

PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE
LOS LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PTAR DEL PARQUE
AGROINDUSTRIAL DE OCCIDENTE OPERADA POR SITAGA S.A.S

DANIELA BUITRAGO AMÓRTEGUI
ESTEFANÍA GARZÓN FORERO

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

2019

PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO A PARTIR DE
LOS LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PTAR DEL PARQUE
AGROINDUSTRIAL DE OCCIDENTE OPERADA POR SITAGA S.A.S

DANIELA BUITRAGO AMÓRTEGUI

ESTEFANÍA GARZÓN FORERO

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Director

JOSÉ LUIS SALAZAR

Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA

BOGOTÁ D.C

2019

Nota de aceptación

Ing. Oscar Libardo Lombana Charfuelan

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Bogotá D.C, Noviembre 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector de Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Postgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano de Facultad de Ingenierías

Dr. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Departamento de Ingeniería Química

Dr. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente son exentos de la responsabilidad de los criterios e ideas expuestos en el presente documento. La responsabilidad es exclusiva de las autoras.

Principalmente agradezco a Dios al ser incondicional en mi vida y guiarme durante este proceso, permitiéndome culminar esta etapa de mi proyecto personal. A mis padres, que siempre me apoyaron sin importar las circunstancias y me brindaron las palabras correctas en el momento justo; a mi papá por ser mi mejor amigo y consejero y a mi mamá por su ternura y paciencia. A mi hermano por su apoyo emocional e intelectual. A Cris por estar siempre presente en mi vida y apoyar cada una de mis decisiones; a mi compañera de trabajo de grado porque logramos ser un buen equipo y a cada una de las personas que hicieron parte de este camino.

Daniela Buitrago Amórtegui

Agradezco a Dios por guiarme y acompañarme en cada momento permitiéndome culminar esta etapa tan importante en mi vida. A mis padres, por ser el pilar más importante y por su apoyo incondicionalmente; a mi mamá por su paciencia, amor y por ser mi guía cada día, a mi papá por su esfuerzo y compañía logrando que esto se hiciera posible. A mi hermana por su motivación, ejemplo y fortaleza. A mi compañera de trabajo de grado por su compromiso y a cada persona que me acompañó y apoyo en este proceso, todos hacen parte fundamental de mi vida y de este proyecto.

Estefanía Garzón Forero

AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos son a:

SITAGA S.A.S por darnos la confianza y oportunidad de desarrollar nuestro proyecto de grado y a todos los colaboradores de esta empresa que aportaron a este trabajo de grado.

El Ingeniero Andrés Mahecha por su asesoría y excelente disposición en la ejecución del proyecto.

El Químico Duvan Soto por guiarnos y darnos las herramientas adecuadas para el desarrollo del proyecto.

La Universidad Fundación América y a sus docentes por brindarnos sus conocimientos para formarnos como profesionales.

Nuestro director de tesis José Luis Salazar por su apoyo en el desarrollo de este proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. GENERALIDADES	23
1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	23
1.2 PRODUCCIÓN DE LODOS RESIDUALES	23
1.3 ACONDICIONAMIENTO DE LODOS	25
1.3.1 Espesamiento	25
1.3.2 Acondicionamiento	26
1.3.3 Deshidratación	27
1.3.4 Estabilización	27
1.4 CLASIFICACION DE LOS LODOS	28
1.5 ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS	29
1.5.1 Fabricación de ladrillos	29
1.5.2 Fabricación de cemento	30
1.5.3 Compostaje	31
1.5.3.1 Condiciones Requeridas	31
1.5.3.2 Tipos de compostajes	32
1.5.3.3 Sistemas de compostaje	33
2. DIAGNÓSTICO	35
2.1.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESO PRECURSOR AL COMPOSTAJE	35
2.1.2 Proceso en planta de tratamiento de aguas residuales.	36
2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS	38
2.2.1 Caracterización físico-química y microbiológica	38
2.3 AGENTES DE CARGA	41
3. PROCESO DE COMPOSTAJE DE LOS LODO	43
3.1 MATRIZ DE SELECCIÓN PROCESO DE COMPOSTAJE	43
3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL	46
3.2.1 Construcción de reactores	46
3.2.2 Variables iniciales	49
3.2.3 Método de medición de las variable	50
3.2.4 Acondicionamiento del terreno	52
3.2.5 Balance materiales	53
3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
3.3.1 Cenizas	56
3.3.2 pH	58
3.3.3 Temperatura	59
3.3.4 Humedad	62

3.3.5	Sólidos Volátiles	64
3.3.6	Relación C/N	65
3.3.7	Microorganismos Patógenos	66
3.3.8	Análisis del abono producido	67
4.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	69
4.1	RECOLECCION DE MATERIAS PRIMAS	69
4.1.1	Lodo Residual	69
4.1.2	Materia Orgánica	69
4.1.3	Poda de Césped	70
4.2	CONDICIONES DE PROCESO DE COMPOSTAJE	70
4.2.1	Reactor	70
4.2.2	Empaque	71
4.3	ÁREA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	71
5.	ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO	74
5.1	INVERSIÓN	74
5.1.1	Costo de equipos	74
5.2	EGRESOS	74
5.2.1	Costos de mano de obra	74
5.2.2	Depreciación	75
5.2.3	Costos Directos	75
5.2.4	Costos Indirectos	76
5.3	INGRESOS	77
5.4	FLUJO DE CAJA	78
6.	CONCLUSIONES	82
7.	RECOMENDACIONES	83
	BIBLIOGRAFIA	84
	ANEXOS	93

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Composición física, química y biológica típica del lodo	24
Tabla 2. Categorización de los lodos.	24
Tabla 3. Procesos de estabilización	28
Tabla 4. Técnicas empleadas en el Laboratorio AllChem	39
Tabla 5. Principales parámetros físico - químicos y microbiológicos.	39
Tabla 6. Características agentes de carga.	42
Tabla 7. Matriz de selección proceso de compostaje.	45
Tabla 8. Especificaciones del reactor y soporte.	48
Tabla 9. Resumen de condiciones de un proceso de compostaje ideal.	49
Tabla 10. Cantidades de lodo y agentes de carga.	55
Tabla 11. Condiciones iniciales de la experimentación.	56
Tabla 12. Cantidad inicial y final de cenizas y coeficientes de degradación.	57
Tabla 13. Porcentaje inicial y final de sólidos volátiles.	64
Tabla 14. Relación C/N	65
Tabla 15. Carbono total y nitrógeno total al final del proceso de cada reactor.	66
Tabla 16. Temperaturas y tiempos requeridos para la eliminación de patógenos más comunes.	66
Tabla 17. Caracterización microbiológica al final compostaje	67
Tabla 18. Resumen de caracterización de abonos orgánicos producidos.	68
Tabla 19. Costos de inversión.	74
Tabla 20. Costos mano de primer año.	74
Tabla 21. Proyección mano de obra a cinco años	75
Tabla 22. Depreciación anual.	75
Tabla 23. Costos directos	76
Tabla 24. Costos Indirectos primer año	76
Tabla 25. Incremento arriendo a cinco años	77
Tabla 26. Ingresos estimados de la propuesta de compostaje	78
Tabla 27. Flujo de caja proyectado a 10 años.	79

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Diagrama del tratamiento convencional de aguas residuales en la planta	35
Figura 2. Esquema balance de materiales	53
Figura 3. Diagrama de bloques del proceso.	69
Figura 5. Ficha técnica reactor rotatorio horizontal	71

LISTA DE IMÁGENES

	pág
Imagen 1 Lecho de secado con lodo residual	37
Imagen 2 Muestra de lodo enviada a la caracterización.	38
Imagen 3. Vista interior del reactor	47
Imagen 4. Reactor con aislante térmico y soporte	48
Imagen 5. Lugar del montaje experimental.	52
Imagen 6. Estado inicial de cada reactor.	55
Imagen 7. Fase termófila en reactor (a) y reactor 2 (b)	60

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Esquema de reactor horizontal con rotación asistida.	47
Ilustración 2. Plano planta de tratamiento de aguas PAO.	72
Ilustración 3. Plano bodega.	72

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Sólidos Volátiles.	52
Ecuación 2. Balance Global	54
Ecuación 3. Balances elementales.	54
Ecuación 4. Relación C/N deseada.	54
Ecuación 5. Relación C/N en términos de humedad.	54
Ecuación 6. Humedad global.	54
Ecuación 7. Coeficiente de degradación.	57
Ecuación 8. Valor Presente Neto	80
Ecuación 9. Tasa Interés de Retorno	80

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfica 1. Comportamiento de pH.	58
Gráfica 2. Perfil de temperaturas a las profundidades de 5cm (a), 10cm (b) y 15cm (c).	60
Gráfica 3. Comportamiento de humedad.	63

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Caracterización lodos residuales	94
Anexo B. Caracterización residuos orgánicos y poda de césped.	96
Anexo C. Instrumentos de medición para el seguimiento de las variables.	97
Anexo D. Protocolos de medición para las variables del proceso.	99
Anexo E. Seguimiento Humedad.	102
Anexo F. Seguimiento Temperatura.	103
Anexo G. Seguimiento pH.	104
Anexo H. Caracterización Abono Orgánico.	105
Anexo I. Cálculo de cantidad de materiales de carga producidos.	107

GLOSARIO

ABONO: es un producto sólido o líquido obtenido a partir de la estabilización de residuos orgánicos y debe cumplir la normativa vigente.

AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS: son las procedentes de los hogares, así como las de las instalaciones en las cuales se desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicios

AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: son las aguas vertidas, recolectadas y transportadas por el sistema de alcantarillado público, compuestas por las aguas residuales domésticas y las aguas no domésticas

BIOSÓLIDOS: producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso.

DESHIDRATACIÓN DE LODOS: proceso de remoción del agua de lodos hasta formar una pasta sólida.

DIGESTIÓN AERÓBICA: es la descomposición biológica en condiciones controladas de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en bióxido de carbono y agua por los microorganismos en presencia de oxígeno.

DIGESTIÓN ANAEROBIA: es la descomposición biológica en condiciones controladas de la materia orgánica presente en los lodos, que es transformada en gas metano y bióxido de carbono y agua por los microorganismos en ausencia de oxígeno.

EFICIENCIA DE TRATAMIENTO: relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración en el afluente, para un proceso o planta de tratamiento y un parámetro específico; normalmente se expresa en porcentaje.

ESTABILIZACIÓN DE LODOS: proceso que comprende los tratamientos destinados a controlar la degradación biológica, la atracción de vectores y los patógenos de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales acondicionándolos para su uso o disposición final.

LECHO DE SECADO: dispositivos que eliminan una cantidad de agua suficiente de lodos para que puedan ser manejados como material sólido.

LODO: suspensión de un sólido en un líquido proveniente del tratamiento de aguas residuales municipales.

ORGANISMOS PATÓGENOS: microorganismos que pueden causar enfermedades en otros organismos, ya sea en humanos, animales y plantas.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL: conjunto de obras, instalaciones, procesos y operaciones para tratar las aguas residuales.

SÓLIDOS ACTIVOS: parte de los sólidos volátiles en suspensión que representan los microorganismos.

SÓLIDOS NO SEDIMENTABLES: materia sólida que no sedimenta en un período de 1 hora, generalmente.

SÓLIDOS SEDIMENTABLES: materia sólida que sedimenta en un periodo de 1 hora.

VERTIMIENTO: el vertimiento es la disposición controlada o no de un residuo líquido doméstico, industrial, urbano agropecuario, minero, etc.

RESUMEN

El presente proyecto pretende plantear y evaluar una propuesta para la producción de abono orgánico a partir del lodo generado por la planta de tratamiento de aguas del Parque Agroindustrial de Occidente mediante un proceso de compostaje aerobio, que al ser implementado como sistema de tratamiento de los residuos sólidos reduzca principalmente los sobrecostos ocasionados a la empresa SITAGA S.A.S por su disposición. El compostaje es una práctica ampliamente aceptada como sostenible por su potencial para el tratamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos, su puesta en marcha ayuda a mitigar el impacto ambiental y en muchos casos trae rentabilidad a las empresas que lo implementan¹.

La gestión actual para el tratamiento sostenible de los residuos en base a la producción de abono tiene diferentes alternativas, a partir de esto el desarrollo de este proyecto tuvo como primera instancia el análisis de los diversos procesos de compostaje que se llevan a cabo en la actualidad, teniendo en cuenta los intereses de la compañía se seleccionó la fabricación de un reactor horizontal con volteo manual, posteriormente con el objetivo de favorecer el proceso se determinaron las principales características del lodo producido en la planta, y de los demás insumos que se escogieron como agentes de carga; además se seleccionaron los parámetros controlados a lo largo de la experimentación.

A partir del estudio para determinar la aplicabilidad del producto obtenido se evidencio la aptitud del producto para su uso, esto fue determinado por medio de una caracterización que estimo los principales índices que reconocieron el buen desempeño que brindaría el mismo en la recuperación de suelos erosionados. Finalmente se evaluó financieramente el proyecto por medio de dos índices financieros: valor presente neto y tasa interna de retorno para estimar la viabilidad de la implementación del proyecto.

Palabras Claves:

- Compostaje aerobio
- Lodo residual
- Reactor horizontal
- Abono Orgánico

¹ LOPEZ N. Propuesta de programa para el manejo de residuos solidos en la plaza de mercado de Cerete - Cereabastos- Cordoba. Trabajo de grado. Pontificia Universidad Javeriana. 2009. 105p.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el aumento progresivo de las actividades industriales ha provocado un incremento en la generación de residuos urbanos constituyéndose en uno de los mayores problemas afectando negativamente el ambiente y produciendo sobrecostos operacionales a las empresas. Ante el reto de la mitigación, reducción o eliminación de una cantidad significativa es importante concientizar en la necesidad de implementar soluciones que se fundamenten en el aprovechamiento de los residuos y sus propiedades. En el presente trabajo se plantea una propuesta para la producción de abono orgánico a partir de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del Parque Agroindustrial de Occidente operada por SITAGA S.A.S desarrollando un proceso de compostaje aerobio.

Para el análisis de las alternativas de compostaje, es fundamental la caracterización físico-química y microbiológica de los lodos residuales a partir de esto la selección del método a desarrollar se realiza por medio de una matriz de selección, evaluando diversos parámetros como lo son el tiempo de retención, eficiencia, área disponible requerida y costo de inversión. El proceso de compostaje seleccionado se enfoca en un reactor horizontal con volteo llevado a cabo en tanques de polietileno aislados con espuma de poliuretano para evitar pérdidas de calor por las paredes adicionalmente son aireados por medio de rotación manual.

El seguimiento del proceso se realiza por medio de la medición de diversos parámetros de tipo in-situ y ex-situ con el objetivo de asegurar el correcto desarrollo del proceso de compostaje. Finalmente, el producto obtenido se evalúa en una caracterización final evaluando si es apto para la rehabilitación de suelos degradados mejorando las condiciones del suelo elevando los niveles de nutrientes en zonas afectadas por la erosión.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas del Parque Industrial de Occidente operada por SITAGA S.A.S

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características físico-químicas y microbiologías de los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas del Parque Industrial de Occidente.
- Seleccionar un proceso de compostaje para la producción de abono orgánico a partir de lodos residuales.
- Determinar las especificaciones técnicas para la producción de abono orgánico.
- Determinar los costos de la propuesta.

1. GENERALIDADES

Este capítulo se enfocará en exponer los soportes bibliográficos que tratan sobre lodos residuales, sus alternativas de tratamiento y disposición adicionalmente el enfoque teórico para la producción de abono orgánico como aprovechamiento.

1.1 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En las plantas de tratamiento de aguas sucede el proceso de conversión de aguas residuales, en aguas que según la normatividad se pueden descargar nuevamente al medio ambiente. Las aguas residuales están llenas de contaminantes, incluyendo bacterias, productos químicos y otras toxinas. Su tratamiento apunta a reducir los contaminantes a niveles aceptables para hacer que el agua sea segura para su vertimiento².

1.2 PRODUCCIÓN DE LODOS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales los productos que se forman durante los procesos mecánicos, biológicos y químicos³, son separados mediante sedimentación o flotación que conforman suspensiones que se conocen como lodos o biosólidos; son el subproducto más importante y en volumen más generado en todo el sistema de tratamiento. En los últimos años, la cantidad de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, se han convertido en un grave problema en muchos países, debido a que en la mayoría de los casos constituyen un residuo necesario de gestionar debido a la problemática ambiental, lo que significa un gasto operacional adicional a cada una de las plantas⁴.

Las características de dichos lodos dependen de su origen, el tiempo de retención y el tipo de tratamiento dado. La composición química, física y biológica de los lodos tratados⁵ se presenta a continuación en la Tabla 1.

² RINKESH.. What is wastewater treatment [en línea] Conserve energy future. Be green, Stay green: 2005 Disponible en: <https://www.conserve-energy-future.com/process-of-wastewater-treatment.php>

³ LAMASTRA Lucrezia, ALINA Nicoleta and TREVISAN Marco. Sewage sludge for sustainable agriculture: contaminants' contents and potential use as fertilizer. [en línea]. United States: Chemical and Biological Technologies in Agriculture. 2018. Disponible en: <https://chembioagro.springeropen.com/articles/10.1186/s40538-018-0122-3>

⁴ MIGUEL A. MONTES y MORAN, J. A.. 5. El problema de la gestión de lodos en EDARs. Madrid: Universidad Intenacional de Andalucía, 2010. p 114-115

⁵ GEORGE TCHOBANOGLIOUS, FRANKLIN L BURTON and H. DAVID STENSEL.. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. Fourth Edition. New York. McGraw Hill, 2003, p 1451-1454.

Tabla 1. Composición física, química y biológica típica del lodo

Descripción	Unidad	Lodo primario	Lodo primario digerido	Lodo secundario
[] Concentración de sólidos	%	5-9	2-5	0.8-1.2
Sólidos Volátiles	% de ST ¹	60-80	30-60	59-88
Proteína	% de ST	20-30	15-20	32-41
Nitrógeno (N)	% de ST	1.5-4	1.6-3	2.4-5
Fósforo (P ₂ O ₅)	% de ST	0.8-2.8	1.5-4	2.8-11
Óxido de potasio (K ₂ O)	% de ST	0-1	0-3	0.5-0.7
Celulosa	% de ST	8-15	8-15	-
Hierro	% de ST	2-4	3-8	-
Óxido de silicio (SiO ₂)	% de ST	15-20	10-20	-
pH	u. pH	5-8	6.5-7.5	6.5-8
Alcalinidad	mgCaCO ₃ /l	500-1,500	2,500-3,500	580-1,100
Ácidos orgánicos	mg HaC/l	200-2,000	100-600	1,100-1,700
Contenido energético	Kj ST/ kg	23,000-29,000	9,000-14,000	19,000-23,000
Humedad	%	92-96	97.5-98	94-97
Organismos parásitos	(N° por 100ml)	8-12	1-30	1-3
Metales pesados	%	0.2-2	0.2-2	0.2-2

Fuente: GEORGE TCHOBANOGLOUS, FRANKLIN L BURTON and H. DAVID STENSEL.. Wastewater Engineering Treatment and Reuse. New York. 2003, p 1451.

Los lodos residuales además de clasificarse dependiendo su composición física, química y biológica, se categorizan de acuerdo a los valores máximos permisibles para su uso⁶. (Ver Tabla 2).

⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. *Decreto 1287* (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Bogotá, D.C., El Ministerio, 2014. 4p

Tabla 2. Categorización de los lodos.

CRITERIO	VARIABLE	UNIDAD DE MEDIDA	BIOSÓLIDOS Valores máximos permisibles	
			A	B
QUÍMICOS- METALES Concentraciones máximas	Arsénico (As)	mg/ kg de biosólidos (base seca)	20,0	40,0
	Cadmio (Cd)		8,0	40,0
	Cobre (Cu)		1.000,0	1750,0
	Cromo (Cr)		1.000,0	1500,0
	Mercurio (Hg)		10,0	20,0
	Molibdeno (Mb)		18,0	75,0
	Níquel (Ni)		80,0	420,0
	Plomo (Pb)		300,0	400,0
	Selenio (Se)		36,0	100,0
	Zinc (Zn)		2.000,0	2800,0
	MICRO- BIOLÓGICOS		Coliformes fecales	Unidades formadoras de Colonias UFC/g de biosólidos (base seca)
Huevos de Helmintos Viables		Huevos de Helmintos viables / 4 g de biosólidos (base seca)	< 1,0	< 10,0
Salmonella sp.		Unidades formadoras de colonias – UFC / en 25 g de biosólidos (base seca)	Ausencia	< 1,00E (+3)
Virus entéricos		Unidades formadoras de Placas – UPC / 4g de biosólidos (base seca)	< 1,0	-

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287. Bogotá D.C.:El Ministerio, 2014. 4p

1.3 ACONDICIONAMIENTO DE LODOS

El tratamiento de aguas residuales tiene como objetivo remover contaminantes con el fin de adaptarlas para otros usos. Sin embargo, como consecuencia del tratamiento se forman lodos residuales como subproducto, en su estado primario son líquidos y cuentan con una gran carga de materia orgánica lo que hace que sean un problema y necesiten ser tratados.

1.3.1 Espesamiento. Proceso cuyo objetivo es el incremento de la eficiencia y ahorro económico en los procesos posteriores, reduciendo el volumen del lodo, eliminando el agua y aumentando la concentración en sólidos. Existen diferentes procesos de espesamiento⁷.

- **Espesamiento por gravedad:** La alimentación se produce por una cámara de alimentación central, los lodos sedimentados se recogen en la parte inferior

⁷CONDORCHEM ENVITECH. Retrieved from Smart Ideas for wastewater& air treatment: [en línea]. España. 2018. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-lodos/>

previamente espesados, el lodo que se extrae se bombea a los digestores mientras que el sobrenadante ubicado en la parte superior se retorna al sedimentador primario. Este tipo de espesamiento por gravedad resulta más efectivo en el tratamiento primario⁸.

- **Espesamiento por flotación:** En este proceso se introduce aire a una presión determinada uniendo los sólidos suspendidos a micro burbujas que terminan siendo menos densas que el agua, cuando se despresuriza la solución el aire disuelto se libera arrastrando el lodo hasta la superficie en donde es recogido con un desnatador. Este proceso es el indicado para espesamiento de lodos biológicos por su baja capacidad de sedimentación.
- **Espesamiento Mecánico:** Se utiliza tanto para espesar los lodos como para deshidratarlos. La concentración del lodo varía de acuerdo al aumento de las fuerzas gravitacionales.
 - Centrifugación: Permite la separación gracias a la fuerza centrífuga. Es útil para lodos biológicos, aunque su desventaja son los equipos ya que tienen un gran valor en el mercado.
 - Tambor rotativo: Separa por filtración por medio de un tambor rotativo se emplea especialmente para lodos biológicos. Los costos de operación no son elevados, pero requiere de espacio.
 - Mesas espesadoras: Separa por drenaje del agua a través de una cinta horizontal porosa en movimiento. Es ideal para lodos activados o digeridos.

1.3.2 Acondicionamiento. El acondicionamiento del lodo se realiza para mejorar sus características de deshidratación. Antes de describir cada una de las tecnologías de deshidratación es preciso mencionar que, para obtener resultados óptimos, la mayoría de veces es necesario que los lodos pasen por un acondicionamiento previo con el objetivo de aumentar el tamaño medio de los coloides en suspensión.

- **Acondicionamiento físico:** Se consigue mediante un tratamiento térmico (180-200°C) durante 30-60 min, donde se logra un efecto combinado de floculación, precipitación y disolución de las partículas sólidas de los lodos⁹.
- **Acondicionamiento químico:** Basado en la adición de floculantes o

⁸MOGOLLON LOZANO Sergio M, CARRILLO CASTANEDA Carlos H. Evaluación técnica, económica y ambiental de lodos provenientes de la PTAR de la compañía internacional de alimentos agropecuarios (Cialta SAS) como alternativa de aprovechamiento para la producción de ladrillos cerámicos. Trabajo de grado (Ingeniería Ambiental y sanitaria).Bogotá D.C. *Universidad de la salle*. Facultad de ingenierías. Bogotá. 2016. pág 38-40.

⁹ MIGUEL A. MONTES - MORAN, J. A.. 5. El problema de la gestión de lodos en EDARs. Madrid: Universidad Internacional de Andalucía, 2010.113p.

coagulantes que cortan las repulsiones electrostáticas entre los coloides y aumenten en tamaño. Existen coagulantes o floculantes inorgánicos y orgánicos, aunque este método facilita la deshidratación, estos compuestos pasan a ser parte del lodo lo que significaría que la cantidad final aumentara.

1.3.3 Deshidratación. Consiste en una operación física empleada para reducir la humedad en los lodos y así su volumen, tiene como objetivos principales¹⁰.

- Mejorar el manejo y transporte
- Disminuir costos de operación
- Aumentar el contenido de materia seca (3-40%)
- Aumentar el poder calorífico por disminución de la humedad

Esta deshidratación se consigue mediante dos procesos

- **Centrifugación:** La técnica de centrifugación usa este principio, basada en la separación de la fase sólida y la fase líquida por diferencia de densidades al aplicar fuerza centrífuga al lodo. Hay dos tipos de centrifugación:
 - Centrifugación contra corriente
 - Centrifugación equicorriente
- **Filtración:** La filtración usa dos tipos de tecnologías: La filtración en sistema de bandas se fundamenta en hacer circular el lodo entre dos cintas que lo presionan gradualmente, consiguiendo que el agua sea eliminada de manera eficiente. Por otro lado, el filtro prensa se basan en paneles de tela cerrados exceptuando por un agujero central que conecta una cámara con la siguiente. Por este agujero se introduce el lodo que es sometido a una presión elevada mediante un sistema hidráulico y una vez alcanzado el nivel de sequedad, se descarga el lodo¹¹

1.3.4 Estabilización. Proceso en el cual se eliminan los olores, se reducen los patógenos y la capacidad de putrefacción de la materia orgánica. Los medios de estabilización más eficaces son: la oxidación química de la materia volátil; la adición de agentes químicos para inadecuar el lodo para la supervivencia de microorganismos y la aplicación de calor para esterilizar el lodo¹². Los procesos de estabilización se muestran en la siguiente tabla.

¹⁰Op cit., p. 287.

¹¹Op cit., 114 .p.

¹²OROPEZA GARCIA, N. Lodos residuales: Estabilización y manejo. En: Caos Conciencia, (Julio 2006). Vol. 1. No.1. 62p.

Tabla 3. Procesos de estabilización

ESTABILIZACIÓN BIOLÓGICA			
SISTEMA	DESCRIPCION	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aeróbica	Proceso que por acción microbiológica, se oxida la materia orgánica por el aporte de oxígeno en los digestores reduciendo la masa final de lodos.	-Riesgos operativos bajos -Residuos finales aplicables a suelos -Reducción de olores	-Mayor volumen del reactor. -Bajos resultados en las unidades de secado -Baja eficiencia en el frío.
Termófila	Consiste en una digestión desarrollada para cumplir con las regulaciones de manera más precisa. Basada en la conservación de energía térmica de la materia orgánica. Alcanzando temperaturas termófilas (50-70 °C)	-Elevada reducción de sólidos volátiles -Lodos higienizados -Lodos más secos -Menor volumen del reactor	-Alta agitación -Tanques con aislamiento térmico -Olores ocasionales -Espumas -Espesamiento previo.
Compostaje	Proceso de descomposición de materia orgánica bajo unas condiciones controladas y aeróbicas, generando temperaturas termófilas, producto del calor generado biológicamente, dando como resultado un producto libre de patógenos.	-Alta reducción del volumen inicial. -Descomposición y estabilización de la materia orgánica -Producto final óptimo para uso como abono o fertilizante orgánico -Eliminación de patógenos y parásitos.	-Necesidad de grandes superficies. -No existe recuperación energética -Necesidad de agentes estructurales.
Anaeróbica	Método más común para la estabilización de lodos, se degrada la materia orgánica por la ausencia de oxígeno, liberando energía en forma de metano (CH ₄), dióxido de carbono (CO ₂) y agua (H ₂ O), gracias a bacterias	-Volumen de reactor -Reducción de biomasa -Reducción de patógenos -Eliminación de olores -Recuperación energética.	-Proceso lento -Control minucioso de los parámetros críticos.

Fuente: CONDORCHEM ENVITECH. Retrieved from Smart Ideas for wastewater & air treatment: España. 2018. Modificado por el autor.

1.4 CLASIFICACION DE LOS LODOS

Según el Decreto 1287 de 2014¹³, como alternativas de usos de los lodos de acuerdo a la clasificación y categoría se pueden emplear así:

¹³ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Bogotá, D.C., El Ministerio, 2014. 7p.

Categoría A

- En zonas verdes como cementerios, campos de golf y lotes vacíos.
- En agricultura
- Como producto para áreas privadas como jardines, antejardines, patios, arborización.

Categoría B

- En agricultura, se aplicará al suelo.
- Plantaciones forestales
- Recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados
- Como insumo en el proceso de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores de suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos
- Lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, sustrato biológico y soporte físico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.
- Como insumo en la producción de materiales de construcción.
- Actividades de re-vegetalización y paisajismo de escombreras

1.5 ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS LODOS

Existen alternativas cuyo objetivo es disminuir la disposición de los lodos provenientes de plantas de plantas de tratamientos de aguas residuales, el tratamiento que se deben dar a los lodos depende de las características requeridas para que cumplan totalmente con los requisitos necesarios, estos tratamientos deben ser efectivos y que en lo posible no impliquen elevados costos¹⁴.

1.5.1 Fabricación de ladrillos. La introducción de lodos en el proceso resulta de especial interés debido a que determinados materiales cerámicos disponen de gran capacidad de inertización de metales pesados. Durante la cocción, los compuestos orgánicos del lodo: celulosa, lignina, grasas, microorganismos patógenos, etc. se destruyen y en su lugar crean poros cerrados que darán lugar a sus propiedades de aislamiento térmico. Los componentes inorgánicos quedan insertados e inmovilizados en la matriz vítrea de; cuerpo cerámico. En general, la introducción de lodos en matrices cerámicas tiene aspectos positivos energéticamente entre los cuales:

- Importante ahorro energético durante la cocción de cerámica en función de la presencia de materia combustible en la matriz cerámica aportada por los lodos (en cualquier caso, el balance total energético debe tener en cuenta también el

¹⁴ Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de las plantas de tratamiento. Quito: Dirección de medio ambiente. Repamar. (Agosto 1999).

proceso de secado).

- Ahorro del consumo de agua por la aportación de los lodos (contienen un promedio del 70% de humedad).
- Poder calorífico de los lodos aproximadamente 3,400 Kcal/Kg.

El máximo porcentaje de lodos que se podría mezclar con la arcilla cerámica se sitúa en torno al 40% aunque con esta cantidad, la adherencia de la mezcla es pobre y la textura superficial del ladrillo irregular, por lo tanto, las proporciones óptimas están entre el 10% y el 20%. La absorción de agua se incrementa al aumentar el porcentaje de lodo, dando lugar a una menor durabilidad¹⁵.

Según un estudio español, el principal problema encontrado en el proceso de fabricación industrial de ladrillos con lodos es el olor. La mezcla arcilla-lodo, se somete a temperaturas entre 80- 120 °C en las fases de extrusión y secado que favorecen el desprendimiento de sustancias volátiles presentes en el lodo, con un fuerte olor característico. Este estudio recomienda que previamente a la incorporación del lodo en el proceso cerámico, este sea sometido a un cuidadoso tratamiento de estabilización¹⁶.

1.5.2 Fabricación de cemento. Existen estudios sobre la utilización de lodos, previamente tratados con cal como materia prima alternativa en la fabricación del clínker, aportando calcio en el crudo en sustitución de la caliza¹⁷. (Utilización de lodos) Los estudios realizados indican que la clinkerización del crudo con este material produce clínkeres de composición mineralógica adecuada, similar a la obtenida utilizando un crudo industrial. En lo referente a los resultados del análisis de riesgo de la utilización de este material, se concluye que el tratamiento elimina a los microorganismos presentes en los lodos y por tanto, el riesgo biológico asociado. Se está realizando estudios sobre la utilización de los pellets de los lodos que son partículas de lodo seco con un diámetro comprendido entre 1 y 5 milímetros para la fabricación de cementos, unos primeros resultados muestran que sería posible reducir el resto de materias primas especialmente la adición de caliza¹⁸.

¹⁵España, Ministerio, ficha técnica. Estudio centro de estudios y experimentación de obras públicas. Lodos de depuradora. Residuos utilizables en construcción. España, Diciembre 2013. pág. 12-13.

¹⁶PROYECTO España. 2018. ECOCERÁMICA. [en línea]. Disponible en: Programa LIFE-Medioambiente.2005.http://ec.europa.eu/environment/life/projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=fil=LIFE05_ENV_E_000301_LAYMAN.pdf.

¹⁷GUILLEM, M. FOS, C. BLANCO-VARELA, M. HUSILLOS, N. Utilización de lodos de EDAR tratados con cal como materia prima alternativa en la fabricación de clínker. Cemento Hormigón. ISSN 0008-8919, N°. 936, 2010. pág 66-76.

¹⁸J.MONZO, J. PAYÁ, M.V. BORRACHERO, J.J. MORENILLA, M. BONILLA, P. CALDERÓN. Some strategies for reusing residues from waste water treatment plants: preparation of binding materials. Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures. Noviembre 9-11. 2004. Barcelona.

1.5.3 Compostaje. El compostaje es un proceso de biodegradación exotérmica de la materia orgánica consecuencia de la actividad metabólica realizada por microorganismos que crecen y se reproducen en condiciones ambientales controladas que facilitan el incremento de la temperatura (usualmente entre 55-60 °C). El compostaje de lodos residuales garantiza un producto con un pH entre 6.5 y 8.0 que favorece el crecimiento de las plantas, reduce la movilidad de metales pesados (EPA 1999) y puede ser usado como acondicionador de suelo imitando un proceso de fermentación natural que ocurre normalmente en el suelo (pero acelerada, intensificada y dirigida)¹⁹. El producto obtenido al final de este proceso dependerá de los microorganismos involucrados.

1.5.3.1 Condiciones Requeridas

- **Relación C/N.** Para el crecimiento microbiano es necesario que haya un balance entre carbono y nitrógeno debido a que son los macronutrientes más importantes, los microbios usan el carbono para su oxidación metabólica mientras que el nitrógeno es empleado para la formación de células y síntesis de proteínas²⁰, cuando esta relación es mayor retarda el compostaje pero si es menor los microorganismos se terminan el carbono y dejan ir el nitrógeno como amoníaco.
- **pH.** Durante el proceso es importante tener el pH en valores cercanos a la neutralidad o un poco superior a ésta (5.5-8.0), evitando así el crecimiento de hongos. Durante el proceso puede empezar de manera ácida debido a la mineralización de los metabolitos de bacterias. Al finalizar este proceso tiende a incrementarse a niveles alcalinos de alrededor de 8- 8.5. Las altas temperaturas junto un alto pH provoca la volatilización de nitrógeno, lo cual puede ser agravado si hay presencia de cal en el sistema de compostaje²¹.
- **Aireación.** En los procesos de compostaje aerobio es de gran importancia debido a que permite la alimentación de O₂ al proceso. Un aspecto importante en el proceso de aireación es la porosidad del material que se trata, en la mayoría de los casos el oxígeno no llega a lugares en donde la porosidad es muy baja provocando una insuficiencia de O₂²². Otro objetivo de la aireación es evacuar la cantidad de CO₂ acumulado entre los poros del material²³.

¹⁹ TORRES Patricia, PÉREZ Andrea, ESCOBAR Juan, IMERY Ricardo y URIBE Iris Compostaje biosólido de plantas de tratamiento de aguas residuales. En: Revista Ingeniería e Investigación. Enero- Abril, 2007. Vol.27. No.1, p.267-275.

²⁰ NAVARRO Ricardo A. Manual para hacer composta aeróbica.En: CESTA Amigos de la tierra. 2002. p. 4-5

²¹ L.F DÍAZ, BERTOLDI DE M., BIDLINGMAIER W and STENTIFORD. Compost Science and Technology. 1 Ed. Oxford: Elsevier Science Ltd, 2007. 54p.

²² NEGRO M.J, VILLA F, and AIBAR J. Producción y gestión del compost. Zaragoza, España: CIEMAT. 2002. 4p.

²³ RASAPORR M, NASRABADI M, KAMALI M and HOVEIDI H. The effects of aeration rate on

- **Temperatura.** El compostaje pasa por un ciclo de temperaturas que es ocasionado por la actividad microbiológica; resultando en un procedimiento bio-oxidativo de carácter exotérmico. Al inicio la pila aumenta rápidamente la temperatura degradando materiales más fácilmente, se mantiene así por un corto tiempo y luego comienza a enfriarse; las temperaturas para lograr una alta velocidad de biodegradación deben ser mayores de 55 °C²⁴.
- **Humedad.** Es un parámetro determinante para facilitar que los nutrientes estén disponibles a los microbios para que estos puedan realizar sus procesos reproductivos, metabólicos y asimilativos. Un contenido bajo de humedad inhibe la actividad microbiana a medida que va disminuyendo, el proceso de descomposición se hace más lento, si se reduce a menos del 8% toda la actividad microbiana se detiene²⁵. Cuando la humedad supera el 70% el agua desplaza el aire en los espacios libres entre las partículas, reduciendo la transferencia de oxígeno, produciendo anaerobiosis, generando malos olores y disminuyendo la velocidad del proceso²⁶.

1.5.3.2 Tipos de compostajes.

- **Compostaje anaerobio.** En el proceso de compostaje anaerobio se produce la descomposición de la materia orgánica sin presencia de O₂ por medio de microorganismos anaerobios. El producto obtenido después del proceso generalmente está constituido por metano, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y lodos. Los lodos pueden ser empleados como fertilizante debido a su capacidad de mejorar los suelos²⁷.
- **Compostaje aerobio.** El compostaje aerobio es el proceso biológico más frecuentemente utilizado y es aquel que oxida la materia orgánica con ayuda de microorganismos aerobios que actúan de manera sucesiva sobre la materia orgánica en presencia de O₂. Este proceso se caracteriza por tener tres etapas metabólicas diferentes:
 - **Fase de latencia:** Se trata del periodo de aclimatación de los microorganismos a su nuevo medio y el inicio de la multiplicación y colonización de los residuos. Se inicia con la degradación por parte de microorganismos aerobios de los elementos más biodegradables como consecuencia de la acción de estas

generated compost quality, using aerated static pile method. En: Waste Management. Vol 29. United States: Elsevier Science 2009. p. 573.

²⁴L.F DIAZ Op cit., p. 53

²⁵ NAVARRO Op cit., p. 4.

²⁶ MÁRQUEZ Pedro, DÍAZ Manuel Jesus y CABRERA Francisco. Factores que afectan el proceso de compostaje. En: MORENO JOAQUÍN y MORAL RAUL. España: Mundiprensa Libros S.A. p. 93-110.

²⁷ KIELY GERARD Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid: McGraw Hill, 1999. 55p.

primeras bacterias mesófilas se comienza a calentar el material a temperaturas medias de aproximadamente 40 °C²⁸.

- Fase termófila: Cuando el material alcanza las temperaturas mayores de entre 40 y 45 °C, los microorganismos mesófilos son reemplazados por bacterias filamentosas (actinomicetos) y hongos. Sobre los 45°C aparecen bacterias termófilas que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de carbono como la celulosa y la lignina²⁹. El incremento de la temperatura garantiza la higienización y eliminación de patógenos, larvas y semillas; pasado este tiempo disminuye la actividad biológica y se estabiliza el medio³⁰. Sin embargo, la temperatura puede ser tan alta que inhibe el crecimiento de los propios microorganismos este fenómeno se conoce como suicidio microbiano.
- Fase de maduración: Es un periodo de fermentación lenta en el que la parte menos biodegradable de la materia orgánica se va degradando, la temperatura del proceso empieza disminuir y los microorganismos que aún se encuentran, degradan estructuras de carbono complejas como lo son la celulosa y los poli fenoles³¹. Durante esta última fase las características organolépticas del proceso mejoran considerablemente al no percibirse malos olores y al observar la mejora del aspecto del compost.

1.5.3.3 Sistemas de compostaje.

- **Sistema abierto.** Los sistemas de compostaje son los más utilizados por su sencillez y viabilidad técnica y económica; pueden ser divididos basados en el método de aireación que se emplee:
 - Pilas Estáticas: También conocido como el método de aireación forzada, este proceso implica un periodo inicial de extracción de aire a través de la pila luego de un periodo de aireación forzada hacia arriba. En el periodo de succión el aire que sale del sistema se descarga directamente en el ambiente³². Este sistema consiste en el mezclado de todos los agentes de carga con los residuos a compostar, posteriormente se construye la pila sobre el sistema de aireación el cual puede tener tiempo de duración entre 2 y 4 meses.

²⁸ESPAÑA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. Manual de compostaje. Por el cual se establece el informe de seguimiento de compostaje domestico de las tres primeras experiencias.España: El Ministerio, 2008. 18 p.

²⁹ GUIA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRÁVES DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA. Bogotá D.C.Enero 2016.Vol 1.No 1.

³⁰ESPAÑA. Op cit., p. 18

³¹ ONWOSI, C.. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. En: Journal of environmental management. Vol 190. United States: Elsevier, 2017. p. 140-157.

³² L.F DÍAZ, Op cit., p. 71-73.

- Pilas con Volteo: Es uno de los métodos que tradicionalmente se utiliza en la industria. En esencia el volteo consiste en proveerle aireación al sistema, como la palabra lo indica volteando constantemente la pila. Esto además de proveer la aireación, promueve la homogenización de toda la pila. Para que este método sea efectivo se necesita gran área disponible y gran cantidad de material. Si se excede en el proceso de aireación esto provoca disipación del calor y baja humedad.
- **Sistema Cerrado**. Los sistemas de compostaje cerrados, o también denominados biorreactores pueden ser clasificados por el movimiento de la materia en dos categorías: estáticos y dinámicos. Los biorreactores generalmente pueden acelerar la fase de degradación a al menos 7 a 15 días; y el tiempo de retención de los mismos varía dependiendo del tipo de sustrato empleado.
- Reactores verticales: Compuesto por tanques cilíndricos fabricados de acero y cemento, aislados térmicamente. Comúnmente se alimenta por la parte superior y el compost que se produce es obtenido por la parte inferior. El O₂ se suministra a los microorganismos por aireación forzada, ya sea por medio de tuberías de aireación o a través de la parte superior, incluyendo un colector del cual una serie de lanzas de aire se insertan en la masa del compostaje³³. El gas que es producido se transporta a un sistema de tratamiento de gases.
- Reactores horizontales: Son unidades que operan horizontalmente, pueden ser continuos o discontinuos. Los reactores tienen un sistema de volteo con un mezclador interno, ayudando a la homogenización de la masa, permitiendo que la temperatura y los microorganismos permanezcan uniformes a través de la longitud del reactor. Son aislados térmicamente para disminuir las pérdidas de calor. Estos reactores tienen varias clasificaciones: Canales, celdas, contenedores y túneles³⁴

³³ L.F DÍAZ, Op cit., p.80.

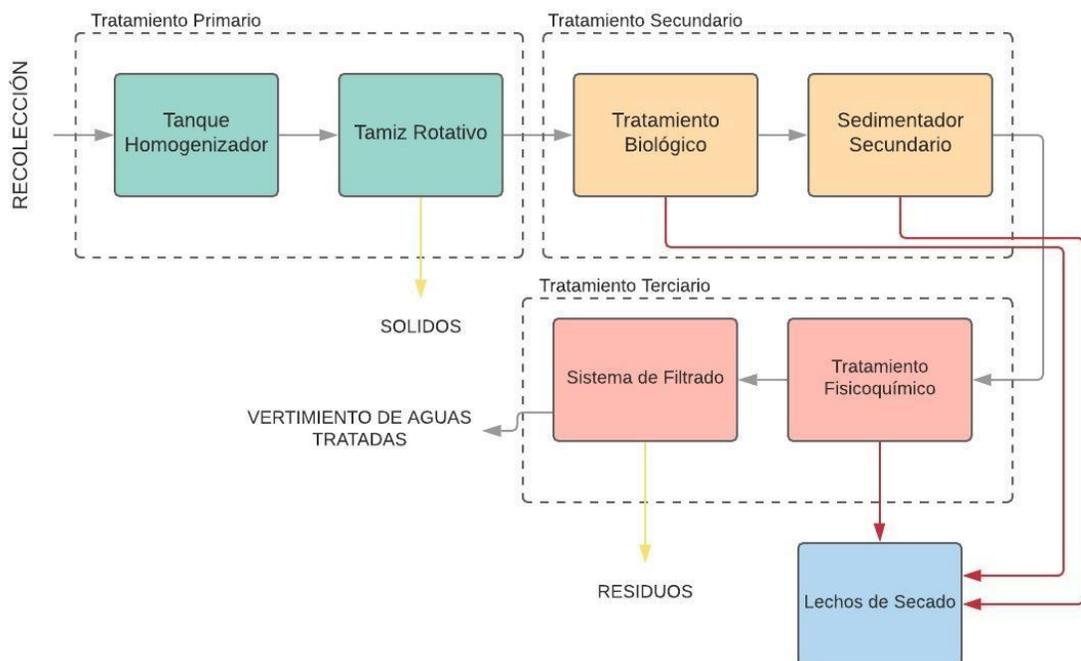
³⁴ Ibid., p 81.

2. DIAGNÓSTICO

En el presente capítulo se inicia describiendo brevemente el proceso precursor a la generación de los lodos residuales, para así continuar con el análisis del lodo generado por la PTAR del Parque Agroindustrial de Occidente, con el propósito de identificar las características físico-químicas que resulten aprovechables para la obtención de abono orgánico, definiendo el proceso de compostaje adecuado para el uso y tratamiento de las cantidades de lodo producidas.

2.1.1 DESCRIPCIÓN DE PROCESO PRECURSOR AL COMPOSTAJE. La Planta de Tratamiento de aguas residuales del Parque Agroindustrial de Occidente tiene como objetivo tratar aguas residuales de tipo domestico disminuyendo la carga contaminante presente para su disposición final en el rio Bogotá en cumplimiento a la norma nacional vigente (Decreto 3930 de 2010 de vertimientos). La operación del proceso se basa en un tratamiento de aguas convencional que consta de tratamiento primario, secundario y terciario garantizando la calidad del efluente.

Figura 1. Diagrama del tratamiento convencional de aguas residuales en la planta



Fuente: Elaboración propia.

2.1.2 Proceso en planta de tratamiento de aguas residuales.

- **Tratamiento Primario:** Las aguas provenientes de los sanitarios y casinos se recolectan en el tanque de ecualización en el cual es homogenizado el afluente, una función adicional de este tanque es controlar caudales fluctuantes manteniendo un nivel óptimo y controlando que los tratamientos secundario y terciario tengan un caudal estable. Posteriormente por medio del uso de dos bombas sumergibles se alimenta el tamiz rotativo este se encarga de la filtración o tamizado de líquidos que contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión, en el tamiz las partículas sólidas quedan retenidas en la superficie del cilindro que por medio de su rotación son desplazadas para su posterior separación y disposición sobre la bandeja de descarga³⁵, este proceso continúa con ayuda de una bomba centrífuga para eliminar materia que por su tamaño interfiera en los tratamientos posteriores

Tratamiento Secundario: El inicio de esta etapa se da en el sistema biológico aerobio y su objetivo es remover material disuelto del agua residual utilizando microorganismos principalmente bacterias en condiciones aerobias. Con el objetivo de asegurar el desarrollo de la actividad microbiana el reactor biológico agrega aire por medio de un sistema de burbujeo controlando factores ambientales como temperatura, pH y oxígeno del ambiente además de tener en cuenta los requerimientos nutricionales y metabólicos. Los efectos de la actividad microbiana se evidencian en la reducción de los niveles de contaminantes presentes en las aguas residuales, principalmente los índices de DBO₅ y DQO, esto como resultado de la oxidación de la materia orgánica y la reducción de nitrógeno total. Posteriormente el tratamiento continúa en el sedimentador secundario cuya función es separar los lodos activados del líquido mezcla por gravedad. Este tanque es de tipo circular cónico con un diámetro de 10 m, alimentación central y una profundidad de aproximadamente de 5m.

Tratamiento Terciario: Empieza en el tanque clarifloculador este proceso se basa en un tratamiento físico – químico donde se recibe el agua tratada con el objetivo de estabilizar el pH por medio de hidróxido de sodio para posteriormente ser clarificado adicionando un floculante aniónico y hidroxiclورو de aluminio como coagulante permitiendo la precipitación de las partículas sólidas al fondo con mayor rapidez. El agua fluye a través de dos bombas sumergibles al sistema de filtración el cual está constituido por cuatro tanques, que se dividen en dos filtros de arena cuyo funcionamiento principal es retener los sólidos suspendidos y dos filtros de carbono en los cuales el agua es tratada con el objetivo de disminuir los posibles patógenos presentes. Finalmente se cuenta con una bomba dosificadora de hipoclorito de sodio para desinfectar el agua para su posterior vertimiento. **Lechos de secado:** A partir de las purgas del

³⁵ GEDAR. Tamiz Rotativo. Obtenido de Manual Tamiz Rotativo: [en línea] Andalucía, España Disponible en : <https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Roto-Tamices.pdf>

sedimentador, del sistema biológico y del clarifloculador, los lodos son impulsados por la presión resultante de cada uno de los procesos anteriormente nombrados hacia los lechos de secado para continuar siendo tratados. El proceso de secado se complementa con la adición de arena y puede durar aproximadamente de 6 a 8 semanas, este proceso se basa en la evaporación del agua presente en la superficie de los lodos hasta lograr el grado de secado deseado. Adicionalmente cuenta con una tubería que recircula los lixiviados al tanque de homogenización, con el propósito de evitar su disposición al medio ambiente. A continuación, en la imagen 5 se observa el proceso progresivo que ocurre en los lechos de secado.

Imagen 1 Lecho de secado con lodo residual



Fuente: Elaboración propia.

2.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS

2.2.1 Caracterización físico-química y microbiológica. En la determinación de las características del lodo generado se realizó el proceso de muestreo establecido en la NTC 5667-1336, el cual describe el procedimiento a seguir para muestras de lodos provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. Este consiste en tomar una porción de la torta del lecho de secado, evitando tomar parte de arena y de costra superficial que aumentan la actividad anaerobia y producen alteraciones en los análisis, posteriormente se aplica la técnica de cuarteo, que se fundamenta en homogenizar y dividir en partes iguales para reducir el tamaño de muestra y obtener la cantidad requerida.

Imagen 2 Muestra de lodo enviada a la caracterización.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de esto las muestras fueron empacadas en bolsas de polietileno marca Ziploc® de cierre hermético, cada una de estas contenía 1 kilogramo de lodo, se contrató el laboratorio AllChem para realizar los análisis, es importante mencionar que con el objetivo de mantener la cadena de custodia de la muestra, personal del laboratorio se encargó del almacenamiento y transporte evitando aumentos de temperatura mayores a 4°C o exposiciones prolongadas al sol que pueden causar alteraciones en la muestra. En la imagen 2 se observa una de las muestras de lodos recolectada para su posterior caracterización físico-química y microbiológica.

³⁶INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamientos de aguas. En NTC 5667-13 Bogotá D.C.: El instituto, 1998.13p.

Tabla 4. Técnicas empleadas en el Laboratorio AllChem

Parámetro	Técnica
Humedad	Gravimétrico
Cenizas	Gravimétrico a 650 °C
Carbono Orgánico	Volumétrico
Nitrógeno Total	Nitrógeno Kjeldhal
pH	Electrométrico
Conductividad	Extracto de Saturación
Coliformes totales	Recuento en placa
Salmonella	Cultivo estándar tradicional

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 4 se describen las técnicas empleadas por el laboratorio AllChem para la obtención de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del lodo a partir de lo establecido en la NTC-ISO 5667-3 del 2004³⁷ y NTC-ISO 5667-13 del 2011³⁸. Es oportuno aclarar que como se muestra en el Anexo A se realizaron análisis de metales pesados sin embargo, luego de comparar los valores obtenidos con el Decreto 1287³⁹ se determinó que no eran representativos para influir en el proceso, por lo cual solo se evidencian los resultados de los parámetros más importantes para el desarrollo del mismo.

Tabla 5. Principales parámetros físico - químicos y microbiológicos.

Parámetro	Unidad	Valor
Porcentaje de Humedad	%	75,9
Carbono Orgánico	%	4,13
Nitrógeno Total	%	0,76
Cenizas	%	34,89
pH	-logH+	6,34
Conductividad	dS/cm	0,355
C/N	p:p	5,434
Densidad Aparente	g/cm ³	0,96
Coliformes Totales	UFC/g	1.6x10 ³
Coliformes Fecales	UFC/g	1.3X10 ²
Salmonella	UFC/g	Ausencia

Fuente: Elaboración propia.

³⁷INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Calidad del agua. Muestreo Parte 3. Directrices para la preservación y manejo de muestras. NTC 5667-3, Bogota D.C.: El Instituto, 2014. 10-15 p.

³⁸INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Calidad de agua. Muestreo . Parte 13: Guia para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamientos de aguas. NTC 5667-13, Bogota D.C.: El Instituto, 1998. 20-30p.

³⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. *Decreto 1287* (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Bogota, D.C., El Ministerio, 2014. 4p. .

Al obtener los resultados de los análisis de lodos, los cuales se observan en la tabla 5, se evidencia una relación C/N de 5,434, este valor indica una baja relación C/N esto indica la necesidad de implementar a agentes de carga que permitan incrementar la relación permitiendo alcanzar las condiciones óptimas para el proceso de compostaje. Algunos autores como Bueno y Díaz (2008)⁴⁰, y Jaramillo y Zapata (2008)⁴¹ establecen que para aprovechar y retener la mayor parte de carbono y nitrógeno el valor indicado de la relación C/N del material de partida para un proceso de compostaje aerobio se encuentra entre 20 y 35 unidades de carbono por unidad de nitrógeno disponible. A partir de esto es importante tener en cuenta que los vegetales frescos aportan nitrógeno y los secos aportan carbono, adicionalmente debe contener un alto contenido de lignina y celulosa para mejorar las condiciones de compostaje⁴².

Con respecto al porcentaje de humedad se evidencia un valor de 75,9 %, indicando un alto contenido de humedad, según lo expresado por autores como Álvarez (2010)⁴³ la humedad es uno de los aspectos críticos para la optimización del compostaje estableciendo un rango óptimo para el crecimiento microbiano de encontrarse entre 50 y 70%. Por lo anterior se establece optar por agentes de carga con bajo contenido de humedad para el inicio del proceso de compostaje. Por otro lado, el pH se observa de carácter ácido al tener un valor de 6,34 valor muy cercano a lo establecido por Robles Marlon (2015)⁴⁴ sugiriendo un rango entre 6.5 y 7.5 ligeramente ácido o ligeramente alcalino asegurando el desarrollo favorable del proceso. Con respecto a la conductividad eléctrica está determinada por la concentración de sales solubles presentes, esta tiende a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica lo que resulta en el aumento de la concentración de nutrientes, es recomendable que la conductividad sea baja en lo posible menor a 1 dS/m, facilitando el manejo de la fertilización y evitando problemas de fitotoxicidad⁴⁵. Sin embargo, también puede presentarse descensos de la conductividad eléctrica durante el proceso de

⁴⁰ BUENO, P., DIAZ, M. Factores que afectan al proceso compostaje. 1ed. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos. 2008. 97 p.

⁴¹JARAMILLO, G., ZAPATA L. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Posgrado. Antioquia. Universidad de Antioquia. 2008. 116 p.

⁴² GUIA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRÁVES DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA Op cit p 57.

⁴³ALVAREZ, J. Manual de compostaje para agricultura ecológica. Consejería de agricultura y pesca, Andalucía (Colombia). 2010. 48 p.

⁴⁴ROBLES M Marlon. Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de recursos naturales renovables. Tingo María, Perú. 2015. pág 12-14.

⁴⁵ ARGENTINA, MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA. Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas. Por el cual se establecen criterios para el manejo de variables y consejos para evitar problemas nutricionales. Argentina: El Ministerio, 2014. 7p.

compostaje debido a fenómenos de lixiviación provocados por un exceso de humedad.

A partir de la caracterización microbiológica de los lodos se concluye que los valores respecto a coliformes totales y fecales son bajos debido al buen proceso desarrollado en la Planta de Tratamiento de Aguas del Parque Agroindustrial de Occidente. Al comparar los demás parámetros analizados con el Decreto 1287⁴⁶ los lodos residuales se categorizan en lodos de tipo A es decir cumple con las características necesarias como materia prima en la producción de abono orgánico y posterior uso en recuperación de suelos.

2.3 AGENTES DE CARGA

Para la implementación de cualquier sistema de aprovechamiento los residuos orgánicos deben dejar de considerarse como desechos ordinarios y por el contrario ser separados de otros residuos y materiales que limiten su potencial de aprovechamiento⁴⁷. De acuerdo a la caracterización fisicoquímica de los lodos es necesario implementar agentes de carga que adecuen las condiciones iniciales del proceso de compostaje y así obtener un producto de calidad.

Según lo desarrollado por los autores Robles F et al., (2010)⁴⁸, en su estudio se evaluó el efecto de la adición de agentes estructurantes sobre la degradación aerobia de una mezcla de residuos orgánicos, en el cual se concluyó que la mezcla entre la materia orgánica y césped mejora la aireación y disminuye los lixiviados además de ayudar al desarrollo del proceso aerobio. Teniendo en cuenta lo anterior además de los principios de reúso y sustentabilidad promovidos por SITAGA S.A.S se opta por emplear como agentes de carga los residuos orgánicos producidos en el Parque Agroindustrial de Occidente, y la poda de césped generada en el mantenimiento de zonas verdes. Es importante mencionar que los residuos orgánicos aportan carbono ayudando al incremento de la relación C/N y suministran soporte estructural formando poros mejorando el movimiento del aire, por otro lado la poda de césped reduce la retención de humedad y ayuda a activar el proceso de compostaje debido a que los microorganismos que intervienen necesitan nutrientes y oligoelementos para su crecimiento⁴⁹. En la Tabla 6 se observa un resumen de las propiedades de cada uno de los agentes de carga escogidos. Los análisis

⁴⁶ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. *Decreto 1287* (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Bogotá, D.C., El Ministerio, 2014. 4p.

⁴⁷ GUÍA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRÁVES DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA Op cit p 28.

⁴⁸ ROBLES F, RÁMIREZ I, PIÑA A, COLOMER F. Efecto de la adición de agentes estructurantes a residuos hortícolas en tratamientos aerobios. *En: Ingeniería Agrícola y Biosistemas*. Diciembre. 2010, no 105154. pág 47-48.

⁴⁹ ONWOSI, Chukwudi., et al. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. *En: Journal of environmental management*. April, 2017. vol. 190. .

fisicoquímicos de los residuos orgánicos y la poda de césped fueron realizados de igual manera por el laboratorio AllChem en la ciudad de Bogotá. Los informes de resultados entregados por el laboratorio se consignan en el anexo B.

Tabla 6. Características agentes de carga.

Material	%Humedad	%C	%N
Residuos Orgánicos	59.70	43,8	1,4
Poda de Césped	82,5	58,1	3,4

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los análisis fisicoquímicos obtenidos se evidencia que los residuos orgánicos presentan una relación de C/N relativamente alta (31,3) con respecto al lodo (5,43) y a la del césped (17,1), como resultado a la cantidad considerable de carbono presente (43,8%) y la baja cantidad de nitrógeno (1,4%). Es pertinente mencionar que el césped debe ser adicionado recién cortado debido a que en este momento contiene la mayor cantidad de nitrógeno, y los residuos orgánicos se deben adicionar antes de comenzar su proceso de descomposición preferiblemente⁵⁰.

Con el objetivo de determinar las cantidades mensuales de césped y residuos orgánicos producidos dentro del Parque Agroindustrial de Occidente fue necesario recolectar y pesar la poda de césped generada en los meses de Junio, Julio y Agosto donde la cantidad promedio resultante fue de 1180 kg por mes. Por otro lado los residuos orgánicos fueron cuantificados semanalmente a partir de los registros de disposición de cada uno de los establecimientos que generan este tipo de residuos, obteniendo un promedio aproximado de 1200 kg semanalmente y como resultado 4800 kg al mes.

⁵⁰ BUENO, P., DIAZ, M.Op cit. p 6.

3. PROCESO DE COMPOSTAJE DE LOS LODOS

En este capítulo se plantea la selección del método de compostaje para producir abono orgánico a través de una matriz de selección. Se especifica la metodología para el planteamiento y elaboración del montaje experimental del proceso, además de seleccionar la materia orgánica inicial para los resultados esperados, como también el seguimiento a las variables de interés: temperatura, pH, humedad, cenizas, sólidos volátiles, relación C/N y finalmente microorganismos patógenos.

3.1 MATRIZ DE SELECCIÓN PROCESO DE COMPOSTAJE

Como se mencionó anteriormente en el capítulo 1, los procesos de compostaje pueden realizarse por sistemas abiertos o cerrados. Los sistemas abiertos se dividen en pilas estáticas y pilas con volteo; por otra parte, los sistemas cerrados son reactores que se dividen en horizontales o verticales. Para la selección del método de compostaje, se establecen factores y criterios de selección, según las necesidades y objetivos de SITAGA S.A.S. A continuación, se describe brevemente las ventajas y desventajas de cada uno de los procesos de compostaje, que se evaluarán en la matriz de selección.

- **Pilas por volteo:** Este proceso es versátil debido a que puede ser empleado para grandes y pequeñas cantidades, sin embargo según Hay y Kuchenrither (1990)⁵¹ para mantener altas temperaturas en la pila, esta debe ser lo suficientemente grande para permitir que el calor generado exceda las pérdidas de calor de las superficies expuestas. El ancho de la pila depende de la cantidad de material a compostar, por lo general puede tener un ancho de entre 3 y 4 m con una altura de entre 1.2 y 1.5 m; por lo que se lleva en entornos abiertos requiriendo grandes extensiones de terreno con infraestructura que evite la exposición a los cambios climáticos, y ayude a controlar la emisión de olores y compuestos orgánicos volátiles peligrosos que generen problemas de salud pública. El método de aireación empleado juega un papel importante debido a que ayuda a la homogenización y aireación del material, además de evitar excesos de humedad y la formación de zonas aerobias; el volteo puede ser manual empleando una pala o mecánico con ayuda de una máquina. En el primer caso los costos son menores pero la eficiencia de la mezcla está limitada, en el segundo los costos son más elevados pero la aireación y mezcla son mejores⁵².
- **Pilas estáticas:** En este proceso el material a compostar se coloca sobre un sistema de tubos perforados conectados a un soplador o a una bomba de vacío.

⁵¹ HAY, J.C. y KUCHENRITHER, R.T. "Fundamentals and Application of Windrow Composting" Journal of Environmental Engineering. July 2002. vol. 116, p. 746-763.

⁵²SILVA JP, LOPEZ P, VALENCIA P. Recuperacion de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Cali Colombia. 2015. p 8

Generalmente se implementa la aireación inducida por vacío debido a la minimización de las emisiones de compuestos volátiles y gases generados de olor, sin embargo no es recomendable en climas fríos, porque el aire frío succionado puede generar descensos en la temperatura de las pilas especialmente en las capas exteriores⁵³. El flujo de aire controla tanto la temperatura como la cantidad de oxígeno al interior de la pila, para llevar a cabo esto es importante que la materia orgánica sea granulada con partículas del mismo tamaño. La capacidad para airear la pila reduciendo problemas de homogenización que resultan en la formación de bolsillos anaerobios según Cookson (1995)⁵⁴, permite diseñar sistemas con dimensiones de 3 a 6 m de altura con un ancho de 3 a 4 m, dicho lo anterior se evidencia la necesidad de grandes extensiones de terreno para su implementación; el tiempo de compostaje varía dependiendo de la cantidad de materia orgánica a compostar pero puede estar determinado en un rango de entre 3 semanas a 4 meses.

- **Reactor vertical:** El compostaje en reactores permite mejor control de los parámetros del proceso permitiendo manejar diferentes escalas de volúmenes a tratar, con un tiempo de residencia no mayor a 20 días proporcionando control de las emisiones de compuestos volátiles orgánicos, y de olores desagradables debido a que son confinados evitando problemas sanitarios⁵⁵. Según Silva Juan et al., (2016)⁵⁶, el entorno cerrado permite mantener el contenido de humedad en niveles óptimos, con respecto a la temperatura el uso de material aislante ayuda a conservar mayores temperaturas que resultan óptimas para el proceso. Sin embargo este proceso precisa de costos elevados de inversión y la necesidad de personal especializado para su operación y mantenimiento.
- **Reactor horizontal:** Este método proporciona el mayor control del proceso permitiendo mezclas continuas de residuos, la mezcla genera la distribución del sustrato en la masa sometida a compostaje ayudando a un mejor contacto con los microorganismos incrementando el potencial de biodegradación, este proceso puede conllevar un tiempo de residencia de alrededor de 3 – 15 días. El entorno cerrado elimina los lixiviados previniendo la contaminación del suelo y las aguas subterráneas en el área de tratamiento que puedan provocar problemas sanitarios. Según Díaz et al., (2007)⁵⁷ a diferencia de los sistemas de tipo abierto este proceso minimiza la disipación de calor con ayuda del uso de un material aislante térmico, ayudando al control de la temperatura, con respecto a la oxigenación se lleva a cabo mediante aireación forzada

⁵³SILVA JP, LOPEZ P, VALENCIA P. Op cit p.15.

⁵⁴COOKSON, J.T. Bioremediation Engineering Design and Applications, McGrawHill. Nueva York p.19.

⁵⁵L.F DÍAZ, BERTOLDI DE M., BIDLINGMAIER W and STENTIFORD. Compost Science and Technology. 1 Ed. Oxford: Elsevier Science Ltd, 2007. 67-87p.

⁵⁶SILVA JP, LOPEZ P, VALENCIA P. Op cit p.16.

⁵⁷L.F DÍAZ, BERTOLDI DE M., BIDLINGMAIER W and STENTIFORD. Op Cit p.80.

El primer criterio de selección es el tiempo de duración del proceso, los lodos residuales se deben tratar y aprovechar en el menor tiempo posible ya que la planta de tratamiento no cuenta con el espacio suficiente para retener y controlar grandes cantidades de residuos. El segundo criterio de selección es la eficiencia del proceso, la cual permite promediar las cantidades aproximadas de producción de abono. Un tercer criterio es el área disponible necesaria para la implementación de cada método de compostaje, los requerimientos varían de acuerdo a las necesidades. Por último, es importante evaluar los costos de los diferentes métodos a estudiar.

La metodología empleada para la matriz de selección se realizó mediante la valoración de los parámetros establecidos asignando valores en la escala de 1 (bajo), 3 (medio) y 5 (alto) de acuerdo a las necesidades de la empresa. El resultado con valor más alto será el método a utilizar en la propuesta. A partir de lo anterior para el tiempo se establece que la producción de abono en 15 días tiene la mejor asignación de puntaje (5) por el contrario para un tiempo de 30 días se asigna el bajo más bajo (1) de acuerdo a esto para una producción intermedia de 20 días se establece un valor medio de (3). Para el parámetro de área disponible se establece que de acuerdo al espacio disponible en la planta un área de 9 m² tiene el valor más alto (5) y el valor más bajo (1) se plantea para un área de 120 m² en consecuencia para un área de 30 m² se asigna un valor medio de (3). Con respecto a los costos del proceso se establece que para la implementación de un proceso de compostaje con una inversión aproximada de 50.000.000 de pesos se asigna el valor más bajo de (1) y el valor más alto (5) se asigna a una inversión de alrededor de 10.000.000 de pesos a partir de esto para una inversión de aproximadamente 30.000.000 de pesos se asigna un valor medio de (3) es importante aclarar que los valores pueden varias de acuerdo a la cantidad que se disponga a compostar, en este caso todo se plantea con el objetivo de cumplir con los requerimientos de producción de la Planta de Tratamiento de Aguas.

Tabla 7. Matriz de selección proceso de compostaje.

CRITERIO	ALTERNATIVA			
	Pila Estática	Pila por Volteo	Reactor Horizontal con volteo	Reactor Vertical con volteo
Tiempo	1	1	5	3
Eficiencia	3	1	5	5
Área disponible	1	3	5	5
Costo del proceso	5	3	1	1
TOTAL	10	8	16	14

*La calificación 1 es bajo, 3 medio, 5 es alto.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los resultados evaluados en la Tabla 7 la mejor opción para suplir las necesidades y criterios solicitados por SITAGA S.A.S. es el reactor horizontal con

volteo, el cual obtuvo un puntaje total de 16 puntos. Al fijar esta modalidad de compostaje, se procede a determinar cada una de las especificaciones de operación.

3.2 DESARROLLO EXPERIMENTAL

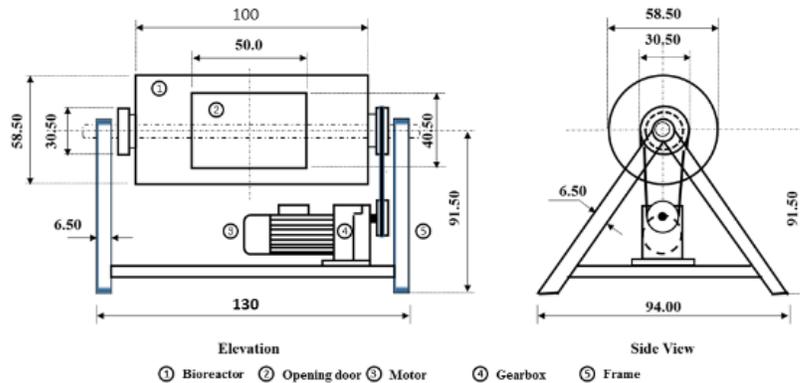
3.2.1 Construcción de reactores. Los reactores horizontales son sistemas cerrados que se categorizan entre los procesos de compostaje más sofisticados y eficientes debido a que presentan una relación ventajosa entre el volumen de residuo tratado y la superficie ocupada. Para llevar a cabo la construcción de los reactores, se realizó una revisión bibliográfica de fuentes que se basaran en la producción de compostaje aerobio de lodos residuales por medio de reactores horizontales con volteo en este proceso se encontró el trabajo realizado por Rodríguez Alvaro (2017)⁵⁸, en el cual se produce un compostaje aerobio llevado a cabo en un reactor horizontal a escala experimental. El reactor se elaboró en canecas de polietileno de 60 L con un recubrimiento térmico de espuma de poliuretano, en su interior se dispusieron aletas tipo cuchara permitiendo la homogenización del material interno y la distribución de O_2 . Adicionalmente dicho reactor emplea una compuerta lateral para la alimentación de la carga y para tener el control de los parámetros.

Según los autores Fahad N et al., (2018)⁵⁹ se expone el uso de un reactor horizontal con volteo, empleado en el compostaje de residuos orgánicos alimenticios. Como se muestra en la Ilustración 1 el reactor cuenta con un principio operacional similar al anteriormente descrito, con la diferencia que gira alrededor de un tubo de acero con ayuda de un motor permitiendo la rotación continua. Para ambos casos el tiempo de retención se determinó en 20 días a determinadas condiciones.

⁵⁸ RODRIGUEZ MEDINA Alvaro, Obtenido de Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio Rochester. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.; Fundación Universidad América. Facultad de Ingenierías. Departamento de Química, 2017. p 40-41.

⁵⁹ FAHAD N. alkoaik, AHMED M. Abdel-Ghany, MOHAMED A. Rashwan, RONNEL B. Fulleros and MANSOUR N. Ibrahim. Energy Analysis of Rotary Drum Bioreactor for Composting Tomato Plant Residues. International Journal Energie. Vol. 10.449. 4.

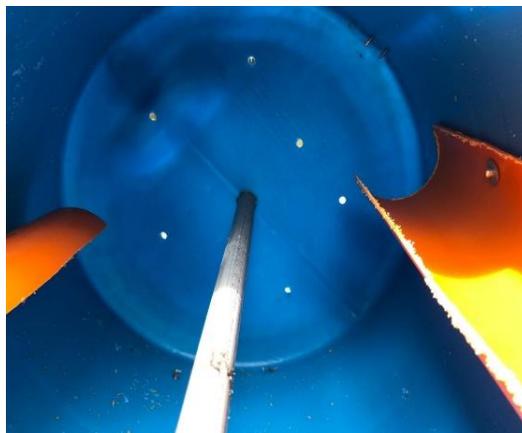
Ilustración 1. Esquema de reactor horizontal con rotación asistida.



Fuente: FAHAD N. alkoaik, AHMED M. Abdel-Ghany, MOHAMED A. Rashwan, RONNEL B. Fulleros and MANSOUR N. Ibrahim. Energy Analysis of Rotary Drum Bioreactor for Composting Tomato Plant Residues. International Journal Energie. Vol. 10.449. 4 p.

Con base en lo anterior, se establece la estructura principal del reactor horizontal que se va a implementar en el experimento; se aclara que se realizan dos reactores con la finalidad de variar el porcentaje de carga de alimentación. Para el cuerpo del reactor se adquieren canecas de polietileno, material inmune a la corrosión provocada por los lixiviados; con capacidad de 56.78 L cada una, las dimensiones de los tanques son de 35 cm de diámetro por 68 cm longitud. Los accesorios como los son, tornillos, arandelas, bisagras y pasadores son de acero inoxidable para evitar efectos de corrosión. En uno de los costados de reactor se realiza una abertura de un diámetro de $\frac{1}{2}$ " que está conectado a una manguera permitiendo el drenaje de los lixiviados a contenedores. Para las aletas internas se emplea un tubo de 3" de diámetro y 55 cm de largo el cual se divide por la mitad de manera vertical y son fijadas de manera inversa una la otra como se observa en la Imagen 3.

Imagen 3. Vista interior del reactor



Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se realizó un soporte en madera como se muestra en la Imagen 4, el cual está diseñado con el objetivo de facilitar el volteo del reactor asegurando la homogenización y aireación del material, es importante aclarar que el funcionamiento del sistema es manual por lo cual se descarta el uso de un motor eléctrico. En la Tabla 8 se muestran las especificaciones técnicas de los reactores.

Imagen 4. Reactor con aislante térmico y soporte



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8. Especificaciones del reactor y soporte.

Parámetro		Valor	Unidad
Longitud del reactor	L_{Reactor}	0.68	m
Diámetro reactor sin aislante	$D_{\text{Sin aislante}}$	0.35	m
Diámetro reactor con aislante	$D_{\text{Con aislante}}$	0.355	m
Volumen del reactor	V_{Reactor}	0.05678	m ³
Masa reactor vacío	$m_{\text{vacío}}$	3	kg
Masa reactor lleno	$m_{\text{reactor lleno}}$	15	kg
Longitud de soporte	L_{Soporte}	0.94	m
Ancho de soporte	A_{Soporte}	0.88	m
Altura de soporte	H_{Soporte}	0.825	m

Fuente: Elaboración propia.

Los reactores de compostaje a escala laboratorio presentan ciertas limitaciones en su aplicación, debido a la falta de capacidad para controlar la temperatura, esto se adjudica a que la alta relación área superficial:volumen genera altos gradientes de temperatura, produciendo una excesiva pérdida de calor a través de las paredes del

reactor⁶⁰. Para hacer frente a esta problemática, es necesario implementar un aislante térmico en vista que la temperatura evidencia la intensidad y normalidad de la actividad bacteriana, además de ayudar a determinar la fase en la cual se encuentra el proceso. Para este experimento con la finalidad de mitigar la pérdida de energía calórica, se utiliza espuma de poliuretano con una densidad de 30 kg/m³ debido a que es un aislante eficaz con un bajo coeficiente de conductividad térmica determinado en 0,026 W/ m* °C⁶¹.

3.2.2 Variables iniciales. Las variables más importantes que afectan a los sistemas de compostaje son pueden ser clasificadas en dos tipos, variables independientes en las que hay que establecer un control, denominadas variables de seguimiento y son aquellas medidas durante todo el proceso como la temperatura, humedad y pH. Por otro lado, se encuentran las variables relativas a la naturaleza del sustrato y son aquellas variables dependientes que deben ser adecuadas al inicio del proceso, entre las que se encuentran el tamaño de partícula, aireación y relación C/N. Los intervalos óptimos están influenciados con la velocidad de transformación de materia orgánica la cual depende de su naturaleza físico-química, de los microorganismos que intervienen y de las condiciones del proceso⁶². En la Tabla 9 se muestra un resumen de los rangos establecidos por diferentes autores de cada una de las variables.

Tabla 9. Resumen de condiciones de un proceso de compostaje ideal.

Referente	Relación C/N	Humedad %	Tamaño Partícula (mm)	pH
Rynk R, Van de kam M (1997)	25-30	50-60	Varía ^a	6.5-8
Mohee, Romeela y Mudhoo, Ackmez. (2005)	25-35	50-70	15-20	-
Yañez, R.; Alonso, J. L. y Díaz, M. J. (2009)	10-15	60-70	40	6.5-8.5
Yuan, Jing, et al. (2016)	11.37	-	20-40	-
Wu, Shaohua, et al. (2016)	20-25	70	-	-

^aDepende de las especificaciones del material, del tamaño de la pieza y condiciones climáticas.

Fuente: Elaboración propia.

⁶⁰URZOLAA ELKAIEL Monica, BLANCO Jorge, TORRENTE Bernardo. Influencia de la configuración del material aislante de reactores a escala laboratorio en el proceso de compostaje de residuos orgánicos. En: Vsir-Redisa, 2013.p 1-2 .

⁶¹SHWYER Michael y MEDINA Avilio. El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca. En: Organización de las Naciones Unidad para la agricultura y la alimentación. 2005, no 436. ISSN 1014-1138. 120p.

⁶² MÁRQUEZ Op cit., p.7.

A partir de la información suministrada por Robles Marlon (2015)⁶³ y los autores de la Tabla 9, el tamaño de partícula es un parámetro que puede variar según las características de la materia orgánica, sin embargo, se establece que el tamaño inicial de la carga adicional está dado en el rango de 20-40 mm, debido a que si las partículas son pequeñas hay una mayor superficie específica, facilitando a los microorganismos que degradan la materia orgánica el acceso al sustrato y adicionalmente permite mayor circulación de O₂⁶⁴.

Con respecto a la humedad según Jaramillo y Zapata (2008)⁶⁵ es importante evitar una humedad elevada debido a que el aire de los espacios entre partículas se desplaza y el proceso pasa a ser anaerobio por lo cual se consideran niveles óptimos de humedades entre 40%-60% dependiendo de los tipos de material a utilizar. Estos mismos autores establecen para el pH, un rango entre 5.5-7.0 porque las bacterias se favorecen en un medio casi neutro mientras que los hongos en un medio ligeramente ácido. Cabe mencionar que el conocimiento del contenido del compostaje es fundamental para determinar su calidad agronómica como lo menciona Bueno y Díaz (2008)⁶⁶.

3.2.3 Método de medición de las variables. Para el seguimiento de las variables se utilizan diferentes métodos de medición, debido a limitaciones instrumentales, es por esto que para la medición de temperatura, pH y humedad se realiza con ayuda de instrumentos de medición in situ y para la relación C/N, cenizas, sólidos volátiles y microorganismos patógenos se cuenta con el análisis de laboratorios externos, teniendo en cuenta que para estos parámetros se realizan dos registros (inicial y final).

- **Cenizas:** Este parámetro se determina por medio del método de calcinación establecido por la NTC 1886 (1983)⁶⁷, este proceso se realiza a partir de la diferencia del peso de la muestra antes y después de la calcinación, llevado a cabo en una mufla a 650°C durante 4 horas, posteriormente las muestras son llevadas a un desecador con el fin de bajar la temperatura sin captar humedad y así realizar la diferencia de los pesos registrados. Este parámetro indica la biodegradabilidad es decir la cantidad de materia orgánica que se ha descompuesto en el proceso.
- **pH:** Para esta medición se emplea un multiparámetro HI9813-6 fabricado por HANNA® Instruments (Anexo A) con precisión de ± 0,1 pH, adquirido con sus respectivas soluciones calibradoras certificadas. Para la medición se toman

⁶³ROBLES M Marlon Op cit., p.11-14.

⁶⁴ ONWOS. Op cit., p. 146.

⁶⁵JARAMILLO, G., ZAPATA L. Op cit. p116

⁶⁶BUENO, P., DIAZ, M. Op cit. p 110.

⁶⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Determinación de humedad, cenizas y materia orgánica. NTC1886, Bogota D.C.: El Instituto, 1983. 7 p .

muestras en diferentes partes del reactor luego del volteo y la aireación para reducir cambios abruptos a lo largo del reactor. El procedimiento consiste en limpiar con abundante agua destilada la parte del electrodo y así posteriormente calibrar el equipo con la solución. El muestreo se realiza en tres puntos a lo largo del reactor, cada muestra debe ser de 5 g para diluirla en 25 ml de agua desionizada y así alcanzar un extracto de 1:5 g/ml como sugieren González-Fernández, J. Jorge (2015)⁶⁸, y Niwagaba, C. (2009)⁶⁹. Al obtener la solución se procede a sumergir el electrodo en cada una de las muestras teniendo en cuenta la limpieza del equipo en cada medición con el fin de evitar errores en la medición.

- **Temperatura:** Se emplea un medidor de temperatura digital TCAM® (Anexo B) de 200 mm con punzón sonda en acero inoxidable que cuenta con un rango de medición de -9°C a 110°C y con una precisión de $\pm 1^\circ\text{C}$. Para obtener una temperatura uniforme y evitar disipación de calor, la medición se realiza todos los días a la misma hora previamente al volteo y la aireación de cada reactor. La medición se realizará en tres profundidades diferentes del reactor, 5 cm, 10 cm y 15 cm debidamente marcadas en la sonda. Para asegurar que el instrumento presenta la misma incertidumbre en cada medición, se lleva hasta temperatura ambiente para posteriormente medir el siguiente punto. La temperatura es tomada cuando el instrumento de medición no presente variación en determinado rango de tiempo.
- **Humedad:** Este parámetro es determinado por medio del mismo instrumento mencionado anteriormente cuyo rango de medición esta dado entre el 30% y el 90% con una precisión de humedad de $\pm 5\%$. Este proceso se llevó a cabo en tres puntos diferentes transversales del reactor, con la finalidad de evitar variaciones no deseadas se tendrá en cuenta el promedio de los valores registrados. Cada valor de humedad es registrado cuando la medida no presenta variación.
- **Sólidos Volátiles:** Son determinados por calcinación con el objetivo de identificar la materia inorgánica, debido a que la materia orgánica al quemarse se transforma en CO₂ y vapor de agua principalmente. El método se lleva a cabo pesando 10 g de muestra en una balanza de precisión previamente triturada y desecada a 105°C durante 24 horas, luego es introducida a una mufla durante 4 horas a 540°C, tras enfriarse se pesa para finalmente volver a calentar a la

⁶⁸ GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, Jorge, et al. Evaluation of composition and performance of composts derived from guacamole production residues. En: Journal of environmental management. January, 2015, vol. 147, no. 1.

⁶⁹ NIWAGABA, Charles B., et al. Bench-scale composting of source-separated human faeces for sanitation. En: Waste management. February, 2009. vol. 29, no. 2.

misma temperatura durante 5 minutos⁷⁰, los sólidos se calculan mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Sólidos Volátiles.

$$\% \text{ Sólidos Volátiles} = \left(\frac{M1 - M2}{M1} \right) \times 100$$

En la ecuación 1, la variable M1 hace referencia al peso en gramos de la muestra a 105°C y M2 al peso en gramos de la muestra a 540°C.

3.2.4 Acondicionamiento del terreno. Esta actividad comprende todas aquellas acciones que permiten alcanzar los requerimientos para llevar a cabo el experimento, entre las cuales se encuentra la limpieza del terreno, la remoción de la capa superficial, arbustos, maleza, cultivos y raíces que obstaculicen la ejecución e impidan el trabajo normal del equipo, adicionalmente todas aquellas operaciones referentes a la nivelación y compactación del área. También es importante tener en cuenta la infraestructura necesaria por implementar para asegurar la preservación de los instrumentos, equipos y todos los elementos necesarios para llevar a cabo el proceso experimental.

Imagen 5. Lugar del montaje experimental.



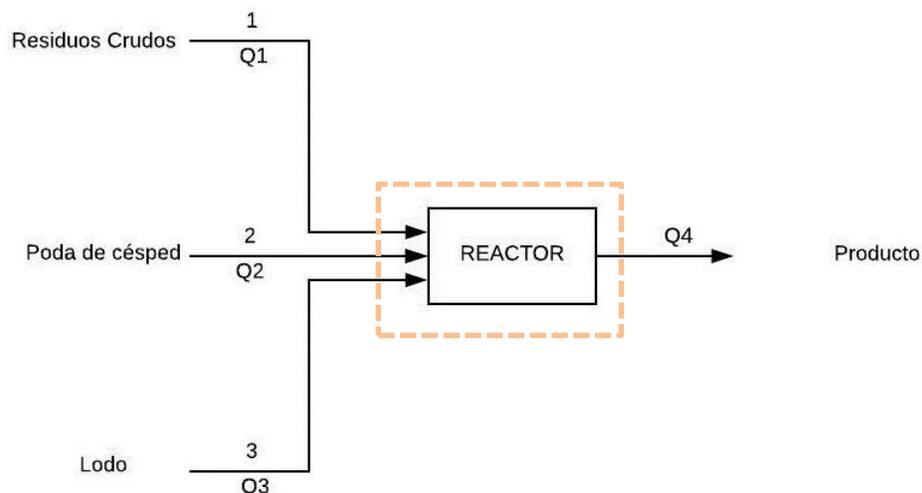
Fuente: Elaboración propia.

⁷⁰MOHEDO GATON Juan José. Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales. Tesis Doctoral Ingeniero Químico. Montería.: Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias. Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química, 2002. 73 p.

Dadas las condiciones anteriores como se muestra en la Imagen 9 el lugar escogido para el montaje de los reactores es dentro de la planta de tratamiento de aguas residuales cerca a los lechos de secado, por lo cual se procede a deshierbar y nivelar el suelo con una capa de tierra homogénea, esta localización tiene espacio suficiente para adecuar previamente los materiales de carga requeridos en el proceso planteado. La planta cuenta con la infraestructura necesaria para evitar la exposición directa de los reactores a los factores climáticos además de brindar características de invernadero que son favorables para el proceso de compostaje los lixiviados serán almacenados en pequeños tanques para evitar filtraciones en el suelo que puedan alterar la nivelación de los reactores y con eso el proceso de compostaje. El terreno ocupado tiene un área total de 2 m de longitud por 1 m de ancho.

3.2.5 Balance materiales. La relación C/N es un factor importante que influye en la velocidad del proceso, como se ha mencionado anteriormente; una buena relación entre los principales nutrientes provoca una correcta proliferación microbiana. Al comienzo del proceso de compostaje es recomendable un rango de relación C/N de 30/1, sin embargo, a medida que el proceso se va desarrollando, la relación va disminuyendo hasta alcanzar un valor que se considera menor a 20/1. Tener conocimiento de las condiciones iniciales del proceso determinara los requerimientos para lograr aprovechar y retener la mayor relación C/N y la humedad, la evolución de estos parámetros proporciona información importante del desarrolló y la cinética del proceso de compostaje; para conocer estos valores se hace necesarios emplear un balance de masa; en la figura 2, se muestra el diagrama de balance, especificando cada una de las corrientes de entrada y salida del sistema de control

Figura 2. Esquema balance de materiales



Fuente: Elaboración propia.

El balance de masa requerido, es planteado por Tom Richard y Nancy Trautmann de la Universidad de Cornell⁷¹, en función a la composición elemental de cada agente de carga debido a que son las características más importantes. El desarrollo detallado de cada una de expresiones se describe a continuación. Los términos involucrados son: H= humedad, Q=Pesos, C= Carbono, N= Nitrógeno, G= Humedad Global y R= Relación C/N del compostaje.

- **Ecuación 2.** Balance Global

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_4$$

- **Ecuación 3.** Balances elementales.

$$Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2 + Q_3 \cdot C_3 = Q_4 \cdot C_4$$

$$Q_1 \cdot N_1 + Q_2 \cdot N_2 + Q_3 \cdot N_3 = Q_4 \cdot N_4$$

$$Q_1 \cdot H_1 + Q_2 \cdot H_2 + Q_3 \cdot H_3 = Q_4 \cdot H_4$$

- **Ecuación 4.** Relación C/N deseada.

$$R = \frac{Q_1 \cdot C_1 + Q_2 \cdot C_2 + Q_3 \cdot C_3}{Q_1 \cdot N_1 + Q_2 \cdot N_2 + Q_3 \cdot N_3}$$

- **Ecuación 5.** Relación C/N en términos de humedad.

$$R = \frac{Q_1(C_1 \cdot (100 - H_1)) + Q_2(C_2 \cdot (100 - H_2)) + Q_3(C_3 \cdot (100 - H_3))}{Q_1(N_1 \cdot (100 - H_1)) + Q_2(N_2 \cdot (100 - H_2)) + Q_3(N_3 \cdot (100 - H_3))}$$

- **Ecuación 6.** Humedad global.

$$G = \frac{Q_1 \cdot H_1 + Q_2 \cdot H_2 + Q_3 \cdot H_3}{Q_1 + Q_2 + Q_3}$$

⁷¹RICHARD Tom and TRAUTMANN Nancy. Cornell Composting Science Engineering: C/N ratio. [En línea]. Ithaca, NY: Cornell Waste Management Institute. Cornell University. 1996. 1p. Disponible en: http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html.

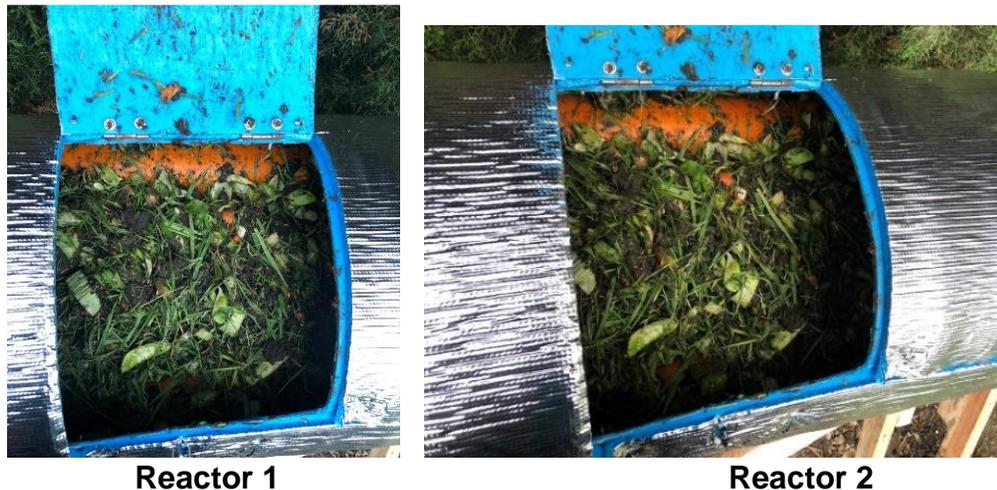
Para la solución de las ecuaciones de humedad de entrada y relación C/N deseada, es necesario tener en cuenta los resultados de la cantidad de Carbono y Nitrógeno obtenidos en la caracterización fisicoquímica mostrada en el Capítulo 2 para cada uno de los agentes de carga, adicionalmente se debe especificar la capacidad máxima permisible en cada reactor la cual es aproximadamente de 30 kg. Con el objetivo de facilitar el volteo, la aireación y disminuir la disipación del calor se opta por cargar el 67% de la capacidad de cada reactor (20 kg cada uno), como se mencionó anteriormente al momento de cargar cada reactor se emplearon diferentes cantidades tanto de los residuos orgánicos como del césped esto según Iqbal Mk et al., (2010)⁷² y Yañez R et al., (2009)⁷³ permite evaluar la opción más favorable y adicionalmente reconocer los efectos que puede producir la variación debido a las diferentes características que presentan los agentes de carga. Los resultados obtenidos en el despeje de los términos de interés en el balance de materia se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10. Cantidades de lodo y agentes de carga.

Características	Unidades	Valores Reactor 1	Valores Reactor 2
Relación C/N	p:p	22.76	17.44
Humedad Global	%	70.08	75.78
Cantidad Lodo	kg	10	10
Cantidad residuo crudo	kg	8	3
Cantidad poda césped	kg	2	7

Fuente: Elaboración propia.

Imagen 6. Estado inicial de cada reactor.



Fuente: Elaboración propia.

⁷² IQBAL M. K.; SHAFIQ T.; AHMED K. 2010. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost. *Bioresource Technology* 101: 1913-1919.

⁷³ YAÑEZ R.; ALONSO J. L.; DÍAZ M. J. Op cit p.5827-5833.

Para homogenizar y disponer el material que se va a compostar en el reactor como se muestra en la Imagen 5 fue necesario triturar y macerar el material cumpliendo con los requerimientos de tamaño de partícula además es importante determinar las variables iniciales que se presentan en la mezcla como la temperatura y el pH, adicionalmente en la Tabla 11 se especifican las condiciones necesarias para reactivar la acción microbiana como lo son frecuencia de aireación, las rotaciones por minuto y el tiempo de las mismas para garantizar la degradación y mineralización de los materiales y finalmente lograr la madurez del producto.

Tabla 11. Condiciones iniciales de la experimentación.

Parámetros Iniciales	Valores Reactor 1	Valores Reactor 2
Temperatura °C	21,5	21,8
pH	6,15	6,27
Frecuencia aireación (h)	Cada 24	Cada 24
Rotaciones por minuto (rpm)	4	4
Tiempo aireación (min)	5	5

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la frecuencia de aireación Kalamdhad y Kazmi (2009)⁷⁴ evalúan el efecto de la repetición en un tambor horizontal rotatorio a diferentes intervalos de tiempo analizando diversas características químicas y la estabilidad del compost, para esto se estimaron intervalos de 6, 12, 18 y 24 horas durante 15 días, concluyendo que intervalos cortos de aireación generan disipación de calor y pérdida de nitrógeno y fósforo total perjudicando la nitrificación generada por los microorganismos en el proceso de mineralización, en consecuencia se escoge realizar la aireación cada 24 horas durante el tiempo anteriormente establecido para obtener las mejores temperaturas y características en la producción de abono orgánico.

3.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.3.1 Cenizas. El porcentaje de cenizas permite determinar el comportamiento de degradación durante el desarrollo del compostaje. La biodegradabilidad indica la cantidad de materia orgánica que se ha descompuesto debido a la mineralización llevada a cabo por los microorganismos, y a la pérdida de carbono en forma anhídrida además durante este proceso parte de los componentes complejos como la lignina se degradan lentamente para ser transformados en compuestos húmicos⁷⁵. Este factor puede estimarse mediante un balance de materia, teniendo

⁷⁴ KALAMDHAD A, KAZMI A. Effects of turning frequency on compost stability and some chemical characteristics in a rotary drum composter. En: Chemosphere. March, 2009. vol. 74, no. 10, p. 1327-1334.

⁷⁵ROMAN Pilar, MARTINEZ Maria y PANTOJA Alberto. Op cit., p.18.

en cuenta que la cantidad de cenizas se conserva constante durante el proceso, este balance se define por medio del coeficiente de degradación (K_b) que involucra la concentración de cenizas al inicio y al final del compostaje⁷⁶.

Ecuación 7. Coeficiente de degradación.

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

Donde C_i y C_f son la concentración en porcentaje de cenizas al inicio y al final del proceso de compostaje respectivamente. En la tabla 13 se evidencia el coeficiente de biodegradación para cada reactor.

Tabla 12. Cantidad inicial y final de cenizas y coeficientes de degradación.

Reactor	% Cenizas al inicio (C_i)	% Cenizas al final (C_f)	% K_b
1	6,150	29,640	84,44
2	6,150	25,730	81,08

Fuente: Elaboración propia.

En base a los porcentajes obtenidos para cada reactor se observa en la Tabla 12 que el mayor coeficiente de degradación se alcanzó en el reactor 1 colocando en evidencia la diferencia en la velocidad de descomposición y mineralización ocurrida en función de la calidad de la materia orgánica esto debido a que la mezcla adquirió características complementarias equilibrando un alto contenido de nutrientes, microorganismos y propiedades fisicoquímicas que favorecieron el proceso, permitiendo alcanzar una mejor estabilización y calidad en el reactor. Según Eweis Juana (1999)⁷⁷ asegurar que los microorganismos transformen los compuestos orgánicos mediante reacciones metabólicas provocando la degradación biológica del material es fundamental para determinar las propiedades del producto y su rendimiento debido a que en este proceso los materiales cambian de su forma orgánica a su forma inorgánica (materiales solubles e insolubles) los cuales fluyen y finalmente son aprovechados por las plantas y organismos⁷⁸. Con respecto al reactor 2 y debido a la naturaleza seca de la poda de césped que en este caso se encuentra en mayor proporción se obtuvo menor porcentaje en el coeficiente de degradación concluyendo la necesidad de la adición de nutrientes particularmente

⁷⁶MÁRQUEZ Op cit., p.7.

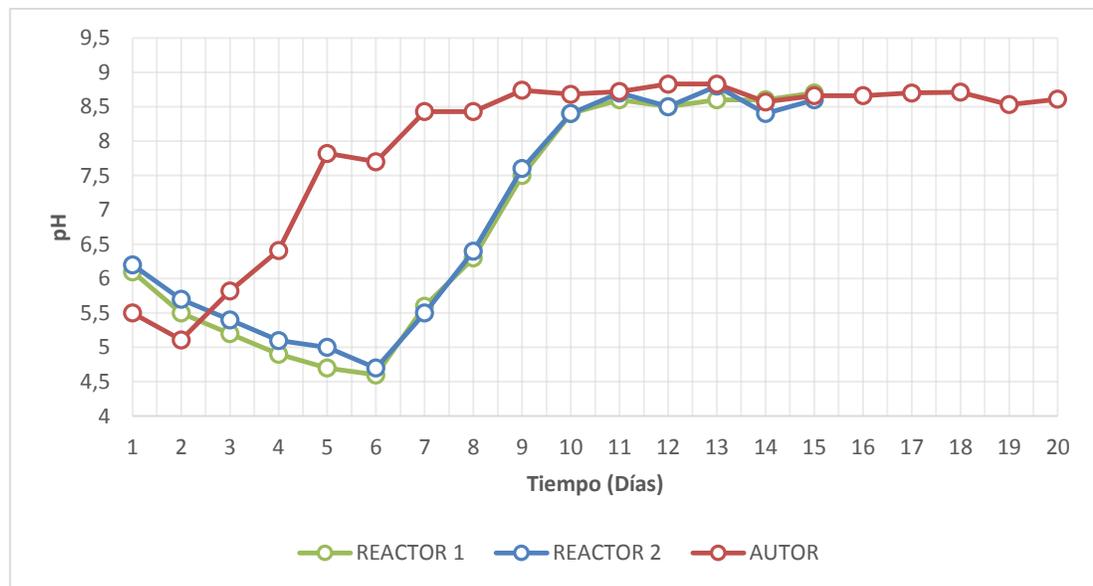
⁷⁷EWEIS, J. B. Principios de biorecuperación. Tratamiento para contaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y fisicoquímicos. McGraw-Hill. España, 1999. p 20.

⁷⁸ROMAN Pilar, MARTINEZ Maria y PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. En: Experiencias en America Latina. Santiago de Chile, 2013. 18p.

nitrógeno, para evitar limitaciones microbiológicas⁷⁹. De acuerdo al valor exigido por la NTC 5167 (2011)⁸⁰ con respecto al porcentaje de cenizas al final del proceso, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido el cual es debe ser menor al 60% para abonos orgánicos.

3.3.2 pH. El pH influye directamente al compostaje debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos, la medida de esta variable puede representar la evolución del compostaje⁸¹. El control de este parámetro brinda una medida indirecta del control de la aireación de la mezcla debido a que si se crean condiciones anaerobias durante el proceso se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH⁸². Para analizar este parámetro en este caso se tomaron tres mediciones en diferentes puntos del reactor como se mencionó anteriormente en el método de medición de variables, para realizar la gráfica 1 se tuvo en cuenta el ponderado de los valores por cada punto de medición como se muestra a continuación.

Gráfica 1. Comportamiento de pH.



Fuente: Elaboración propia.

⁷⁹SILVA JP, LOPEZ P, VALENCIA P. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Cali Colombia. 2015. p 8.

⁸⁰INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Productos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. NTC 5167. Bogotá.D.C.:El instituto,2011.

⁸¹ Op. cit.,3p

⁸² CRONJE A., TURNER C., WILLIAMS A. Composting under controlled conditions. Estados Unidos: Environ Technol.2003. p. 1221 – 1234.

Según Meng (2016)⁸³ el comportamiento que se observa en la gráfica se cataloga como ideal debido a que el pH a lo largo del proceso varía en función a la capacidad de degradación de cada especie de microorganismos. A partir de los resultados obtenidos se observa que la variación del pH de los dos reactores durante el tiempo de experimentación se evidencia que esta variable presenta tres fases durante el desarrollo del compostaje, en la fase inicial el pH registrado fue de 6,14 para el reactor 1 y 6,21 para el reactor 2, el cual tiene un comportamiento ácido debido a los aportes de la materia de carga y el lodo adicionado en el reactor, posteriormente comienza la fase mesófila inicial en la cual se observa una disminución del pH debido a la acción de la actividad microbiana sobre la materia orgánica más fácil de degradar, liberando ácidos orgánicos y dióxido de carbono, el menor registro de pH se presenta en la fase termófila donde los valores son de 4,62 para el reactor 1 y 4,72 para el reactor 2.

Eventualmente se evidencia una progresiva alcalinización del medio provocada por la liberación de ácidos orgánicos y la producción de amoníaco procedente de la descomposición de proteínas⁸⁴, finalmente el pH tiende a la neutralidad por la formación de compuestos húmicos, este es un indicativo de una buena degradación de materia y maduración del compostaje⁸⁵; es importante mencionar que estos valores están dentro del rango permitido por NTC 1567 (2011)⁸⁶, que establece un valor máximo de 9.

3.3.3 Temperatura. El incremento de la temperatura de la masa que se está compostando, es resultado de la actividad microbiana, por lo que la temperatura ha sido considerada tradicionalmente como una variable fundamental en el control del compostaje debido a que se ha comprobado que pequeñas variaciones de temperaturas afectan más a la actividad microbiana que pequeños cambios de la humedad, pH o relación C/N⁸⁷.

⁸³ MENG, Liqiang, et al. Effects of sucrose amendment on ammonia assimilation during sewage sludge composting. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. 6.vol. 210, p. 160-166p.

⁸⁴MENG, Liqiang, Op cit p.8.

⁸⁵MORETTI, C. La Biotecnología en el tratamiento ecológico de los residuos urbanos. Ministerio de Economía y obras Públicas. Subsecretaría de Estado de Obras y Servicios Públicos. Neuquén (Argentina) 1986

⁸⁶INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Productos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. NTC 5167. Bogotá.D.C.:El instituto,2011.

⁸⁷LIANG C, DASCK C and MCLENDON Rw. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. En: Bioresource Technol. Enero, 2003, Vol. 86. p131-137.

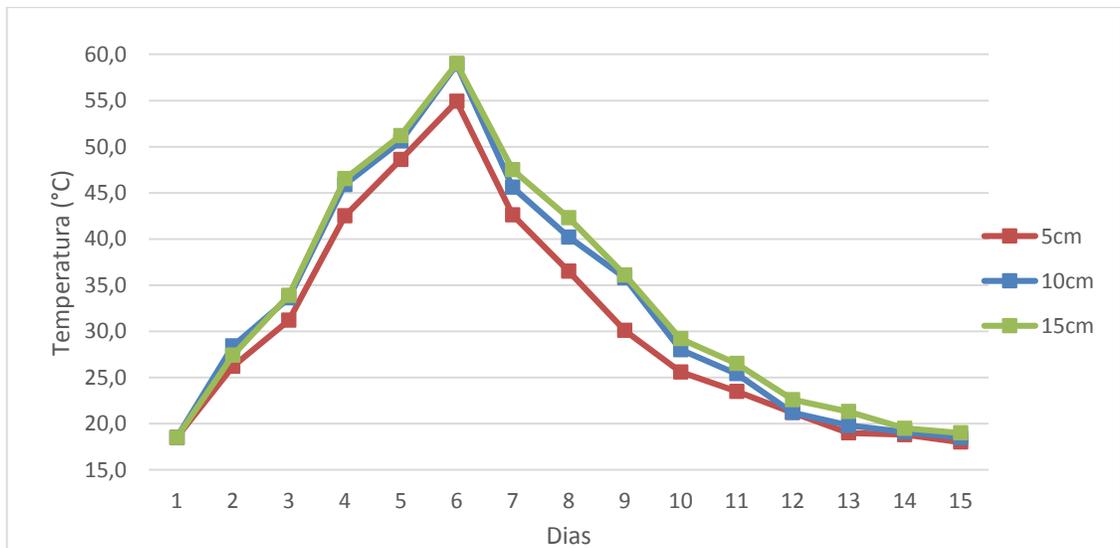
Imagen 7. Fase termófila en reactor (a) y reactor 2 (b)



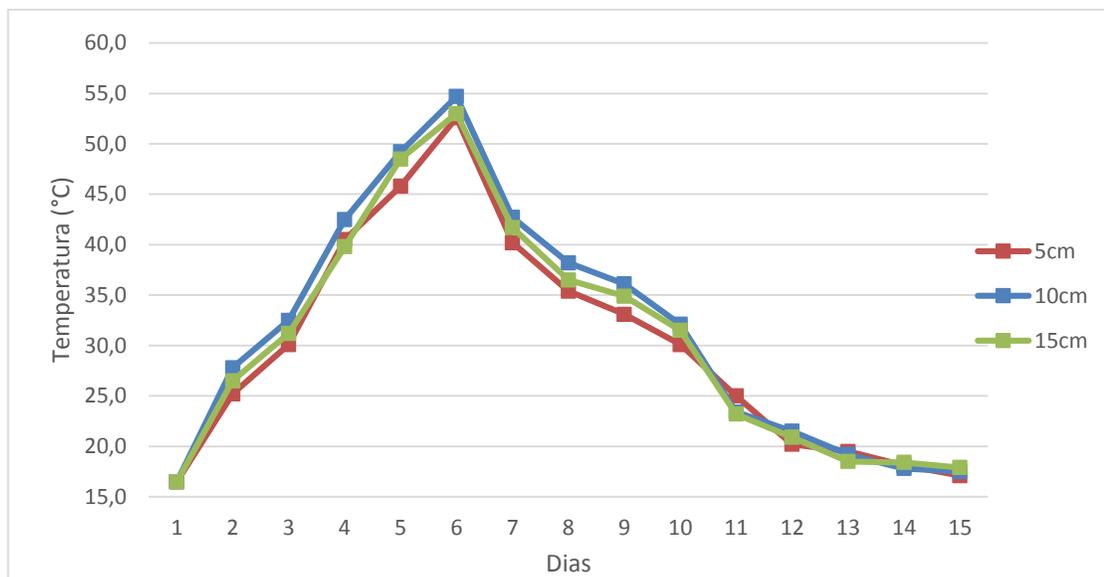
Fuente: Elaboración propia.

La evolución de la temperatura registra una relación directa con la degradación de la materia orgánica a través del tiempo comportamiento ideal en la descomposición aerobia. La actividad microbiana presenta tres fases a lo largo del proceso, en la Imagen 6 se logra evidenciar el proceso de compostaje en la fase termófila en cada reactor, esta fase duro unos pocos días y se observó la posible manifestación de *actinomicetes*, bacterias filamentosas que forman pequeñas compactaciones blancas a lo largo del material. A partir de esto para analizar el comportamiento de la temperatura en cada reactor se generaron gráficas a las diferentes profundidades.

Gráfica 2. Perfil de temperaturas de cada reactor, (a) reactor 1 y (b) reactor 2.



(a)



(b)

Fuente: Elaboración propia.

Según Hassen et al., (2001)⁸⁸ y Sztern y Pravia (1999)⁸⁹ el compostaje aerobio se identifica por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10°C – 40° C) con etapas termogénicas (40°C – 75°C) con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente⁹⁰, durante la evolución del proceso se genera una sucesión de ambientes debido a las actividades combinadas de una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos⁹¹.

Como se muestra en la Gráfica 2, el proceso comienza en la fase de latencia o mesófila inicial con una temperatura de 18,5°C para el reactor 1 y 16,5°C para el reactor 2, esta temperatura resulta benéfica para los microorganismos mesófilos los cuales inician la descomposición de la materia orgánica produciendo desprendimiento de calor, este aumento permite la adecuación a la siguiente fase donde los microorganismos termófilos se caracterizan por trabajar en ambientes de altas temperaturas, como se observa en las gráficas la fase tuvo una duración de 4 días alcanzando promedios de temperaturas máximas de 57.6°C para el reactor 1 y 53,43°C para el reactor 2; la fase termófila también es conocida como fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen

⁸⁸HASSEN A, BELGUITH K, JEDIDI N, CHERIF M y BOUDABOUS A. Microbial Characterization During Composting of Municipal Solid Waste. *En: Bioresource Technology*. 2001. vol 80. p 217-225.

⁸⁹SZTERN, D, y PRAVIA, M. A. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud. 1999. p 90-95.

⁹⁰ESTADOS UNIDOS. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Manual para la elaboración de compost. Por el cual se establece el informe de las bases conceptuales y procedimientos. Washington: Sistema de las Naciones Unidas. 1999 p 69.

⁹¹HAUG, R.T. Practical Handbook of Compost Engineering. United States. Taylor and Francis Ltd. 1993 p 58.

fecal⁹², es preciso mencionar que en el reactor 1 se alcanzaron temperaturas por encima de 55°C eliminando los *huevos de Helmintos* presentes en los lodos esto es importante debido a que un compostaje bien fermentado produce la esterilización del material por la elevación de la temperatura y la producción de fermentos (antibióticos)⁹³, un compost maduro no debe contener compuestos tóxicos para las plantas o el ambiente ofreciendo al usuario la seguridad de no contaminar el suelo que abona.

Finalmente, luego de que los reactores alcanzaran su máxima temperatura, en el día 8 comienza el proceso de enfriamiento e inicia la fase de maduración donde se degradan los componentes más complejos como los son los anillos de lignina⁹⁴ y adicionalmente las características organolépticas mejoran. Esta fase se caracteriza por no presentar variaciones considerables en el registro de las temperaturas, como se observa la temperatura promedio en los reactores en este punto alcanza valores de 18,5°C para el reactor 1 y 17,5°C para el reactor 2, muy cercanas a la temperatura inicial considerándose como el final del proceso.

3.3.4 Humedad. Debido que el compostaje es un proceso biológico de descomposición de materia orgánica, la presencia de agua es indispensable para las necesidades fisiológicas de los microorganismos, esta variable es una de las más importantes del proceso porque es el medio de transporte de las sustancias solubles a las células y los productos de desecho de las reacciones dadas⁹⁵. Un buen control de la humedad y de la aireación permite controlar la temperatura, durante el proceso de compostaje se debe llegar a un equilibrio entre los huecos entre partículas que se pueden llenar de aire o agua. Por lo tanto, para determinar la humedad inicial óptima en este proceso de compostaje fue calculado a partir del balance desarrollado anteriormente en el cual se tiene en cuenta las características de los diferentes agentes de carga y el peso dispuesto para el desarrollo de esta propuesta, a partir de esto se obtuvieron los resultados de 70,8% para el reactor 1 y para el reactor 2 es de 75,78%. Para el análisis de esta variable se tomaron tres medidas en diferentes puntos del compostaje como se mencionó al determinar el método de medición de variables, para realizar la gráfica 3 se ponderaron los valores por cada punto de medición como se muestra a continuación.

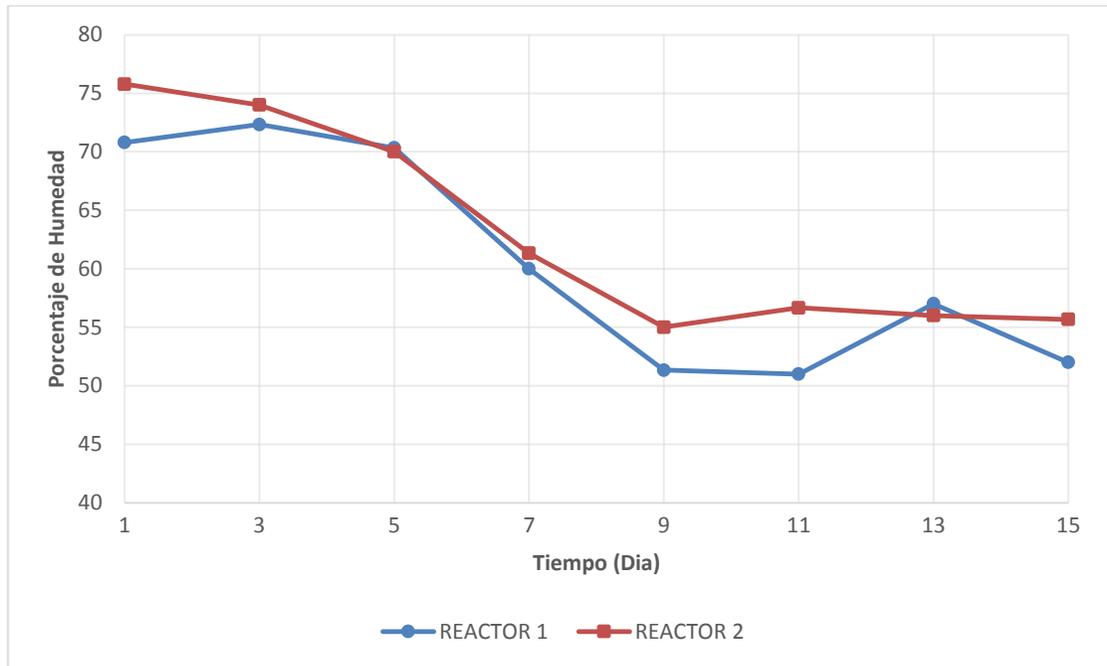
⁹²ROMAN Op cit., p 32-33.

⁹³MORENO CASCO J y HERRERO MORAL R. Compostaje. Bogotá: Mundi-Prensa Libros S.A, 2008. P 13-18.

⁹⁴TUOMELA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. En: Bioresource technology. Abril, 2000. vol. 72, no. 2, p. 169-183.

⁹⁵MORENO Op cit., p 20.

Gráfica 3. Comportamiento de humedad.



Fuente: Elaboración propia.

La humedad de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa, para que permita la circulación tanto del oxígeno como de los otros gases producidos durante la reacción⁹⁶. Como se puede observar en la Gráfica 3, el comportamiento de la humedad para los dos reactores tiende a disminuir a medida de que el proceso se va desarrollando, esto según Lu et al., (2009)⁹⁷ se atribuye a la influencia de la aireación y a la evapotranspiración causada por las altas temperaturas del sistema; en el día 13 del proceso se obtuvo una variación del 51% al 57% de humedad en el reactor 1, este comportamiento puede atribuirse a un error de medición debido a la gran discrepancia con respecto a los demás valores.

Al finalizar el proceso en el día 15 los dos reactores presentan un comportamiento similar en el decrecimiento obteniendo valores de 52% y 55,66% respectivamente, que aunque es un comportamiento ideal para el compostaje, de acuerdo a la NTC 5167(2011)⁹⁸ la humedad requerida para abonos debe ser igual o inferior al 15%, esto indica la necesidad de secar el producto como proceso de acondicionamiento.

⁹⁶ MIYATAKE Fumihito and IWABUCHI Kazunori. Effect of compost temperature on oxygen uptakerate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. *En: Bioresource Technology*. Mayo, 2006, Vol. 97 no.7, p 961-965 .

⁹⁷ LU Y, WUA X, y GUO J.Characteristics of municipal solid waste and sewage sludge co-composting. *Waste Management*. 2009. p.1152–1157.

⁹⁸ Ibid., p.4.

3.3.5 Sólidos Volátiles. Los componentes volatilizados pueden ser orgánicos e inorgánicos, su composición puede variar dependiendo del tipo de residuo tratado, del estado de descomposición y de las condiciones de operación del proceso, en muchos casos estas sustancias son sulfuros, compuestos de nitrógeno, ácidos orgánicos, aldehídos y cetonas; en condiciones aerobias los sólidos volátiles que predominan en el proceso son los alcoholes, cetonas, esterés, ácidos orgánicos e hidrocarburos en particular el tolueno y el etilbenceno⁹⁹. Este factor se estima por medio de la ecuación 1, obteniendo el porcentaje de sólidos volátiles al inicio y al final del proceso; los valores obtenidos para cada reactor se evidencian a continuación.

Tabla 13. Porcentaje inicial y final de sólidos volátiles.

Reactor	% Sólidos Volátiles inicial	% Sólidos Volátiles Final
1	92,58	58,65
2	92,58	50,08

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a los valores obtenidos se puede observar en la Tabla 13 que hay un decrecimiento de sólidos volátiles durante el proceso de compostaje, esto se debe directamente a la biodegradación presentada por las materias de carga dentro de los reactores este comportamiento es similar con los estudios realizados por Schlegelmilch et al., (2005)¹⁰⁰ y Tolvanen et al., (2005)¹⁰¹. La mayor pérdida de sólidos volátiles ocurre al final y no al inicio del proceso como ocurre comúnmente en los procesos llevados a cabo en reactores¹⁰². Este comportamiento se adjudica a la difícil degradación de algunos compuestos en la fase inicial del compostaje. Aunque la cantidad de sólidos volátiles pueda seguir disminuyendo, los efectos causados por la producción de diferentes gases en un tiempo de retención mayor no serán considerables.

⁹⁹ PAGANS, Estela, et al. Emission of volatile organic compounds from composting of different solid wastes: Abatement by biofiltration. En: Journal of Hazardous materials. September, 2005. vol. 131, p. 181

¹⁰⁰ SCHLEGELMILCH M., STREESE J., BIEDERMANN W., HEROLD, T., & STEGMANN, R. Odour control at biowaste composting facilities. Waste Management. 2005. vol 25, p. 917–927.

¹⁰¹ TOLVANEN O, NYKÄNEN, J., NIVUKOSKI U, HIMANEN M. V, y HÄNNINEN K. Occupational hygiene in a Finnish drum composting plant. Waste Management. 2005. p.427-433.

¹⁰² SALDARRIAGA Juan Fernando. Compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en el proceso de compostaje de los residuos sólidos urbanos y su efecto en la salud humana. Tesis de maestría. Ingeniero Urbano. Medellín: Universidad de Medellín. Facultad de ingenierías, 2009 13p.

3.3.6 Relación C/N. La característica química más importante de los sustratos es su composición elemental, debido a que la posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean¹⁰³.

Tabla 14. Relación C/N

Reactor	Relación C/N Inicial	Relación C/N Final
1	22,76	17,44
2	13,35	10,95

Fuente: Elaboración propia.

Según la Tabla 14 se evidencia una disminución considerable debido a la actividad microbiana la cual probablemente se puede estabilizar con el tiempo, este comportamiento se observa también en otras investigaciones realizadas por los autores Dimambro et al., (2007)¹⁰⁴ y Levanon y Pluda (2002)¹⁰⁵, en las cuales al evaluar esta relación se mostró una tendencia decreciente durante el proceso. Los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de Carbono por cada una de Nitrógeno debido a que son macronutrientes importantes para su desarrollo; el carbono es necesario en la síntesis celular porque durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico, es el elemento que debe estar presente en mayor concentración. Por otro lado el nitrógeno es un elemento esencial para la reproducción celular y se ha demostrado que la calidad de un compost como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de nitrógeno¹⁰⁶.

De acuerdo a los resultados obtenidos se comprueba que a lo largo del proceso estos nutrientes aumentan debido a la degradación de la materia orgánica, adicionalmente con respecto a lo exigido en la NTC 5167 (2011)¹⁰⁷ estos parámetros cumplen con los rangos determinados. La diferencia entre los valores finales de cada reactor se puede atribuir a las cantidades cargadas, en base a lo especificado en el reactor 1 la materia orgánica ayudó a mejorar esta relación debido a que es un elemento rico en nutrientes. De acuerdo a lo anterior en la Tabla 15, se evidencia de forma detallada la cantidad de carbono y nitrógeno en cada reactor.

¹⁰³ MÁRQUEZ. Op. cit.,6p .

¹⁰⁴ DIMAMBRO M, LILLYWHITE R y RAHN C. The Physical, Chemical and Microbial Characteristics of Biodegradable Municipal Waste Derived Composts. Compost Science & Utilization. 2007. p. 243-252 .

¹⁰⁵ LEVANON D., & PLUDA D. Chemical, Physical and Biological Criteria for Maturity in Composts for organic Farming. Compost Science and Utilization. 2002. p.339-346.

¹⁰⁶ Ibid., 6p

¹⁰⁷ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Productos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. NTC 5167. Bogotá.D.C.:El instituto,2011.4p

Tabla 15. Carbono total y nitrógeno total al final del proceso de cada reactor.

Parámetro	Reactor 1	Reactor 2
Carbono Final	16,43%	14,13%
Nitrógeno Final	1,23%	1,29%

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7 Microorganismos Patógenos. Este factor está ligado a la inocuidad biológica del compost debido a que para evaluar la calidad del abono orgánico, se tiene en cuenta la presencia de microorganismos patógenos, no lograr la eliminación de estos microorganismos puede presentar riesgos biológicos y químicos para el medio ambiente y a los organismos que lo componen¹⁰⁸. En la Tabla 16 se observan las temperaturas y el tiempo requerido para asegurar la eliminación de los microorganismos patógenos.

Tabla 16. Temperaturas y tiempos requeridos para la eliminación de patógenos más comunes.

Microorganismos	Temperatura °C	Tiempo de exposición
Brucella abortus	55	1 hora
	62	3 minutos
Escherichia coli	55	1 hora
	65	15-20 minutos
Salmonella (P/A)	55	1 hora
	65	15-20 minutos
Parvovirus bovino	55	1 hora
Virus Entéricos (UPC/g)	0,5	1 hora

Fuente. PILAR ROMÁN et al. Manual de compostaje del agricultor. 2013., p 33.

De acuerdo a esto y según las temperaturas máximas registradas en el experimento las cuales superaron los 55°C, se puede suponer la eliminación de la mayoría de los agentes patógenos, sin embargo, con la finalidad de corroborar estos datos, se realizó un análisis microbiológico de coliformes totales, coliformes fecales, salmonella y microorganismos aerobios llevados a cabo por el laboratorio AllChem. Los resultados obtenidos se observan en la Tabla 17.

¹⁰⁸ DÉPORTÉS, Isabelle; BENOIT-GUYOD, Jean-Louis y ZMIROU, Denis. Hazard to Man and the Environment Posed by the use of Urban Waste Compost: A Review. En: Science of the total environment. November, 1995. vol. 172, p, 197-222

Tabla 17. Caracterización microbiológica al final compostaje

	Reactor 1	Reactor 2	Decreto 1287
Coliformes Totales (UFC/g)	1,0x10 ³	1,0x10 ⁵	1X10 ³
Coliformes Fecales (UFC/g)	1,0x10 ²	1,0x10 ⁴	1X10 ³
Salmonella (P/A)	Ausencia	1,0x10 ⁴	Ausencia
Huevos de Helmintos (UFC/g)	Ausencia	1,2	<1,0
Virus Entéricos (UPC/g)	0,5	1,3	<1,0

Fuente: Elaboración propia.

A partir de esto se puede observar un aspecto positivo en el reactor 1 cumpliendo con la eliminación de la mayoría de los agentes patógenos como consecuencia de las temperaturas alcanzadas en la fase termófila asegurando la higienización del producto, esto al momento de la utilización del material evitará fitotoxicidad que provoca malos olores y un medio tóxico para la recuperación del suelo, este comportamiento se evidencia de igual manera en los trabajos realizados por Amir et al., (2008)¹⁰⁹ y Sole-Mauri et al., (2007)¹¹⁰. En cuanto al reactor 2 se observa que no se alcanzó a eliminar los microorganismos patógenos presentes, esto se adjudica probablemente a que en la fase termófila no se alcanzaron las temperaturas descritas en la teoría para asegurar la sanitización del abono producido. De acuerdo a lo exigido en el DECRETO 1287 (2014)¹¹¹ se evidencia que el producto obtenido en el reactor 1 cumple con los requerimientos, con respecto al reactor 2 los valores sobrepasan los límites este factor se atribuye a las bajas temperaturas registradas a lo largo del proceso de compostaje, es por esto que se sugiere la implementación de un ciclo de acondicionamiento del material saliente con el fin de que este sea expuesto durante necesario a las temperaturas requeridas que aseguren la eliminación de todos los microorganismos.

3.3.8 Análisis del abono producido. De acuerdo a los resultados de la caracterización final del abono obtenido en la experimentación, en la Tabla 18, se evidencian los valores de cada una de las variables estudiadas.

¹⁰⁹AMIR S, MERLINA G, PINELLI, E., WINTERTON P, REVEL, J.-C, y HAFIDI, M. Microbial community dynamics during composting of sewage sludge and straw studied through phospholipid and neutral lipid analysis. *Journal of Hazardous Materials*. 2008. p.593–601.

¹¹⁰ SOLE-MAURI F, ILLA, J, MAGRI A, PRENAFETA-BOLDÚ F. X, y FLOTATS, X. An integrated biochemical and physical model for the composting process. *Bioresource Technology*. 2007.p. 3278–3293

¹¹¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. *Decreto 1287* (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Bogotá, D.C., El Ministerio, 2014. 4p

Tabla 18. Resumen de caracterización de abonos orgánicos producidos.

Análisis Realizado	Reactor 1	Reactor 2
Carbono Orgánico	16.43%	14.13%
Nitrógeno Total	1.23%	1.29%
Humedad	52.15%	55.70%
Coliformes Totales (UFC/g)	1,0x10 ³	1,0x10 ⁵
Coliformes Fecales (UFC/g)	1,0x10 ²	1,0x10 ⁴
Salmonella (P/A)	Ausencia	1,0x10 ⁴
Huevos de Helminos (UFC/g)	Ausencia	1,2
Virus Entéricos (UPC/g)	0,5	1,3

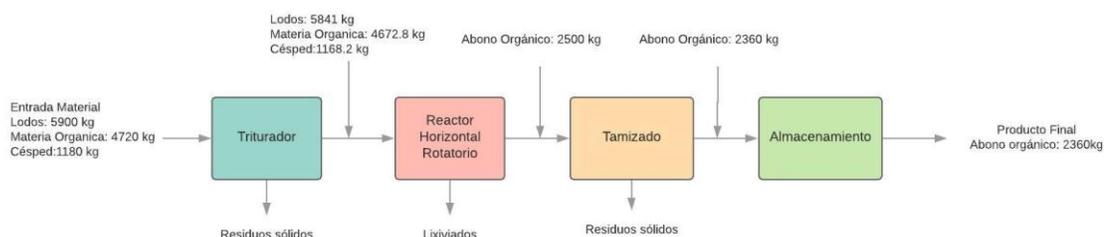
Fuente: Elaboración propia.

A partir de la experimentación realizada se establece que en el reactor 1 se presentaron las mejores condiciones en el proceso, lo cual cumple con los requerimientos para su uso en la recuperación de suelos erosionados. En cuanto al reactor 2 se encontró que en el desarrollo del proceso no se alcanzaron los requerimientos de temperatura, humedad y microorganismos patógenos lo que significa que el producto obtenido es nocivo para su uso como fertilizante orgánico.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Este capítulo presenta los requerimientos técnicos del proceso de compostaje para el aprovechamiento de la totalidad de los lodos generados por la empresa SITAGA S.A.S. en la planta de tratamiento de aguas ubicada en el Parque Agroindustrial de Occidente, de igual forma las especificaciones de los equipos necesarios para la adecuación de la materia de carga, el tratamiento y el post tratamiento del producto. A continuación, en la Figura 3 se muestra cada una de las etapas que actúan durante el proceso de producción de abono orgánico junto con sus respectivas entradas y salidas en unidades de masa (kg).

Figura 3. Diagrama de bloques del proceso.



Fuente: Elaboración propia.

4.1 RECOLECCION DE MATERIAS PRIMAS

La producción de abono orgánico que se propone para la planta de tratamiento de aguas del Parque Agroindustrial de Occidente requiere de materia orgánica, poda de césped y lodos residuales secos. A continuación, se especifica cómo se realizará la recolección de estas materias de carga, en base al diagrama de bloques expuesto en la Figura 3, es importante especificar que los cálculos realizados para determinar la cantidad de cada uno de los agentes necesaria para suplir con la totalidad de la producción de lodos residuales generados en la planta se exponen en el Anexo I.

4.1.1 Lodo Residual. La planta de tratamientos del Parque Agroindustrial de Occidente cuenta con tres lechos de secado con capacidad máxima de 25m³, la cantidad de lodos totales almacenados es aproximadamente de 20m³, en el proceso de secado los lodos residuales pierden aproximadamente el 70% de humedad generando una cantidad de lodos secos totales de 6.145 m³ al mes, este valor es cercano al valor registrado de la última disposición de residuos sólidos realizada por la empresa externa donde la cantidad de lodos secos dispuestos fue de 5915 kg. Los lodos serán recolectados en costales de fique y almacenados para luego ser cargados al reactor.

4.1.2 Materia Orgánica. De acuerdo a la información proporcionada en el Capítulo 2, donde se expone la cantidad de materia orgánica que el Parque Agroindustrial de

Occidente genera por las actividades de los establecimientos, es necesario especificar la cantidad de materia prima necesaria según los requerimientos de producción para el aprovechamiento de los lodos. Por lo anterior y de acuerdo a la experimentación realizada, se concluye que la cantidad de materia orgánica a utilizar es el 80% de la cantidad total de lodos, es decir, 4720 kg de materia orgánica. Para la recolección se contará con un tanque receptor de fácil acceso a los trabajadores de los establecimientos.

4.1.3 Poda de Césped. Actualmente en el Parque Agroindustrial de Occidente realizan la poda de césped cada dos semanas en todas las áreas verdes del terreno donde se generan aproximadamente una cantidad de 590 kg de césped, a partir de esto se supone una producción mensual de 1180 kg, esta cantidad de acuerdo a lo establecido cumple con lo requerido para la producción de abono tratando la cantidad total del lodo generado. Es importante mencionar que el Parque Agroindustrial de Occidente y la empresa contratada para el mantenimiento de zonas verdes adquirieron el compromiso de la recolección y transporte del material hasta la planta de tratamiento para su posterior uso.

4.2 CONDICIONES DE PROCESO DE COMPOSTAJE

A continuación, se describen las especificaciones de cada proceso y las condiciones que permiten un adecuado desarrollo de producción de abono. Adicionalmente en cada etapa se describen los equipos apropiados para el desarrollo del proceso para la producción de lotes mensuales de abono orgánico y se menciona brevemente las características técnicas de las unidades requeridas.

4.2.1 Reactor. Los reactores horizontales rotatorios son sistemas que permiten el control de distintos parámetros, un menor tiempo de residencia y la posibilidad de realizar un proceso continuo¹¹². Razón por la cual se utiliza un reactor horizontal con recubrimiento interno en acero galvanizado como aislante térmico para evitar pérdidas de calor. Como primera operación unitaria cuenta con una trituradora al inicio que procesa la materia disminuyendo el tamaño de partícula este parámetro es importante debido a que influye directamente en la calidad del producto final. Esta operación interviene grandemente la optimización del proceso debido que al definir la superficie expuesta al ataque microbiano más rápida es la velocidad del proceso. Posteriormente cuenta con un tanque horizontal totalmente cerrado y aislado, además de un sistema de mezclado incorporado para la homogenización del material cargado adicionalmente tiene un sistema de ventilación mejorado. Este reactor opera totalmente automatizado, incluyendo la opción de carga y descarga, en la parte final del reactor cuenta con una bandeja de curado como última operación unitaria, la cual tiene como objetivo estabilizar todos los parámetros y tamizar mediante un método mecánico que separa dos sólidos de diferentes

¹¹²SANCHEZ Alvaro, HIDALGO Francisco, Estudio Sobre Maquinaria Idónea Para Las Labores De Compostaje De Alpeorujos. Junta de Andalucía, ECOPODA. 2012. p 26.

tamaños de partícula, se recomienda este paso para que el producto obtenido tenga una textura entre 0.25 mm – 2.5 mm¹¹³, que favorece el transporte de nutrientes, reduciendo la evaporación del agua y regulando la humedad con el fin de mejorar la estructura del suelo. Finalmente se da la opción de descarga del total de abono producido.

Figura 4. Ficha técnica reactor rotatorio horizontal

FICHA TECNICA REACTOR	
	<p>MARCA: Multicomp™ MODELO: 5M Industrial Composter NOMBRE: Reactor rotatorio horizontal CAPACIDAD: 12000-13000 L DIMENSIONES: L: 7169mm W:2312mm H: 1874mm PESO: 2 Ton MOTOR ELECTRICO</p>

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2 Empaque. La etapa final del proceso se basa en el empaque del abono orgánico. En primera instancia el empackado se propone en bolsas de polietileno con capacidad de 10 kg cada una, este material permite el transporte de grandes cargas sin riesgo al desgaste y rompimiento del mismo, además de gran capacidad de preservar el contenido evitando que el producto se vea afectado a los factores climáticos a los cuales pueda ser expuesto al momento de ser comercializado adicionalmente evitar la generación de gases que puedan alterar las condiciones de temperatura y humedad. Es importante mencionar que debido a que la calidad del producto se basa en aspectos que aseguran su comercialización cumpliendo con los estándares que protejan el medio ambiente y la salud pública se realizará un análisis de calidad por medio de un laboratorio por cada lote producido.

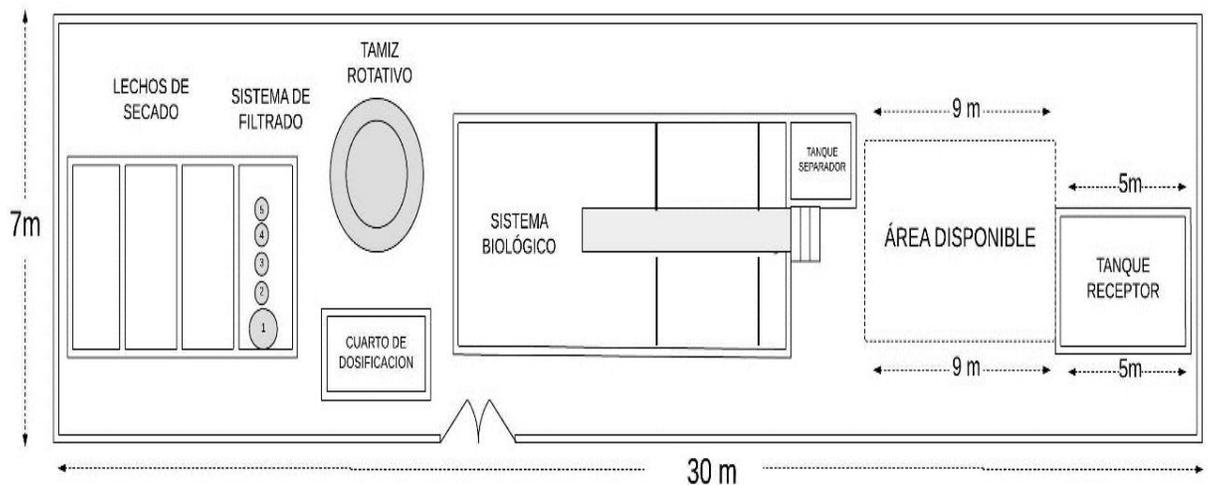
4.3 ÁREA DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Para realizar el proceso de compostaje a gran escala se deben tener en cuenta ciertos factores dimensionales, por lo cual se realiza un análisis para delimitar el área requerida en todo el proceso de producción. A partir de esto se determina que SITAGA S.A.S cuenta con un área disponible dentro de la planta de tratamiento de

¹¹³TORRES MARIA CAMILA (2017). Obtenido de Propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de la empresa regional Aguas del Tequendama. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogota D.C.,. Fundacion Universidad de America. Facultad de Ingenierias. Departamento de Quimica. 2017. 69p.

aguas como se muestra en la Ilustración 2, donde se proyecta realizar la instalación del reactor; este espacio requiere de una adecuación donde se debe proceder a deshierbar y retirar pasto para después cementar el suelo con el fin de que el área quede uniforme y los lixiviados que puedan producirse no se filtren en el suelo, adicionalmente se requiere adecuaciones de infraestructura donde se teje el espacio para proteger el equipo y prolongar su vida útil. En cuanto a la materia orgánica y la poda que deben ser adicionadas a los lodos para el proceso de compostaje, su área de recepción está ubicada en un tanque de almacenamiento para cada uno que serán dispuestos en la planta. Finalmente para empacar y almacenar el producto generado se procede al alquiler de una bodega cercana a la planta de tratamiento donde el abono saliente pueda ser trasladado evitando costos de transporte.

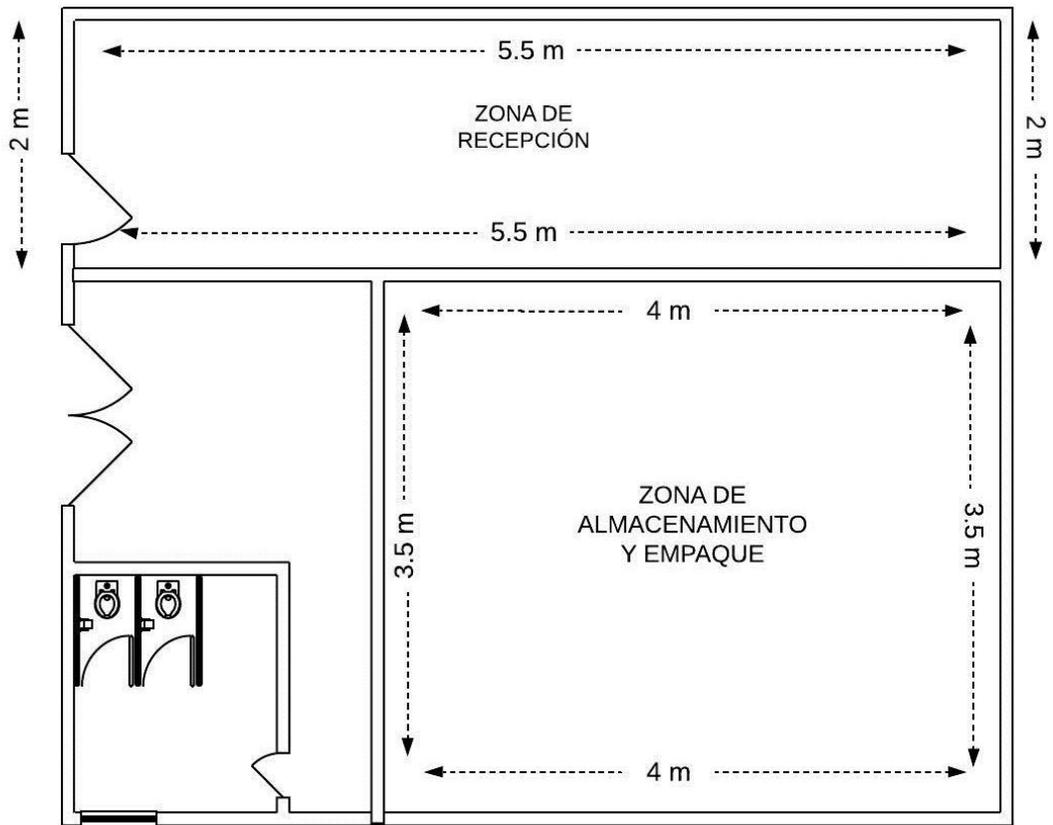
Ilustración 2. Plano planta de tratamiento de aguas PAO.



Fuente: Elaboración propia.

La distribución de este local se muestra en la Ilustración 3 donde se cuenta con una zona de recepción del producto recién obtenido del reactor, la cual tiene una área de 5,5 m de largo por 2 m de ancho, además de una zona de empaque y almacenamiento con un área de 4 m de largo por 3,5 m de ancho con el objetivo de cumplir los requerimiento de seguridad; el local es completamente cerrado y cuenta con buena ventilación para ayudar a la disipación de calor y gases de combustión que se puedan generar espontáneamente. Los criterios para la adquisición del local se establecieron a partir de la cantidad de bolsas producidas que cuentan con una dimensión de 2,72 m de largo por 2,4 m de ancho, se establece disponer de 8 bolsas a lo largo y 6 bolsas a lo ancho como base sobreponiendo 5 pilas para cumplir con la totalidad de bolsas obtenidas al mes.

Ilustración 3. Plano bodega.



Fuente: Elaboración propia.

5. ANÁLISIS DE COSTOS DEL PROCESO

En el presente capítulo se analizan los costos de implementación y ejecución del proceso de compostaje desarrollado, adicionalmente se evalúa la rentabilidad y viabilidad de la aplicación de la propuesta por parte de la empresa SITAGA S.A.S. Se realiza un flujo de cada a cinco años, con la intención de evaluar indicadores financieros como valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

5.1 INVERSIÓN

5.1.1 Costo de equipos. Hace parte de los costos directos del proceso; para realizar el análisis de la inversión es importante aclarar que se determinó la adquisición de equipos estándar por su economía y accesible implementación y uso. Cada equipo fue descrito anteriormente en el Capítulo 4 de Especificaciones Técnicas.

Tabla 19. Costos de inversión.

Inversión			
Equipos	Costo Unitario	Cantidad	Valor Total
Reactor	\$ 50'000.000	1	\$ 50'000.000
INVERSIÓN TOTAL		\$ 50.000.000	

Fuente: Elaboración propia.

5.2 EGRESOS

5.2.1 Costos de mano de obra. Los costos de mano de obra están ligados directamente al número de personas por contratar para el desarrollo del proceso. Para este proyecto se requiere un operario a tiempo completo y un ingeniero de planta, se prefiere un ingeniero químico recién egresado, el cual se compromete a realizar una revisión semanal a los equipos y al proceso. El valor de mano de obra se rige por medio del salario mínimo mensual vigente en Colombia para el año 2019.

Tabla 20. Costos mano de primer año.

Cargo	Salario (\$/mes)	Prestaciones sociales (\$/mes)	Subsidio de transporte (\$/mes)	Costo Operario (\$/mes)	Costo total (\$/año)
Operario	\$ 828.116	\$ 180.774	\$ 97.032	\$ 1.105.922	\$ 13.271.069
Ingeniero	\$ 1.200.000	\$ 261.955	\$ 97.032	\$ 1.558.987	\$ 18.707.846

Fuente: Elaboración propia.

La mano de obra proyectada a 5 años, se realiza en base a los incrementos relacionados a la inflación del consumidor IPC (2019 = 3.40%, 2020 = 3.20%, 2021 = 3.25%, 2022 = 3.09%, 2023 = 3%). En base a esto se estima la mano de obra.

Tabla 21. Proyección mano de obra a cinco años

Año	Costo total (\$/año)
1	\$ 31.978.915
2	\$ 32.927.720
3	\$ 33.922.190
4	\$ 34.898.427
5	\$ 35.875.515

Fuente: Elaboración propia.

5.2.2 Depreciación. Los activos fijos tienen una vida útil y su desgaste implica un devalúo anual. La depreciación está reglamentada por el Decreto 3019 de 1989¹¹⁴, donde se establece una vida útil para equipos y maquinaria de 10 años, el valor de la depreciación anual se muestra en la siguiente tabla

Tabla 22. Depreciación anual.

Periodo (Año)	Equipos
1	\$5.000.000
2	\$5.000.000
3	\$5.000.000
4	\$5.000.000
5	\$5.000.000

Fuente: Elaboración propia.

5.2.3 Costos Directos. Son aquellos costos atribuidos al proceso de producción y a la inversión de materias primas. Se aclara que la adquisición de la materia de carga adicional se hace por establecimientos externos los cuales ceden los residuos sin ningún costo adicional, por lo cual no se tienen en cuenta. De acuerdo a esto en

¹¹⁴COLOMBIA, DIRECCION GENERAL DE IMPUESTOS NACIONALES. Decreto 3019 (26 d, Diciembre, 1989). Por la cual se modifica el Decreto 1649 de 1979 y se reglamenta parcialmente el estatuto tributario de los impuestos administrativos. Diario oficial. Bogotá D.C., 1989. no 39118. 12p.

la Tabla 22 se presenta la descripción de los costos requeridos para el desarrollo del proceso.

Tabla 23. Costos directos

Costos directos de producción.			
Concepto	Unidad	Total / Mes COP	Total / Anual COP
Lodo	Kg	-	-
Residuos Crudos	Kg	-	-
Poda de Césped	Kg	-	-
Servicios Públicos	-	\$300.000	\$ 3´600.000
TOTAL		\$300.000	\$ 3´600.000

Fuente: Elaboración propia.

5.2.4 Costos Indirectos. Están asociados a aquellos servicios y elementos necesarios para la puesta en marcha del proceso pero que no intervienen directamente en la producción por lo cual se consideran como costos fijos. A continuación, en la Tabla 23 se describen los costos indirectos requeridos.

Tabla 24. Costos Indirectos primer año

Costos indirectos de producción.		
Concepto	Total / Mes COP	Total / Anual COP
Control de calidad	\$ 416.666	\$ 5.000.000
Implementos de seguridad	\$ 150.000	\$ 1.800.000
Arriendo	\$ 1.500.000	\$ 18.000.000
limpieza	\$ 200.000	\$ 2.400.000
Contingencia	\$ 200.000	\$ 2.400.000
TOTAL ANUAL		\$ 29.600.000

Fuente: Elaboración propia.

De los costos indirectos, como se estableció anteriormente la empresa SITAGA S.A.S debe adquirir un local para la implementación de los equipos que no se

pueden instalar dentro de la planta de tratamiento en función a esto se estima el alquiler de un local de tipo comercial. Al momento de firmar el contrato por medio de un acuerdo contra actual se establece que el incremento en el costo del arriendo este fijado con el aumento del IPC anual. De igual manera el costo anual de mantenimiento se estima con el mismo incremento anual en base a esto se realiza la estimación para los cinco años posteriores como se muestra a continuación. Adicionalmente se establece un valor de control de calidad que es asumido de acuerdo a los precios establecidos en la caracterización realizada en la experimentación, se determina que este control de calidad se hará mensualmente con el lote de producción obtenido, las variables a analizar serían cantidad de Carbono Orgánico, Nitrógeno Total y porcentaje de Humedad.

Tabla 25. Incremento arriendo a cinco años

	Costo Total
Periodo (Año)	Arriendo
1	\$18.000.000
2	\$18.576.000
3	\$19.179.720
4	\$19.772.373
5	\$20.365.545
6	\$21.015.205
7	\$21.685.590
8	\$22.377.361
9	\$23.091.199
10	\$23.827.808

Fuente: Elaboración propia.

5.3 INGRESOS

Los ingresos son entradas de dinero o ganancias económicas. Para esta propuesta se obtienen 2360 kg de abono orgánico al mes, los cuales serán ofrecidos al mercado en una presentación de 10 kg a un precio de \$21.000 COP, el cual fue establecido luego de un estudio de mercadeo, este con el objetivo de adquirir clientes potenciales como dueños de fincas y viveros locales. Adicionalmente, se ofrece la posibilidad de implementar el producto dentro del Parque Agroindustrial de Occidente para reducir los costos en insumos de jardinería. A continuación, se muestran los ingresos de la planta a un estimado de 5 años.

Tabla 26. Ingresos estimados de la propuesta de compostaje

Ingresos anuales		
Periodo	Bolsas generadas	Venta por unidad (\$)
1 año	2839	\$59.619.000
2 año	2839	\$62.599.950
3 año	2839	\$65.729.948
4 año	2839	\$69.016.445
5 año	2839	\$72.467.267
6 año	2839	\$76.090.630
7 año	2839	\$79.895.162
8 año	2839	\$83.889.920
9 año	2839	\$88.084.416
10 año	2839	\$92.488.637

Fuente: Elaboración propia.

5.4 FLUJO DE CAJA

Los flujos de caja facilitan información acerca de la capacidad de la empresa para cubrir las deudas generadas por la implementación del proyecto. Es información indispensable para conocer el estado de la empresa con respecto a la rentabilidad de la ejecución del proyecto en base a esto se realiza un balance anual para un periodo de cinco años teniendo en cuenta que se proyecta producir 236 unidades por mes. En cada año se incrementó el 5% del precio de venta del producto para lograr la recuperación de la inversión inicial de \$55.000.000 requerida en este proyecto.

Tabla 27. Flujo de caja proyectado a 10 años.

Periodo (año)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	\$ 50.000.000									
Ingresos										
Total Ingresos	\$ 59.619.000	\$ 62.599.950	\$ 65.729.948	\$ 69.016.445	\$ 72.467.267	\$ 76.090.630	\$ 79.895.162	\$ 83.889.920	\$ 88.084.416	\$ 92.488.637
Egresos										
Mano de Obra	\$ 31.978.915	\$ 32.927.720	\$ 33.922.190	\$ 34.898.427	\$ 35.875.515	\$ 36.944.985	\$ 38.048.550	\$ 39.187.297	\$ 40.362.347	\$ 41.574.857
Costos Directos	\$ 3.600.000	\$ 3.600.000	\$ 3.600.000	\$ 3.600.000	\$ 3.600.000	\$ 3.600.001	\$ 3.600.002	\$ 3.600.003	\$ 3.600.004	\$ 3.600.005
Costos Indirectos	\$ 29.600.000	\$ 25.376.000	\$ 25.979.720	\$ 26.572.373	\$ 27.165.545	\$ 27.815.205	\$ 28.485.590	\$ 29.177.361	\$ 29.891.199	\$ 30.627.808
Utilidad antes de impuesto	-\$ 5.559.915	\$ 696.230	\$ 2.228.037	\$ 3.945.645	\$ 5.826.208	\$ 7.730.439	\$ 9.761.019	\$ 11.925.259	\$ 14.230.867	\$ 16.685.967
Impuesto de renta (30%)	-\$ 1.667.975	\$ 208.869	\$ 668.411	\$ 1.183.693	\$ 1.747.862	\$ 2.319.132	\$ 2.928.306	\$ 3.577.578	\$ 4.269.260	\$ 5.005.790
Utilidades Neta	-\$ 3.891.941	\$ 487.361	\$ 1.559.626	\$ 2.761.951	\$ 4.078.345	\$ 5.411.307	\$ 6.832.713	\$ 8.347.682	\$ 9.961.607	\$ 11.680.177
Depreciación	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000	\$ 5.000.000
Flujo de caja operativo	\$ 1.108.059	\$ 5.487.361	\$ 6.559.626	\$ 7.761.951	\$ 9.078.345	\$ 10.411.307	\$ 11.832.713	\$ 13.347.682	\$ 14.961.607	\$ 16.680.177

Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la viabilidad del proyecto se emplea el modelo de evaluación VPN (Valor presente neto) el cual determina si la inversión inicial es maximizada a largo plazo, se utiliza una tasa interna de oportunidad del 4.56%. Si el valor es positivo el proyecto tendrá viabilidad económica por el contrario si es negativo el proyecto es inviable y disminuirá el capital, en caso de que el valor obtenido sea cero el proyecto genera ni beneficios ni pérdidas, por lo que su realización resulta indiferente. La expresión para determinar el VPN se muestra a continuación.

Ecuación 8. Valor Presente Neto

$$VPN = -I_0 + \frac{P1}{(1+k)^1} + \frac{P2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{Pn}{(1+k)^n}$$

Donde, VPN= Valor presente neto, I = Inversión inicial, Pn = Flujo neto actual y k = Tasa interna de oportunidad (TIO).

$$VPN = -55.000.000 + \frac{1.108.059}{(1+4.56\%)} + \frac{5.487.361}{(1+4.56\%)^2} + \frac{6.559.626}{(1+4.56\%)^3} + \frac{7.761.951}{(1+4.56\%)^4} + \frac{9.078.345}{(1+4.56\%)^5} + \frac{10.411.307}{(1+4.56\%)^6} + \frac{11.832.713}{(1+4.56\%)^7} + \frac{13.347.682}{(1+4.56\%)^8} + \frac{14.961.607}{(1+4.56\%)^9} + \frac{16.680.177}{(1+4.56\%)^{10}}$$

$$VPN = \$ 22.240.752$$

La tasa interna de retorno es un criterio para la selección de proyectos que estima la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión, es decir, el porcentaje de beneficio o pérdida que tendrá la inversión del proyecto, este criterio da una medida relativa de rentabilidad por lo que viene expresada en porcentaje, para determinar este valor se utiliza la siguiente expresión.

Ecuación 9. Tasa Interés de Retorno

$$0 = -I_0 + \frac{P1}{(1+TIR)^1} + \frac{P2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{Pn}{(1+TIR)^n}$$

Donde, TIR es la tasa interna de retorno que es la variable de interés

$$0 = -55.000.000 + \frac{1.108.059}{(1+TIR)} + \frac{5.487.361}{(1+TIR)^2} + \frac{6.559.626}{(1+TIR)^3} + \frac{7.761.951}{(1+TIR)^4} + \frac{9.078.345}{(1+TIR)^5} + \frac{10.411.307}{(1+TIR)^6} + \frac{11.832.713}{(1+TIR)^7} + \frac{13.347.682}{(1+TIR)^8} + \frac{14.961.607}{(1+TIR)^9} + \frac{16.680.177}{(1+TIR)^{10}}$$

Para este proyecto se obtiene una TIR del 10.82%, de acuerdo a los criterios de selección si TIR es mayor a k el proyecto de inversión será aceptado, en este caso la tasa de rendimiento interno (10.82%) que se obtiene es superior a la tasa mínima de oportunidad exigida a la inversión (4.56%), lo que quiere decir que para una inversión realizada en el momento inicial se genera un beneficio a la misma.

6. CONCLUSIONES

- En la caracterización realizada para la muestra de lodo se obtuvo una humedad de 75,9%, relación C/N de 5.434 y pH de 6,34, estas características no cumplen con los criterios establecidos para el desarrollo de un buen compostaje, a partir de la caracterización microbiológica se evidencia que el lodo presenta ausencia de Salmonella y en cuanto a los demás microorganismos evaluados registra valores que dan cumplimiento a lo establecido en el DECRETO 1287 del 2014.
- Por medio de una matriz de selección que evaluó las diversas alternativas de compostaje se seleccionó un proceso de compostaje aerobio por medio de reactores horizontales con volteo, los materiales de carga fueron materia orgánica y poda de césped con el objetivo de obtener un compostaje estable en un tiempo de retención no mayor a 15 días, estos agentes de carga permitieron elevar los parámetros iniciales del compostaje asegurando la calidad del producto final.
- El desarrollo experimental se llevó a cabo en dos reactores horizontales a pequeña escala, haciendo seguimiento de los parámetros de temperatura, pH, humedad. Asimismo, se realizaron análisis iniciales y finales para las variables de relación C/N, cenizas, sólidos volátiles y microorganismos patógenos con el objetivo de determinar el comportamiento de biodegradación dentro del reactor, evaluando la calidad del producto. Teniendo en cuenta esto, el compost obtenido en el reactor 2 requiere de un acondicionamiento que mejore sus condiciones debido a que según los resultados finales el producto puede incidir negativamente en su uso.
- Se determinaron las especificaciones técnicas del proceso y se establecieron las cantidades necesarias para cumplir con el aprovechamiento de la totalidad de los lodos, cuyos valores en kg son de 5900 kg de lodos residuales, 4720 kg de materia orgánica y 1180 kg de poda de césped, con respecto a la elección de la maquinaria se optó por un reactor prefabricado que se ajusta a los requerimientos de producción y área disponible con la que se cuenta que es de 36m².
- Se realizó un análisis de costos para la implementación del proceso, en el cual se determinó que la inversión inicial en maquinaria corresponde a \$55.000.000 COP. Los costos de producción son relativamente bajos al no requerir de la compra de materias primas porque la mayor parte son los lodos residuales generados en la planta y los residuos orgánicos son recolectados gratuitamente. Una vez realizado el análisis de costos se determinó que en base a los indicadores evaluados el proyecto tiene viabilidad económica para la empresa, obteniendo un Valor Presente Neto de \$22.240.752 y una Tasa Interna de Retorno del 10.82%.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar nuevamente la caracterización de los lodos en diferentes puntos del proceso de secado, con el fin de asegurar la confiabilidad de los resultados obtenidos.
- Disminuir el tamaño de partícula del césped para asegurar su rápida degradación y no tener que aumentar el tiempo de residencia dentro del reactor.
- Desarrollar pre – experimentación variando alguno de los elementos de carga para determinar las variaciones con respecto a los parámetros que permitan un buen compostaje.
- Monitorear con más rigurosidad cada una de las variables que afectan el proceso de compostaje como lo son: temperatura, pH, humedad y de esta manera asegurar que el proceso se lleve a cabo en las condiciones adecuadas.
- Evaluar la calidad del abono orgánico producido sobre los suelos alrededor de la planta de tratamiento de aguas.
- Desarrollar un sistema de producción y almacenamiento para el abono orgánico que se produce.
- Realizar un estudio para el tratamiento de los lixiviados producidos en el proceso.

BIBLIOGRAFIA

ALVAREZ, J. 2010. Manual de compostaje para agricultura ecológica. Consejería de agricultura y pesca, Andalucía (Colombia). 48 p.

AMIR S, MERLINA G, PINELLI, E., WINTERTON P, REVEL, J.-C, y HAFIDI, M. Microbial community dynamics during composting of sewage sludge and straw studied through phospholipid and neutral lipid analysis. Journal of Hazardous Materials. 2008.p.593–601.

ARGENTINA, MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA. Importancia del pH y la conductividad eléctrica en los sustratos para plantas. Por el cual se establecen criterios para el manejo de variables y consejos para evitar problemas nutricionales. Argentina: El Ministerio, 2014. 7p.

BIDLINGMAIER W. Odour emissions from composting plants. En: BERTOLDI M, SEQUI P, LEMMES B and PAPI T. The Science of Composting. Vol I. London: Blackie Academic & Professional. p. 71 – 79.

BUENO Mariano. Como hacer un buen compost. Tercera edición. Bogotá. La fertilidad la tierra, Navarra. 2007, 5p.

BUENO, P., DIAZ, M. 2008. Factores que afectan al proceso compostaje. 1ed. Madrid, España. Ediciones Díaz de Santos 97 p

CASTALDI P., ALBERTI G., MERELLA R. and MELIS P. Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. Estados Unidos: Waste Manag, 2005, 209 – 213 p.

COLOMBIA, DIRECCION GENERAL DE IMPUESTOS NACIONALES. Decreto 3019 (26 de diciembre, 1989). Por la cual se modifica el Decreto 1649 de 1979 y se reglamenta parcialmente el estatuto tributario de los impuestos administrativos. Diario oficial. Bogotá D.C., 1989. no 39118. 12p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Bogotá, D.C., El Ministerio, 2014. 4p

COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, Julio, 2014). Por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Bogotá, D.C., El Ministerio, 2014. 7p.

CONDORCHEM ENVITECH. Retrieved from Smart Ideas for wastewater & air treatment: [en línea]. España. 2018. Disponible en: <https://blog.condorchem.com/tratamiento-de-lodos/>

CRONJE A., TURNER C., WILLIAMS A. Composting under controlled conditions. Estados Unidos: Environ Technol.2003. p. 1221 – 1234.

DIMAMBRO M. LILLYWHITE R y RAHN C. The Physical, Chemical and Microbial Characteristics of Biodegradable Municipal Waste Derived Composts. Compost Science & Utilization. 2007. p. 243-252

DÉPORTÉS, Isabelle; BENOIT-GUYOD, Jean-Louis and ZMIROU, Denis. Hazard to Man and the Environment Posed by the use of Urban Waste Compost: A Review. En: Science of the total environment. November, 1995. vol. 172, p, 197-222

ESPAÑA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. Manual de compostaje. Por el cual se establece el informe de seguimiento de compostaje domestico de las tres primeras experiencias. España: El Ministerio, 2008. 18 p.

ESPAÑA, MINISTERIO, ficha técnica. Estudio centro de estudios y experimentación de obras públicas. Lodos de depuradora. Residuos utilizables en construcción. España, Diciembre 2013. pág. 12-13

ESTADOS UNIDOS. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. Manual para la elaboración de compost. Por el cual se establece el informe de las bases conceptuales y procedimientos. Washington: Sistema de las Naciones Unidas. 1999 p 69.

EWEIS, J. B. Principios de biorecuperación. Tratamiento para contaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y fisicoquímicos. McGraw-Hill. España, 1999. p 20.

GEDAR. Tamiz Rotativo. Obtenido de Manual Tamiz Rotativo: [en línea] Andalucía, España Disponible en: <https://www.gedar.com/PDF/Residuales/GEDAR-Roto-Tamices.pdf>

GONZÁLEZ-FERNÁNDEZ, Jorge, et al. Evaluation of composition and performance of composts derived from guacamole production residues. En: Journal of environmental management. January, 2015, vol. 147, no. 1.

GUIA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRÁVES DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA. Bogotá D.C. enero 2016.Vol 1. No 1.

GUILLEM, M. FOS, C. BLANCO-VARELA, M. HUSILLOS, N. Utilización de lodos de EDAR tratados con cal como materia prima alternativa en la fabricación de clínker. Cemento Hormigón. ISSN 0008-8919, N°. 936, 2010. Pág. 66-76

HAUG, R.T. Practical Handbook of Compost Engineering. United States. Taylor and Francis Ltd. 1993. 58 p.

HASSEN A, BELGUTH K, JEDIDI N, CHERIF M y BOUDABOUS A. Microbial Characterization During Composting of Municipal Solid Waste. Bioresource Technology.2001. vol 80. p 217-225.

HAY, J.C. y KUCHENRITHER, R.T. "Fundamentals and Application of Windrow Composting" Journal of Environmental Engineering. July 2002. vol. 116, p. 746-763

HEDEGAARD M. and KRUGER I. Composting of agricultural wastes in Denmark in respect of potential, industrial process technology and environmental considerations. En: DE BERTOLDI M., SEQUI P., LEMMES B. and PAPI T. The science of composting. London: Blackie Academic & Professional, 1996. Vol I. p. 691 – 697.

HELYNEN S. Overview of European Policies and Directives aimed at promoting energy from Wood biomass Future Issues for Forest Industries in Europe. En: Dublin, Ireland. Abril – Mayo, 2004.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC -1486-6166. Bogotá D.C.: El Instituto, 2018. ISBN 9789588585673. 153 p.

_____.Calidad del agua. Muestreo Parte 3. Directrices para la preservación y manejo de muestras. NTC 5667-3, Bogota D.C.: El Instituto, 2014. 10-15 p

_____.Productos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. En NTC 5167. Bogotá D.C.: El instituto, 2011. 15p.

_____. Guía para el muestreo de lodos de aguas residuales y plantas de tratamientos de aguas. En NTC 5667-13 Bogotá D.C.: El instituto, 1998.13 p.

_____. Determinación de humedad, cenizas y materia orgánica. NTC 1886, Bogotá D.C.: El Instituto, 1983. 7 p.

IRANZO, Maria, et al. Characteristics of rice straw and sewage sludge as composting materials in Valencia (Spain). En: Bioresource technology. October, 2004, vol. 95, no. 1.

JARAMILLO, G., ZAPATA L. 2008. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Posgrado. Antioquia. Universidad de Antioquia. 116 p

J.MONZO, J. PAYÁ, M.V. BORRACHERO, J.J. MORENILLA, M. BONILLA, P. CALDERÓN. Some strategies for reusing residues from waste water treatment plants: preparation of binding materials. Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures. Noviembre 9-11. 2004. Barcelona.

JERIS J.S. and REGAN R.W. Controlling Environmental Parameters for Optimum Composting. En: Compost Sci. Marzo – Abril, 1973, Parte II. p. 8 – 15.

JHORAR D.S., PHOGAT V. and MALIK E. Kinetics of composting rice Straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. Quinta Edición. Rehabil: Arid Soil Rest, 1991.p. 297 – 306.

KABBASHI, Nassereldeen. Sewage sludge composting simulation as carbon/nitrogen concentration change. En: Journal of environmental sciences. November, 2011. Vol. 23, no. 11.

KALAMDHAD A and KAZMI A. Effects of turning frequency on compost stability and some chemical characteristics in a rotary drum composter. En: Chemosphere. March, 2009. Vol. 74, no. 10, p. 1327-1334.

KIEHL F.J. Fertilizantes Orgánicos. Sao Paulo: Agronómica Ceres, 1985. 15 p.

KIELY GERARD Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. Madrid: McGraw Hill, 1999. 55 p.

KOMILIS, Dimitris. Ham, Robert. and PARK, Jae. Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid waste. Water research. 2004.

KULCU R. and YALDIZ O. Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural waste. Estados Unidos: Biores Technol, 2004. Vol 93. No. 1. p. 49 – 57.

LEVANON D., & PLUDA D. Chemical, Physical and Biological Criteria for Maturity in Composts for organic Farming. Compost Science and Utilization. 2002. p.339-346.

L.F DÍAZ, BERTOLDI DE M., BIDLINGMAIER W and STENTIFORD. Compost Science and Technology. 1 Ed. Oxford: Elsevier Science Ltd, 2007. 54 p.

LIANG C, DASCK C and MCLENDON Rw. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. En: Bioresource Technol. Enero, 2003, Vol. 86. p 131-137.

LIATO, Viacheslav y AÏDER, Mohammed. Geosmin as a source of the earthy-musty smell in fruits, vegetables and water: Origins, impact on foods and water, and review of the removing techniques. En: Chemosphere. August, 2017. vol. 181.

LU Y, WUA X, y GUO J.Characteristics of municipal solid waste and sewage sludge co-composting. Waste Management. 2009. p.1152–1157.

Manejo ambientalmente adecuado de lodos provenientes de las plantas de tratamiento. Quito: Dirección de medio ambiente. Repamar. (Agosto 1999).

MADEJÓN E., DIAZ M.J., LÓPEZ R. and CABRERA F. Co-composting of sugarbeet vinasse: Influence of the organic matter nature of the bulking agents used. Estados Unidos: Biores Technol, 2001, p. 275 – 278.

MÁRQUEZ Pedro, DÍAZ Manuel Jesús y CABRERA Francisco. Factores que afectan el proceso de compostaje. En: MORENO JOAQUÍN y MORAL RAUL. España: Mundiprensa Libros S.A. p. 93-110.

MENG, Liqiang, et al. Effects of sucrose amendment on ammonia assimilation during sewage sludge composting. En: BIORESOURCE TECHNOLOGY. 6.vol. 210, p. 160-166 .

MICHEL F.C., PECCHIA J.A. and RIGOT J. Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or Straw. London: Compost Sci. 2004. Vol 12. No. 4. p. 323 – 334.

MIGUEL A. MONTES y MORAN, J. A. 5. El problema de la gestión de lodos en EDARs. Madrid: Universidad Internacional de Andalucía, p. 2010.113.

MIYATAKE Fumihito and IWABUCHI Kazunori. Effect of compost temperature on oxygen uptakerate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. En: Bioresource Technology. Mayo, 2006, Vol. 97 no.7, p. 961-965.

MOGOLLON LOZANO Sergio M, CARRILLO CASTANEDA Carlos H. Evaluación técnica, económica y ambiental de lodos provenientes de la PTAR de la compañía internacional de alimentos agropecuarios (Cialta SAS) como alternativa de aprovechamiento para la producción de ladrillos cerámicos. Trabajo de grado (Ingeniería Ambiental y sanitaria).Bogotá D.C. *Universidad de la salle*. Facultad de ingenierías. Bogotá. 2016. pág 38-40.

MOHEE, Romeela y MUDHOO, Ackmez. Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix. En: Powder technology. July, 2005. vol. 155, no. 1

MOHEDO GATON Juan José. Estudio de la estabilidad durante el compostaje de residuos municipales. Tesis Doctoral Ingeniero Químico. Montería.: Universidad de Córdoba. Facultad de Ciencias. Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química, 2002. 73 p.

MORENO CASCO J y HERRERO MORAL R. Compostaje. Bogotá: Mundi-Prensa Libros S.A, 2008. p.13-18.

MORETTI, C. La Biotecnología en el tratamiento ecológico de los residuos urbanos. Ministerio de Economía y obras Públicas. Subsecretaría de Estado de Obras y Servicios Públicos. Neuquén (Argentina) 1986

NAVARRO Ricardo A. Manual para hacer composta aeróbica. En: CESTA Amigos de la tierra. 2002. p. 4-5.

NEGRO M.J, VILLA F, and AIBAR J. Producción y gestión del compost. Zaragoza, España: CIEMAT. 2002. 4 p.

NIWAGABA, Charles B., et al. Bench-scale composting of source-separated human faeces for sanitation. En: Waste management. February, 2009. vol. 29, no. 2.

ONWOSI, C. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. En: Journal of environmental management. Vol 190. United States: Elsevier, 2017. p. 140-157.

OROPEZA GARCIA, N. Lodos residuales: Estabilización y manejo. En: Caos Conciencia, (Julio 2006). Vol. 1. No.1. 62 p.

PAGANS, Estela, et al. Emission of volatile organic compounds from composting of different solid wastes: Abatement by biofiltration. En: Journal of Hazardous materials. September, 2005. Vol. 131, p. 181

PROIETTI, Primo, et al. Composting optimization: Integrating cost analysis with the physical-chemical properties of materials to be composted. En: Journal of cleaner production. November, 2016. Vol. 137.

PROYECTO España. 2018. ECOCERÁMICA. [en línea]. Disponible en: Programa LIFE-Medioambiente.2005.http://ec.europa.eu/ambiente/life/projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=fil=LIFE05_ENV_E_000301_LAYMAN.pdf.

RASAPORR M, NASRABADI M, KAMALI M and HOVEIDI H. The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. En: Waste Management. Vol 29. United States: Elsevier Science 2009. p. 573.

RICHARD Tom and TRAUTMANN Nancy. Cornell Composting Science Engineering: C/N ratio. [En línea]. Ithaca, NY: Cornell Waste Management Institute. Cornell University. 1996. 1p. Disponible en: http://compost.css.cornell.edu/calc/cn_ratio.html.

ROBLES F, RÁMIREZ I, PIÑA A, COLOMER F. Efecto de la adición de agentes estructurantes a residuos hortícolas en tratamientos aerobios. En: Ingeniería Agrícola y Biosistemas. Diciembre. 2010, no 105154. p. 47-48

ROBLES M Marlon. Evaluación de parámetros de temperatura, pH y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado. Universidad Nacional Agraria de la

Selva. Facultad de recursos naturales renovables. Tingo María, Perú. 2015. pág 12-14.

RODRIGUEZ MEDINA Álvaro, Obtenido de Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio Rochester. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C.; Fundación Universidad América. Facultad de Ingenierías. Departamento de Química, 2017. p. 40-41.

ROMAN Pilar, MARTINEZ María y PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. En: Experiencias en América Latina. Santiago de Chile, 2013. p. 32-33.

RYNK R, VAN DE KAM M, WILSON G, SINGLEY M, RICHARD T, KOLEGA J, GOUIN F, LALIBERTY L, KEY D, MURPHY D, HOITINK H, BRINTON W. On-farm composting Handbook. Ithaca, NY: Northeast Regional Agricultural Engineering Service. 1992. 7p.

SÁNCHEZ- MONEDERO M.A., ROIG A., PAREDES C. and BERNAL M.P. Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures. Estados Unidos: Biores Technol, 2001. Vol 74. No. 3. p. 301- 308.

SALDARRIAGA Juan Fernando. Compuestos orgánicos volátiles (VOCs) en el proceso de compostaje de los residuos sólidos urbanos y su efecto en la salud humana. Tesis de maestría. Ingeniero Urbano. Medellín: Universidad de Medellín. Facultad de ingenierías, 2009. 13 p.

SCHLEGELMILCH M., STREESE J., BIEDERMANN W., HEROLD, T., & STEGMANN, R. Odour control at biowaste composting facilities. Waste Managemen. 2005. vol 25, p. 917–927.

SHWYER Michael y MEDINA Avilio. El uso de hielo en pequeñas embarcaciones de pesca. En: Organización de las Naciones Unidad para la agricultura y la alimentacion. 2005, no 436. ISSN 1014-1138. 120p.

SILVA JP, LOPEZ P, VALENCIA P. Recuperacion de nutrientes en fase sólida a traves del compostaje. Cali Colombia. 2015. p 8.

SOLE-MAURI F, ILLA, J, MAGRI A, PRENAFETA-BOLDÚ F. X, y FLOTATS, X. An integrated biochemical and physical model for the composting process. Bioresource Technology. 2007.p. 3278–3293

SUNDERG C., SMARS S. and JONSSON H. Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. Estados Unidos: Biores Technol, 1994. Vol. 95. No. 2. p. 145 – 150.

SZTERN, D, y PRAVIA, M. A. Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud. 1999. p 90-95.

TCHOBANOGOLUS, G., THEISEN, H. and VIGIL, S. Gestión integral de residuos sólidos. Madrid: McGraw - Hill, 1994, p. 1107.

TOLVANEN O, NYKÄNEN, J., NIVUKOSKI U, HIMANEN M. V, y HÄNNINEN K. Occupational hygiene in a Finnish drum composting plant. Waste Management. 2005. p.427-433.

TORRES MARIA CAMILA (2017). Obtenido de Propuesta para el aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de la empresa regional Aguas del Tequendama. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogotá D.C, Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Departamento de Química. 2017. 69 p.

TORRES Patricia, PÉREZ Andrea, ESCOBAR Juan, IMERY Ricardo y URIBE Iris Compostaje biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. En: Revista Ingeniería e Investigación. Enero- Abril, 2007. Vol.27. No.1, p. 267-275.

TUOMELA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. En: Bioresource technology. Abril, 2000. Vol. 72, no. 2, p. 169-183.

URZOLAA ELKAIEL Mónica, BLANCO Jorge, TORRENTE Bernardo. Influencia de la configuración del material aislante de reactores a escala laboratorio en el proceso de compostaje de residuos orgánicos. En: Vsir-Redisa, 2013.p 1-2.

YAÑEZ, Remedios.; ALONSO, José Luis. y DÍAZ, Manuel Jesús. Influence of bulking agent on sewage sludge composting process. En: Bioresource technology. December, 2009. vol. 100, no. 23.

YUAN, Jing, et al. Effects of aeration rate on maturity and gaseous emissions during sewage sludge composting. En: Waste management. October, 2016. vol. 56.

ZAHRA EL OUAQOUDI, Fatima, et al. Evaluation of lignocelullose compost stability and maturity using spectroscopic (FTIR) and thermal (TGA/TDA) analysis. En: Ecological engineering. February, 2015. vol. 75.

ZHU N.W. Composting of high moisture content swine manure with corncob in a pilot-scale aerated static bin system. Estados Unidos: Biores Technol, 2006. p. 1870-1875.

ZHU N.W, DENG C.Y and XIONG Y.Z. Performance characteristics of three aeration systems in the swine manure composting. Estados Unidos: Biores Technol, 2004. p. 319 - 326.

ZUCCONI F and BERTOLDI M. Specifications for solid waste compost. Edición 28. Estados Unidos: Biocycle, 1987. p. 56 – 61.

ANEXOS

ANEXO A.

CARACTERIZACIÓN LODOS RESIDUALES



TRANSVERSAL 39 N° 20A -72 TELÉFONO: 7450682 Bogotá D.C. www.allchem.com.co

LABORATORIO DE ANÁLISIS, ENSAYOS Y ASESORIAS

Bogotá 17 de Junio, 2019

Informe de Resultados

INF – 1903387-0

Página 1 de 3

Nombre: PARQUE AGROINDUSTRIAL DE OCCIDENTE – 901152513
 Dirección: CR 42 1 C 26, Teléfono: 5610513
 Muestras suministradas por: Ing. Andres Mahecha
 Fecha de recepción: 22 de Mayo, 2019 Proced. de Muestreo: Puntual
 Fecha toma de muestra: 22 de Mayo, 2019 10:00
Parque agroindustrial Ptar

Descripción: Lechos Secado

Lote: N. R

No. De Ingreso: F170419

Análisis Realizado	Métodos	Técnicas	Unidades	Resultado
pH en suelo	IGAC	Electrométrico	Unidades	6.34
Conductividad Eléctrica	IGAC	Extracto de Saturacion	dS/m	0.355
Zinc en Suelos	IGAC	Absorción atómica	mg/Kg	31.39
Det de Arsenico en Suelos	EPA 7060	Absorción atómica -Horno grafito	mg/Kg	0.082
Det Cadmio en Suelos	EPA 7030	Absorción atómica -Horno grafito	mg/Kg	0.0085
Cobre en suelos	IGAC	Absorción atómica	mg/Kg	124.9
Det Molibdeno en Suelos	EPA 7000	Absorción atómica -Horno grafito	mg/Kg	<0.02
Det Niquel en Suelos	EPA 7520	Absorción atómica -Horno grafito	mg/Kg	39.10
Humedad en Suelos	ISO 6496	Gravimétrica	Porcentaje	75.9
Plomo en Suelos	EPA 7421	Absorción atómica	mg/Kg	0.95
Det Mercurio en Suelos	EPA 7471	Absorción atómica	mg/Kg	0.24
Det Cromo Hexavalente en Suelos	EPA 7196	Volumetría	mg/Kg	2.18
Det Selenio en Suelos	EPA 7000	Absorción atómica -Horno grafito	mg/Kg	<0.02
Carbono Organico (Suelo Lixiviados) en Pecuarios	Manual Metodos IGAC	Volumetría	Porcentaje	4.13
Nitrogeno Total	Manual Metodos IGAC	Nitrógeno Kjeldhal	Porcentaje	0.76


 Héctor Rafael Pérez Portillo
 T.P.Q. 0975
 Gerente General.


 Nidia Gómez Velasco
 T.P.Q. 0867
 Directora Técnica.

Cualquier inquietud o comentario favor comunicarla al correo: direccion_calidad@allchem.com.co

Bogotá 17 de Junio, 2019

Página 3 de 3

Nombre: PARQUE AGROINDUSTRIAL DE OCCIDENTE – 901152513
 Dirección: CR 42 1 C 26 Teléfono: 5610513
 Muestras suministradas por: Ing. Andres Mahecha
 Fecha de recepción: 22 de Mayo, 2019 Proced. de Muestreo: Puntual
 Fecha toma de muestra: 22 de Mayo, 2019 10:00
Parque agroindustrial Ptar

Descripción: Lechos Secado

Lote: N. R

No. De Ingreso: G1703

Análisis Realizado	Técnica	Unidades	Resultado
Coliformes Totales	Detección	UFC/g	1.6,E+3
Coliformes Fecales	Detección	UFC/g	1.3,E+2
Huevos de Helminetos	Detección	UFC/g	0.07
Salmonella SP.	Detección	P/A**	Ausencia
Virus Entéricos	Detección	UPC/g	<0.9

Concepto /Observaciones

Muestra tomada en planta al azar
No se evidencio crecimiento microbiologico para Salmonella SP.
** Presencia /Ausencia
Los resultados de los análisis expresados en el presente informe unicamente estan relacionados con los items analizados. Pasados 30 dias de la fecha de emision de este informe, no se aceptan quejas y/o reclamos Las contra- muestras para análisis se conservan 15 dias después de la emision del presente informe.

FIN DEL INFORME


 Héctor Rafael Pérez Portillo
 T.P.Q. 0975
 Gerente General.


 Julian David Martínez
 I.U.T.H.S. 1032433788
 Bacteriólogo.

ANEXO B.

CARACTERIZACIÓN RESIDUOS ORGÁNICOS Y PODA DE CÉSPED.



TRANSVERSAL 39 N° 20A -72 TELÉFONO: 7450682 Bogotá D.C. www.allchem.com.co

LABORATORIO DE ANÁLISIS, ENSAYOS Y ASESORÍAS

Bogotá 17 de Junio, 2019

Informe de Resultados

INF - 1903387-0

Página 2 de 3

Nombre: PARQUE AGROINDUSTRIAL DE OCCIDENTE - 901152513
Dirección: CR 42 1 C 26 Teléfono: 5610513
Muestras suministradas por: Ing. Andres Mahecha
Fecha de recepción: 22 de Mayo, 2019 Proced. de Muestreo: Puntual
Fecha toma de muestra: 22 de Mayo, 2019 10:00
Parque agroindustrial Ptar

Descripción: Residuos Orgánicos

Lote: N. R

No. De Ingreso: F170419

Análisis Realizado	Técnicas	Unidades	Resultado
Carbono Organico	Manual Métodos IGAC	Porcentaje	43.8
Nitrogeno Total	Análisis Elemental	Porcentaje	1.4
Humedad	Secado a 70 °C	Porcentaje	59.70

Descripción: Poda Césped

Lote: N. R

Análisis Realizado	Técnicas	Unidades	Resultado
Carbono Organico	Manual Métodos IGAC	Porcentaje	58.1
Nitrogeno Total	Análisis Elemental	Porcentaje	3.4
Humedad	Secado a 70 °C	Porcentaje	82.5

Concepto /Observaciones

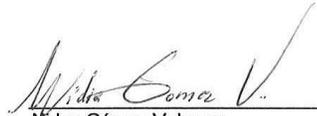
Los resultados de los análisis expresados en el presente informe unicamente estan relacionados con los items analizados.

Pasados 30 dias de la fecha de emision de este informe, no se aceptan quejas y/o reclamos

Las contra- muestras para análisis se conservan 15 dias después de la emision del presente informe.

FIN DEL INFORME


Héctor Rafael Pérez Portillo
T.P.Q. 0975
Gerente General.


Nidia Gómez Velasco
T.P.Q. 0867
Directora Técnica.

Cualquier inquietud o comentario favor comunicarla al correo: direccion_calidad@allchem.com.co

CONTROL DE CALIDAD DE AGUA, ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO Y PECUARIO QUÍMICOS Y/O FARMACÉUTICOS ESTUDIOS DE ESTABILIDAD, VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS Y ASESORÍAS DE PRODUCCIÓN

ANEXO C.
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN PARA EL SEGUIMIENTO DE LAS
VARIABLES.

Medidor de humedad y temperatura



Medidor de temperatura y humedad digital TCAM® de 200 ml con punzón sonda en acero inoxidable, cuenta con un rango de medición para temperatura de -9°C a 110°C y para humedad entre el 30% y 90% con precisión de ± 5 . Cuenta con un display de 1.9 pulgadas en el que muestra inmediatamente el registro de temperatura y porcentaje de humedad simultáneamente.

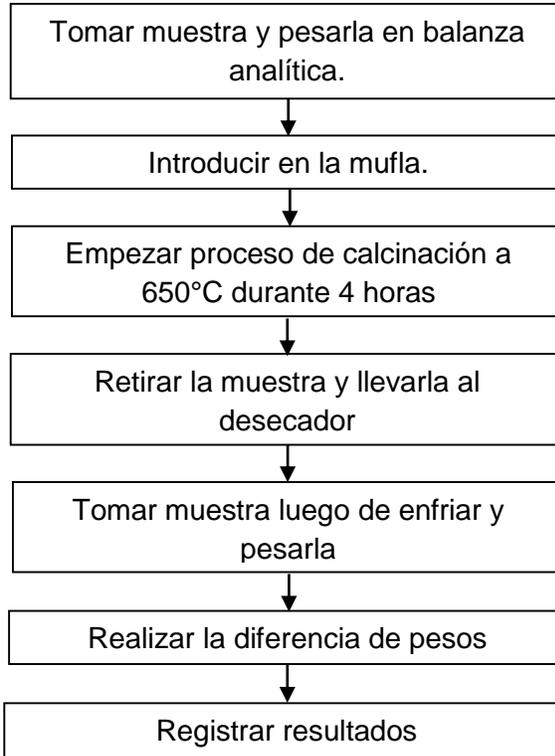
Medidor de pH



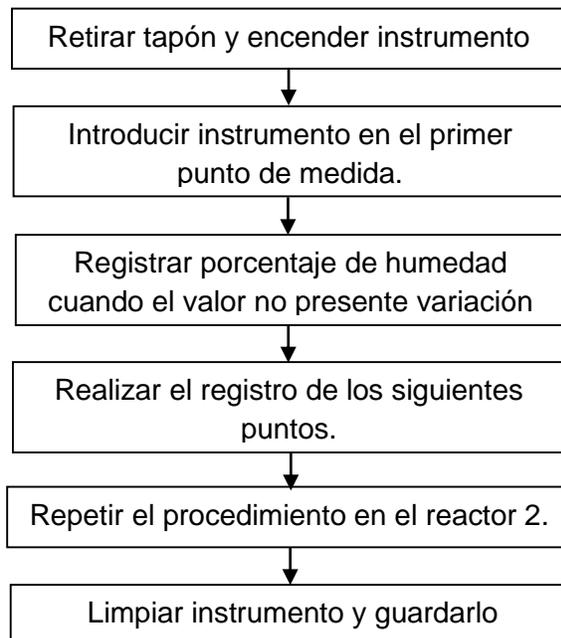
Multiparámetro HI9813-6 fabricado por HANNA® Instruments con soluciones calibradoras certificadas, es un checker que permite medir el valor de pH en medios acuosos, cuenta con un display que muestra el registro de manera inmediata al igual que instrucciones para su calibración y tecnología CAL CHECK que permite comprobar el estado de calibración de la sonda de pH en cualquier momento.

**ANEXO D.
PROTOCOLOS DE MEDICIÓN PARA LAS VARIABLES DEL PROCESO.**

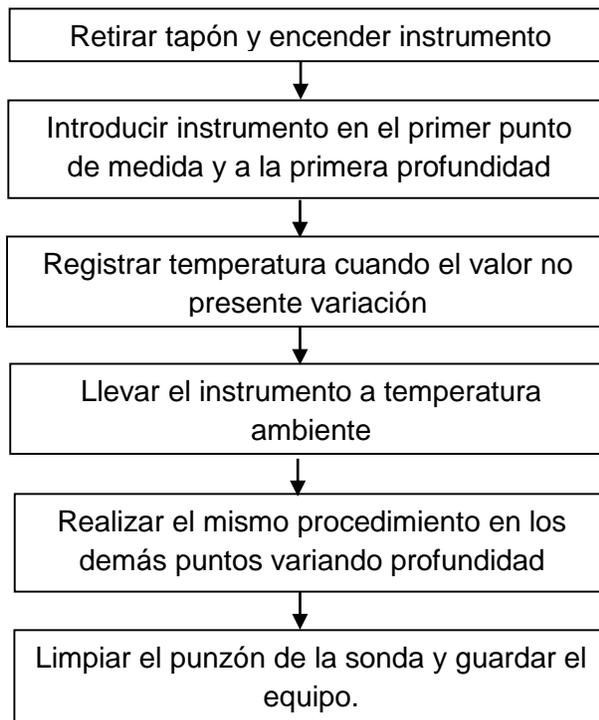
MEDICIÓN CENIZAS



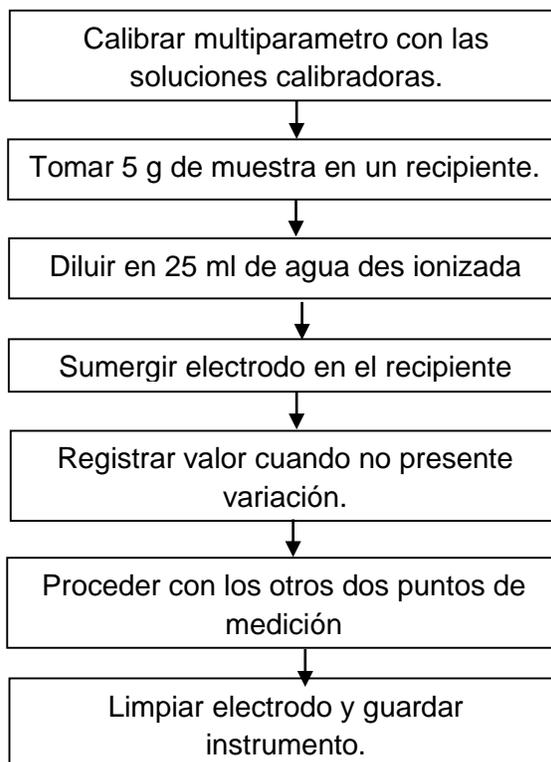
MEDICIÓN HUMEDAD



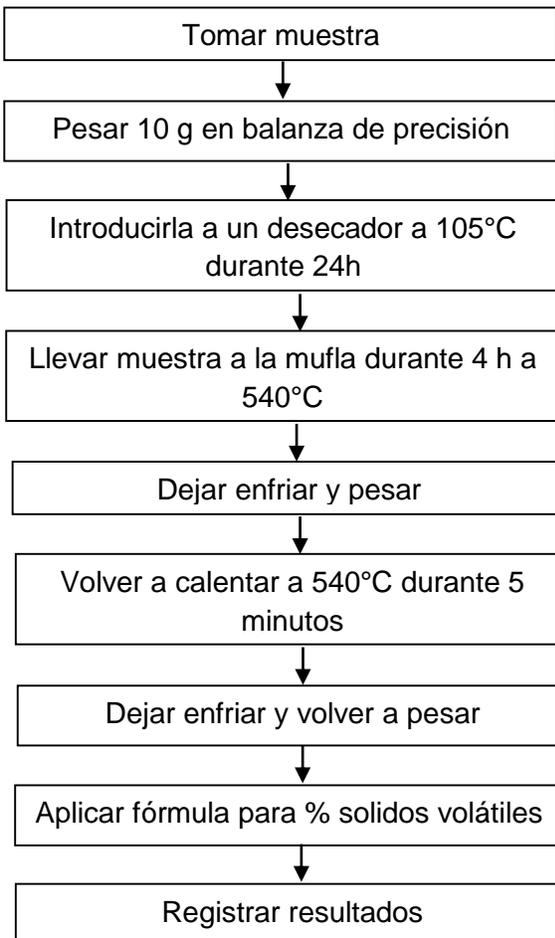
MEDICIÓN TEMPERATURA



MEDICIÓN pH



MEDICIÓN SÓLIDOS VOLÁTILES



ANEXO E.
SEGUIMIENTO HUMEDAD.

REACTOR 1					
Día	Fecha	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio
1	8-jul	70,8	70,8	70,8	70,8
3	10-jul	73	72	72	72,3
5	12-jul	69	71	71	70,3
7	14-jul	60	62	58	60
9	16-jul	51	51	52	51,3
11	18-jul	51	51	51	51
13	20-jul	58	57	56	57
15	22-jul	52	52	52	52

REACTOR 2					
Día	Fecha	Medida 1	Medida 2	Medida 2	Promedio
1	8-jul	75,78	75,78	75,78	75,8
2	10-jul	73	75	74	74
3	12-jul	71	70	69	70
4	14-jul	61	63	60	61,3
5	16-jul	54	55	56	55
6	18-jul	56	57	57	56,7
7	20-jul	56	56	56	56
8	22-jul	55	55	57	55,7

ANEXO F.
SEGUIMIENTO TEMPERATURA.

		REACTOR 1		
		Punto 1	Punto 2	Punto 3
Fecha	Día	5cm	10cm	15cm
8-jul	1	18,5	18,5	18,5
9-jul	2	26,2	28,4	27,4
10-jul	3	31,2	33,6	33,9
11-jul	4	42,5	45,9	46,5
12-jul	5	48,6	50,6	51,2
13-jul	6	54,9	58,9	59
14-jul	7	42,6	45,6	47,5
15-jul	8	36,5	40,2	42,3
16-jul	9	30,1	35,8	36,1
17-jul	10	25,6	28	29,2
18-jul	11	23,5	25,4	26,5
19-jul	12	21,2	21,2	22,6
20-jul	13	19	19,8	21,3
21-jul	14	18,8	19,1	19,5
22-jul	15	18	18,5	19

		REACTOR 2		
		Punto 1	Punto 2	Punto 3
Fecha	Día	5cm	10cm	15cm
8-jul	1	16,5	16,5	16,5
9-jul	2	25,2	27,8	26,5
10-jul	3	30,1	32,5	31,2
11-jul	4	40,5	42,5	39,8
12-jul	5	45,8	49,2	48,5
13-jul	6	52,6	54,7	53
14-jul	7	40,2	42,7	41,7
15-jul	8	35,4	38,2	36,5
16-jul	9	33,1	36,1	34,9
17-jul	10	30,1	32,1	31,5
18-jul	11	25	23,4	23,2
19-jul	12	20,2	21,5	20,9
20-jul	13	19,5	19,2	18,5
21-jul	14	18,1	17,8	18,4
22-jul	15	17,1	17,5	17,9

ANEXO G.
SEGUIMIENTO PH.

REACTOR 1					
Fecha	Día	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
8-jul	1	6,14	6,14	6,14	6,1
9-jul	2	5,64	5,55	5,42	5,5
10-jul	3	5,23	5,12	5,29	5,2
11-jul	4	4,99	4,86	4,76	4,9
12-jul	5	4,65	4,62	4,7	4,7
13-jul	6	4,62	4,71	4,54	4,6
14-jul	7	5,69	5,54	5,52	5,6
15-jul	8	6,7	6,1	6,11	6,3
16-jul	9	7,62	7,45	7,33	7,5
17-jul	10	8,25	8,7	8,1	8,4
18-jul	11	8,62	8,59	8,71	8,6
19-jul	12	8,83	8,42	8,21	8,5
20-jul	13	8,24	8,7	8,9	8,6
21-jul	14	8,44	8,64	8,61	8,6
22-jul	15	8,72	8,72	8,74	8,7

REACTOR 2					
Fecha	Día	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Promedio
8-jul	1	6,2	6,21	6,21	6,2
9-jul	2	5,59	5,89	5,75	5,7
10-jul	3	5,25	5,38	5,47	5,4
11-jul	4	5,05	5,15	5,21	5,1
12-jul	5	4,98	5,02	4,93	5,0
13-jul	6	4,74	4,82	4,62	4,7
14-jul	7	5,58	5,36	5,41	5,5
15-jul	8	6,11	6,7	6,5	6,4
16-jul	9	7,42	7,9	7,61	7,6
17-jul	10	8,2	8,45	8,65	8,4
18-jul	11	8,43	8,79	8,75	8,7
19-jul	12	8,56	8,39	8,66	8,5
20-jul	13	8,82	8,62	8,91	8,8
21-jul	14	8,47	8,25	8,35	8,4
22-jul	15	8,77	8,3	8,79	8,6

ANEXO H.

CARACTERIZACIÓN ABONO ORGÁNICO.

CONTROL DE CALIDAD DE AGUA, ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO Y PECUARIO QUÍMICOS Y/O FARMACÉUTICOS ESTUDIOS DE ESTABILIDAD, VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS Y ASESORÍAS DE PRODUCCIÓN



TRANSVERSAL 39 N° 20A -72 TELÉFONO: 7450682 Bogotá D.C. www.allchem.com.co

LABORATORIO DE ANÁLISIS, ENSAYOS Y ASESORÍAS

Informe de Resultados INF – 1904096-0

Bogotá 29 de Julio, 2019

Página 1 de 2

Nombre: PARQUE AGROINDUSTRIAL DE OCCIDENTE – 901152513
 Dirección: CR 42 1 C 26 Teléfono: 5610513
 Muestras suministradas por: Ing. Andres Mahecha
 Fecha de recepción: 04 de Julio, 2019 Proced. de Muestreo: Puntual
 Fecha toma de muestra: 04 de Julio, 2019 10:00
Parque agroindustrial Ptar

Descripción: Abono Organico 1
 Lote: N. R
 No. De Ingreso: F170419

Análisis Realizado	Técnicas	Unidades	Resultado
Carbono Organico	Manual Métodos IGAC	Porcentaje	16.43
Nitrogeno Total	Análisis Elemental	Porcentaje	1.23
Humedad	Secado a 70 °C	Porcentaje	52.15

Descripción: Abono Organico 2
 Lote: N. R

Análisis Realizado	Técnicas	Unidades	Resultado
Carbono Organico	Manual Métodos IGAC	Porcentaje	14.13
Nitrogeno Total	Análisis Elemental	Porcentaje	1.29
Humedad	Secado a 70 °C	Porcentaje	55.70

Concepto /Observaciones

Los resultados de los análisis expresados en el presente informe unicamente estan relacionados con los items analizados.

Pasados 30 dias de la fecha de emision de este informe, no se aceptan quejas y/o reclamos

Las contra- muestras para análisis se conservan 15 dias después de la emision del presente informe.

FIN DEL INFORME


 Héctor Rafael Pérez Portillo
 T.P.Q. 0975
 Gerente General.


 Nidya Gómez Velasco
 T.P.Q. 0867
 Directora Técnica.

Cualquier inquietud o comentario favor comunicarla al correo: direccion_calidad@allchem.com.co

CONTROL DE CALIDAD DE AGUA, ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO Y PECUARIO QUÍMICOS Y/O FARMACÉUTICOS ESTUDIOS DE ESTABILIDAD, VALIDACIÓN DE MÉTODOS ANALÍTICOS Y ASESORÍAS DE PRODUCCIÓN

Bogotá 29 de Julio, 2019 Informe de Resultados INF – 1904096-0
Página 2 de 2

Nombre: PARQUE AGROINDUSTRIAL DE OCCIDENTE – 901152513
 Dirección: CR 42 1 C 26 Teléfono: 5610513
 Muestras suministradas por: Ing. Andres Mahecha
 Fecha de recepción: 04 de Julio, 2019 Proced. de Muestreo: Puntual
 Fecha toma de muestra: 04 de Julio, 2019 10:00
Parque agroindustrial Ptar

Descripción: Abono Organico
 Lote: N. R
 No. De Ingreso: G1703

Análisis Realizado	Técnica	Unidades	Resultado
Coliformes Totales	Deteccion	UFC/g	1.0,E+3
Coliformes Fecales	Detección	UFC/g	1.0,E+2
Huevos de Helmintos	Detección	UFC/g	Ausencia
Salmonella SP.	Detección	P/A**	Ausencia
Virus Entéricos	Detección	UPC/g	<0.5

Concepto /Observaciones

Muestra tomada al azar
No se evidencio crecimiento microbiologico para Salmonella SP.
No se evidencio Unidades Formadoras de Colonia para Huevos de Helmintos
** Presencia /Ausencia
Los resultados de los análisis expresados en el presente informe unicamente estan relacionados con los items analizados.
Pasados 30 dias de la fecha de emision de este informe, no se aceptan quejas y/o reclamos
Las contra- muestras para análisis se conservan 15 dias después de la emision del presente informe.

FIN DEL INFORME


 Héctor Rafael Pérez Portillo
 T.P.Q. 0975
 Gerente General.


 Julián David Martínez
 I.UT.H.S. 1032433788
 Bacteriólogo.

ANEXO I.

CÁLCULO DE CANTIDAD DE MATERIALES DE CARGA PRODUCIDOS.

- Lodos residuales secos

$$\text{Volúmen de lodos totales} \times \frac{\text{Volumen de lodo seco} *}{\text{Volumen de lodos totales}} = \text{Volúmen de lodos secos}$$
$$20\text{m}^3 \times \frac{30.07}{100} = 6.145 \text{ m}^3$$

*Nota: Indicador explicado en el numeral 4.1.1

$$\frac{\text{metros cubicos de lodos secos}}{\text{densidad aparente de lodos secos}} = \text{Cantidad en kg de lodos secos}$$

$$\frac{6.145 \text{ m}^3}{960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 5900 \text{ kg de lodos secos}$$

- Materia Orgánica

$$\text{Cantidad en kg de lodos secos} \times 80\% = \text{Relacion de la cantidad de MO}$$
$$5900 \text{ kg} \times 80\% = 4720 \text{ kg de Materia Organica}$$

- Poda de Césped

$$\text{Cantidad en kg de lodos secos} \times 20\% = \text{Relacion de la cantidad de césped}$$
$$5900 \text{ kg} \times 20\% = 1180 \text{ kg de poda de Césped}$$