PTAR DE LA EMPRESA REGIONAL AGUAS DEL TEQUENDAMA, elaborada en el año 2017 , autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que me corresponde y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autor manifesté conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retrada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autor establezco las siguientes condiciones de uso de mi obra de acuerdo con la *licencia Creative Commons* que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a su autor.

De igual forma como autor autorizo la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

AUTORIZO	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	x	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaré, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		x

Para constancia se firma el presente documento en, a los 14 días del mes de noviembre del año 2017.

EL AUTOR:

Autor 1

Nombres	Apellidos
MARIA CAMILA	TORRES CORTES
Documento de identificación No	Firma
1013632545	<i>M^a CAMILA TORRES</i>