

PROPUESTA PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST PARTIENDO DE LOS
BIOSÓLIDOS GENERADOS EN LA OPERACIÓN DE LABORATORIOS ESKO
LTDA

MARÍA FERNANDA ALBA PINTO
LUISA FERNANDA HUMANEZ POVEDA

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA
FALCULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTA D.C.
2020

PROPUESTA PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST PARTIENDO DE LOS
BIOSÓLIDOS GENERADOS EN LA OPERACIÓN DE LABORATORIOS ESKO
LTDA

MARÍA FERNANDA ALBA PINTO
LUISA FERNANDA HUMANEZ POVEDA

Proyecto integral de grado para optar por el título de:
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA
FALCULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUIMICA
BOGOTA D.C.
2020

Nota de aceptación

Jurado 1

Jurado 2

Jurado 3

Bogotá, D.C. octubre 2020

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García-Peña

Consejero Institucional

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigación

Dra. María Claudia Aponte González

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretaria General

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Decano Facultad de Ingenierías

Dr. Julio César Fuentes Arismendi

Director Programa Ingeniería Química

Dr. Iván Ramírez Marín

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

Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a la mitad de mi vida que son mis padres, sé que las palabras son pocas para expresar la admiración, amor y respeto que siento por ellos, así que este trabajo lo dedico a la señora Esperanza y al señor Miguel que son mi más grande regalo.

María Fernanda Alba Pinto

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, sin los que no hubiese podido culminar este ciclo; a mi hermano por su apoyo emocional y confianza. A mi compañera de trabajo de grado por su compromiso y paciencia.

Luisa Fernanda Humanez Poveda

AGRADECIMIENTOS

Existen muchas personas a las que debo agradecer en este momento por su aporte a lo largo de mi vida, pero especialmente quiero agradecer y expresar todo mi amor a mis padres, esas dos personas que siempre me han acompañado, apoyado, animado, respaldado, corregido y demostrado su amor infinito. Agradezco a mi mamá por su dedicación, consejos, ternura, entereza y sabiduría con la que ha sabido educarme y amarme; agradezco a mi papá por ser ese hombre inteligente, fuerte, dedicado y excepcional que siempre ha participado de todos mis logros porque sin su apoyo este proyecto no sería el mismo. Agradezco al Universo por premiarme con esos dos seres maravillosos que sin su compañía nada de este proceso hubiese sido posible, ojalá en un futuro cercano con el fruto de mis esfuerzos les pueda retribuir y multiplicar todo lo que han hecho por mí. Los amo.

Quiero agradecer también a mis abuelitas, esas dos grandes mujeres que con su ternura, paciencia y sabiduría me han apoyado y han estado pendiente de todos mis procesos, espero algún día poder retribuirles gran parte de lo que me han brindado.

Por otra parte, quiero agradecer a todas esas amistades que construí en este camino porque también han sido un gran apoyo en mi proceso, especialmente a mi Negra, a Santi, a Luisa y a Diego. Agradezco también al profe Juan Andrés Sandoval por su apoyo continuo en el desarrollo de este proyecto.

Finalmente, quiero agradecer a *Laboratorios Esko Ltda.* por abrirnos las puertas de su empresa para el desarrollo de este proyecto.

María Fernanda Alba Pinto

Nuestros más sinceros agradecimientos son a:

LABORATORIOS ESKO LTDA. 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.

A nuestro director el Ingeniero Juan Sandoval por su asesoría, guía, aporte intelectual y excelente disposición en la ejecución del proyecto.

La Universidad Fundación América y a sus docentes por brindarnos sus conocimientos para formarnos como profesionales. *Luisa Fernanda Humanéz Poveda*

CONTENIDO

	pág.
OBJETIVOS	26
1. GENERALIDADES	27
1.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PROCESO DE TRATAMIENTO A AGUAS RESIDUALES	27
1.1.1 Pre-tratamiento	27
1.1.2 Tratamiento primario.	27
1.1.3 Tratamiento secundario	28
1.1.4 Tratamiento terciario	28
1.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CONTENIDO DE CONTAMINANTES	29
1.2.1 Prioridad I	29
1.2.2 Prioridad II	29
1.2.3 Prioridad III	29
1.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA NORMATIVA (Decreto 1287 de 2014)	29
1.3.1 Categoría A	29
1.3.2 Categoría B	29
1.3.3 Categoría C	29
1.4 CLASIFICACIÓN DE LODOS SEGÚN EL FACTOR DE INTERÉS	30
1.4.1 Caracterización física	30
1.4.1.1 Peso específico	30
1.4.1.2 Concentración de sólidos	30
1.4.1.3 Tamaño de partícula	30
1.4.1.4 Viscosidad	30
1.4.2 Características químicas	30
1.4.3 Características biológicas	31
1.5 COMPOSTAJE	31
1.5.1 Etapas del proceso de compostaje	32
1.5.1.1 Fase activa	32
1.5.1.2 Fase de curado	32
1.6 TIPOS DE COMPOSTAJE	34

1.6.1 Compostaje anaerobio	34
1.6.2 Compostaje aerobio	34
1.7 SISTEMAS DE COMPOSTAJE	34
1.7.1 Sistema abierto	34
1.7.1.1 Hilera	35
1.7.1.2 Pila estática aireada	36
1.7.2 Sistema cerrado	37
1.7.2.1 Flujo vertical	38
1.7.2.2 Flujo horizontal.	39
1.8 VARIABLES IMPORTANTES DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE	42
1.8.1 Temperatura	42
1.8.2 Humedad	43
1.8.3 pH	44
1.8.4 Aireación	45
1.8.5 Características microbiológicas	45
1.8.5.1 Coliformes fecales	45
1.8.5.2 Huevos de Helminthos viables	46
1.8.5.3 Salmonella spp	46
1.8.5.4 Virus entéricos	46
1.8.6 Relación C/N	47
1.8.6.1 Material de enmienda	48
1.8.6.2 Material de soporte	48
2. DIAGNÓSTICO DE LODOS GENERADOS POR LA EMPRESA	49
2. 1 INFORMACIÓN GENERAL DE LA EMPRESA	49
2.2 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN	50
2.2.1 Cremas	50
2.2.2 Jabones	51
2.2.3 Gel	52
2.3 PRODUCCION DE LA CREMA MARLY	53
2.3.1 Materias primas agregadas en marmita	54
2.3.2. Materias primas agregadas en licuadora	55

2.3.3 Materias primas empleadas en la empresa	56
2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	58
2.4.1 Trampa de grasas	58
2.4.2 Tolva de coagulación y floculación	58
2.4.2.1 Hidroxicloruro de aluminio	59
2.4.2.2 Sulfato de aluminio	59
2.4.3 Tanque de homogenización	60
2.4.4 Percolador	60
2.4.5 Filtros de carbón activado y arena	60
2.4.6 Tanque de almacenamiento de aguas clarificadas	60
2.4.7 Tanque de lodos	61
2.4.8 Filtro prensa	61
2.4.9 Almacenamiento de lodos	61
2.5 VOLÚMENES DE AGUA TRATADOS EN LA PTAR DE LA EMPRESA	61
2.6. BALANCE DE MASA DE PROCESO PARA GENERACIÓN DE LODOS	64
2.7 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS	66
3. SELECCIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST	70
3.1 MICROORGANISMOS PROPIOS DEL COMPOSTAJE	70
3.1.1 Generalidades de los microorganismos según las fases del compostaje	70
3.1.2 Tipos de microorganismos presentes en el proceso de compostaje	71
3.1.2.1 Bacterias	71
3.1.2.2 Hongos	73
3.1.3 Reacciones del compostaje	73
3.2 MATERIALES PARA LA MEZCLA DEL COMPOSTAJE	75
3.2.1 Residuos de madera	76
3.2.2 Estiércol	77
3.2.3 Residuos de cosechas	80
3.2.4 Agregados	82
3.3 PROPUESTA DE MEZCLA DE COMPOSTAJE	84
3.3.1 Revisión bibliográfica de los materiales de carga	84

3.3.2 Porcentajes de la mezcla de la propuesta de compost	93
4. CONDICIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE	102
4.1 PARTICULARIDADES DE LA PTAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE OBTENCIÓN DE COMPOST	102
4.2 FASE DE ADAPTACIÓN DE LODOS	105
4.2.1 Etapa de diseño	105
4.2.1.1 Descripción partes del diseño.	105
4.2.2 Propuestas de sistemas de adaptación de lodos.	107
4.2.2.1 Adaptación de lodos con material de soporte	108
4.2.2.2 Adaptación de lodos por sistema de secado	111
4.2.2.3. Instrumentos empleados en el sistema de secado.	121
4.2.2.4 Resultados del sistema de secado	121
4.3 SISTEMA CERRADO PARA EL SISTEMA DE COMPOSTAJE	123
4.3.1 Matriz de selección de los tipos de sistemas cerrados para compostaje	124
4.3.2 Compostera	125
4.3.2.1 Contenedor	125
4.3.2.2 Control de temperatura	126
4.3.2.3 Control de humedad, volteos y aireación	127
4.4. DISPOSICIÓN DE LOS SISTEMAS EN EL ESPACIO DISPONIBLE	128
5. COSTOS ASOCIADOS A LA PRODUCCION DE COMPOST	131
5.1 COSTOS ASOCIADOS AL DISEÑO DE SISTEMAS PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST	131
5.1.1 Costos asociados al diseño e instalación del sistema de adaptación de lodos	131
5.1.2 Compostera	132
5.2 COSTOS ASOCIADOS A LA PUESTA EN MARCHA DE LA PROPUESTA DE COMPOSTAJE.	133
5.2.1 Costos asociados a la operación del sistema de adaptación de lodos	133
5.2.2 Costos asociados a la implementación de las propuestas de mezcla de compostaje	133
5.3 COMPARATIVO ECONÓMICO ENTRE LA DISPOSICIÓN ACTUAL DE LODOS Y LA PROPUESTA DE COMPOSTAJE	134

6. CONCLUSIONES	136
7. RECOMENDACIONES	138
BIBLIOGRAFIA	138
ANEXOS	155

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Valores permitidos de microorganismos según el decreto 1287	47
Tabla 2. Valores de relación C/N	48
Tabla 3. Dosificación PTAR Laboratorios Esko Ltda. años 2019 - 2020	63
Tabla 4. Resultados balance de masa para la producción de lodos en la PTAR	65
Tabla 5. Resultados caracterización de lodos residuales	67
Tabla 6. Valores máximos de microorganismos permitidos y resultados de caracterización de biosólidos	69
Tabla 7. Composiciones de propuesta de mezcla de compostaje	96
Tabla 8. Matriz de selección del material de soporte	109
Tabla 9. Resultados pérdidas de humedad empleando aserrín	111
Tabla 10. Propiedades para el cálculo del balance energético	115
Tabla 11. Matriz de selección de sistemas cerrados	125
Tabla 12. Costos asociados al sistema de adaptación de lodos	131
Tabla 13. Costos asociados al diseño de la compostera	132
Tabla 14. Costos totales de los sistemas diseñados (adaptación y compostera)	133
Tabla 15. Costos mensuales asociados a la propuesta de mezcla de compostaje	134
Tabla 16. Costos anuales de la puesta en marcha de la propuesta de compost	134
Tabla 17. Cuadro comparativo de costos anuales	135

LISTA DE GRÁFICAS

	pág
Gráfica 1. Diagrama general fases del sistema de compostaje	33
Gráfica 2. Materias primas en la producción de Laboratorios Esko Ltda. 2019	56
Gráfica 3. Porcentajes de pérdidas de peso	122
Gráfica 4. Comportamiento sistema de secado.	123

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Control de variables en sistemas abiertos de hilera	35
Cuadro 2. Control de variables en sistemas abiertos de pila estática	36
Cuadro 3. Control de variables en sistemas cerrados de flujo vertical	39
Cuadro 4. Control de variables sistemas cerrados de flujo horizontal (estático)	40
Cuadro 5. Control de variables sistemas cerrados de flujo horizontal (agitado)	40
Cuadro 6. Cuadro comparativo de sistemas de compostaje	41
Cuadro 7. Condiciones del compost bajo rangos de temperatura	43
Cuadro 8. Tipo de microorganismos según la fase de compostaje	71
Cuadro 9. Comparación residuos de la industria maderera para la mezcla en compost	77
Cuadro 10. Comparación deyecciones ganaderas para su mezcla en compost	78
Cuadro 11. Comparación residuos de cosecha para su mezcla en compost	80
Cuadro 12. Comparación de agregados para su mezcla en compost	83
Cuadro 13. Conjunto de materias orgánicas empleadas en compostaje	85
Cuadro 14. Estudios de aprovechamiento de lodos generados en PTAR para obtener compost	86
Cuadro 15. Comparación valores iniciales y finales de parámetros importantes en los biosólidos empleados y compost resultante.	98
Cuadro 16. Materiales de soporte más empleados en el proceso de compostaje	108
Cuadro 17. Clasificación del sistema térmico de secado convencional	112
Cuadro 18. Descripción instrumentos de medición empleados el sistema de secado	121

LISTA DE DIAGRAMAS

	pág.
Diagrama 1. Esquema general de sistema abierto de compostaje	35
Diagrama 2. Esquema general de un sistema cerrado de compostaje	37
Diagrama 3. Esquema general de tecnologías de compostaje	42
Diagrama 4. Operación general de la PTAR de Laboratorios Esko Ltda.	61
Diagrama 5. Corrientes de entrada y salida a la tolva de floculación y coagulación	64
Diagrama 6. Bacterias presentes en las fases del proceso de compostaje	72
Diagrama 7. Rangos de temperatura en los microorganismos del compostaje	73
Diagrama 8. Corrientes mezcla de compostaje	97
Diagrama 9. Tecnologías de control de olores	118

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Plano planta de producción Laboratorios Esko Ltda. (1° nivel)	49
Ilustración 2. Plano planta de producción Laboratorios Esko Ltda (2° nivel)	50
Ilustración 3. Vista superior área de PTAR de Laboratorios Esko Ltda.	102
Ilustración 4. Distribución y espacio disponible para el sistema de compostaje	103
Ilustración 5. Dimensiones área disponible para el sistema de compostaje	104
Ilustración 6. Barril de 30 litros	105
Ilustración 7. Bandeja sistema fase de adaptación de lodos	106
Ilustración 8. Soporte de bandeja	107
Ilustración 9. Drenaje	107
Ilustración 10. Ventilador sistema de secado	116
Ilustración 11. Orificio de escape sistema de secado.	117
Ilustración 12. Filtro de corteza de pino	120
Ilustración 13. Malla de soporte del filtro de olores	120
Ilustración 14. Conjunto filtro, malla, lámina de ajuste	120
Ilustración 15. Lodos	122
Ilustración 16. Tapa de ingreso de material a la compostera	126
Ilustración 17. Chaqueta aislante compostera	127
Ilustración 18. Manivela del sistema de agitación	127
Ilustración 19. Sistema de agitación (internamente en la compostera)	128
Ilustración 20. Distribución de los soportes de barriles	129
Ilustración 21. Soporte barril con agarradera ajustable	129
Ilustración 22. Sistema de ajuste de compostera	130

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Estimación dosificación de NaOH en agua cruda	62
Ecuación 2. Estimación dosificación de ACH en de agua cruda	62
Ecuación 3. Reacción de respiración	74
Ecuación 4. Reacción de nitrificación	74
Ecuación 5. Cálculo de la masa total de la mezcla	94
Ecuación 6. Balance de materia compostera.	94
Ecuación 7. Balance global de materia	95
Ecuación 8. Balance de materia para residuo de poda	95
Ecuación 9. Balance de materia en función de las relaciones de C/N	96
Ecuación 10. Determinación de la cantidad de material de enmienda	110
Ecuación 11. Balance de energía	114

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Guía de operación del proceso de compostaje.	154
Anexo B. Normatividad y usos agrícolas para el compostaje proveniente de lodos residuales de aluminio	157
Anexo C. Recorrido de ingreso de materiales a la PTAR.	160
Anexo D. Cálculos sistema de secado.	162
Anexo E. Manual de operación del sistema de secado.	163
Anexo F. Facturas y cotizaciones relacionadas con los costos asociados a la propuesta de compost.	165

GLOSARIO

ANFÓTERO: según la teoría de Brönsted y Lowry, se define como el compuesto que puede actuar como base (donador de protones) o como ácido (aceptor de protones), por ejemplo, el agua.¹

ARQUEOBACTERIAS: grupo de microorganismos unicelulares procariotas (0,1 µm- 15 µm), que pueden presentar flagelos y pared celular, la cual les confiere alta resistencia a condiciones extremas y se alimentan de compuestos inorgánicos como hidrógeno, dióxido de carbono, alcoholes, azufre, entre otros.²

EUCARIOTA: tipo de célula que posee un núcleo rodeado por una membrana doble, el cual contiene el material genético aislado del contenido celular. Las células eucariotas, a diferencia de las procariotas, son de mayor tamaño y pueden formar otros organismos unicelulares o pluricelulares.³

EXCIPIENTE: componentes sin actividad farmacológica cuya función es promover la estabilidad física, química y biológica del producto, y se pueden clasificar según su función (humidificantes, absorbentes, lubricantes, etc).⁴

EMOLIENTE: sustancia empleada para suavizar, ablandar y aumentar el grado de humedad, especialmente en la piel, empleados en loción, crema, ungüento o gel para prevenir o tratar la piel seca, áspera, con descamación o picazón.⁵

EUBACTERIA: procariotas clásicos o bacterias diferentes a las arqueas o arqueobacterias, estas incluyen todas las bacterias de interés médico.⁶

¹ ALCANIZ, Ernesto de Jesús. Fundamentos de reactividad inorgánica. [en línea]. En: Química Orgánica I. Universidad de Alcalá, 2019. [Consultado en: 01, mayo, 2020]. Disponible en: http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/QI/Tema_3A.pdf

² BETELGEUX. Las Arqueas: un mundo microbiológico por descubrir. [sitio web]. Valencia, España: BETERLGEUX, 2020. [Consultado en: 05, mayo, 2020]. Disponible en: <https://www.betelgeux.es/blog/quienes-somos/>

³ GAGNETEN, Ana María et. al. Biología conceptos básicos. [en línea]. Universidad Nacional del Litoral, 2015. ISBN en trámite pp.1-27. [Consultado en: 25, junio, 2020]. Disponible en: https://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/biologia/wp-content/uploads/sites/9/2016/11/BIO_04.pdf.pdf

⁴ CEDIM CAT. Centro de Información de Medicamentos de Cataluña. ¿Qué son los excipientes? [sitio web]. Cataluña, España. CEDIM CAT [Consultado en: 10, junio, 2020] Disponible en: https://www.cedimcat.info/index.php?option=com_content&view=article&id=211:que-son-los-excipientes&catid=40&Itemid=472&lang=es

⁵ INSTITUTO NACIONAL DEL CANCER. Emoliente [sitio web]. Estados Unidos. INSTITUTO NACIONAL DEL CANCER, septiembre, 2018. [Consultado en: 25, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/emoliente>

⁶ CLÍNICA UNIVERSIDAD DE NAVARRA. Eubacteria. [sitio web]. Pamplona. CLÍNICA UNIVERSIDAD DE NAVARRA, 2020. [Consultado en: 01, agosto, 2020]. Disponible en: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/eubacteria>

FITOTOXICIDAD: término empleado para describir el grado de efecto tóxico generado por una mezcla de aspersión o compuesto determinado que causa efectos fisiológicos en las plantas.⁷

FLOCULACIÓN: proceso de agregación de partículas en dos etapas: coagulación (equilibrio de cargas de las moléculas y dispersión del coagulante) y floculación (acercamiento de partículas para vencer la barrera energética generando una sedimentación).⁸

LIXIVIADOS: líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, que pueden infiltrarse en los suelos generando contaminación del suelo y de cuerpos de agua.

OLIGOELEMENTOS: elementos químicos imprescindibles para las funciones fisiológico como zinc, flúor, hierro, níquel, yodo, entre otros.⁹

PROTOZOOS: microorganismos eucariotas, heterótrofos, unicelulares de reproducción sexual o asexual que se encuentran en diversos hábitats.¹⁰

PROCARIOTA: tipo de célula presente en el reino mónera, la cual posee su material genético en el citoplasma, de manera específica, en el nucleóide.¹¹

REOLOGÍA: rama de la física que estudia el comportamiento de los fluidos sometidos a diferentes tipos de esfuerzos.¹²

⁷ MORENO FLOREZ, Álvaro y PEÑARANDA R, María Isabel. FITOTOXICIDAD: Más que un culpable, una mirada a los múltiples factores en interacción. [sitio web]. Colombia: METROFLOR, La actualidad técnica de la floricultura colombiana. 11, febrero, 2019. [Consultado en: 05, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.metroflorcolombia.com/fitotoxidad-mas-que-un-culpable-una-mirada-a-los-multiples-factores-en-interaccion/>

⁸ METTLER TOLEDO. Floculación. [sitio web]. México: METTLER TOLEDO. [Consultado en: 05, junio, 2020]. Disponible en: https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ParticleProcessing/Formulation_Flocculation.html

⁹ DEFINICIÓN. DE. Oligoelemento. [sitio web]. Definición.de, 2020. [Consultado en: 10, junio, 2020]. Disponible en: <https://definicion.de/oligoelemento/>

¹⁰ UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Laboratorio de parásitos humanos. [sitio web]. Medellín: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2020. [Consultado en: 15, junio, 2020]. Disponible en: http://medicina.udea.edu.co/parasitologia/Gral_Protozoo.html

¹¹ GAGNETEN, Ana María et. al. Biología conceptos básicos. [en línea]. Universidad Nacional del Litoral, 2015. ISBN en trámite pp.1-27. [Consultado en: 25, junio, 2020]. Disponible en: https://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/biologia/wp-content/uploads/sites/9/2016/11/BIO_04.pdf

¹² ROJAS G, Orlando. Introducción a la reología. [en línea]. Mérida, Venezuela: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Laboratorio de formulación, interfaces, reología y procesos, 1999. Versión: #2. [Consultado en: 01, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S520B.pdf>

ROTÍFEROS: animales eucariotas, pluricelulares de pequeño tamaño (algunos incluso microscópicos) que pueden vivir en condiciones hostiles formando quistes como mecanismo de defensa.¹³

TENSOACTIVOS: sustancia que reduce la tensión superficie del líquido en el que esta disuelto o la capa presente entre fases, según sea el caso.

VOLTEO: acción manual o mecánica que se realiza a una masa para mezclar todos los elementos presentes e intercambiar las capas superficiales por secciones de esta ubicadas a profundidades mayores.

¹³ LÓPEZ, Beatriz. Rotíferos: características, hábitat, reproducción, alimentación. [sitio web]. Liefer, 2019. [Consultado en: 10, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/rotiferos/>

RESUMEN

Laboratorios Esko Ltda. es una empresa netamente colombiana fundada en 1988 que tiene como actividad económica el desarrollo, manufactura y acondicionamiento de productos cosméticos tales como geles, ungüentos, líquidos, soluciones, emulsiones y suspensiones, bajo certificación del INVIMA, con un gran compromiso ambiental. Sus procesos se ven complementados con la línea de extractos naturales de aguacate, avena, aloe vera, manzanilla, entre otros.

Desde el año 2.015 inició el funcionamiento de la PTAR propia de la empresa que posee un permiso de vertimientos otorgado por la Secretaría de Ambiente de Bogotá, mediante la resolución 1656 de 2014 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, manejando en promedio 500 kg de residuos sólidos al año, los cuales hasta el momento, requieren de un tercero (Synthia Química) para el manejo de este tipo de materia orgánica siendo productos ricos en glicerina, aceites naturales, parafinas, ceras, entre otros, que representa un residuo no aprovechado para la compañía.

Por lo tanto, se plantea una propuesta para la obtención de compost partiendo de los biosólidos generados en la operación de Laboratorios Esko Ltda, a través de un diagnóstico de estos residuos que permite determinar las condiciones iniciales, referentes a humedad, pH, relación C/N, carga biológica, y su correspondiente fase de adaptación que condicionará el desarrollo del sistema de compostaje. Adicionalmente, se plantearán las condiciones y parámetros técnicos por medio de una revisión bibliográfica pertinente, que le permita a la compañía aplicar en un futuro próximo esta propuesta, basados en facilidad de adaptación, incorporación y los costos asociados del sistema de compostaje al proceso regular de trabajo de la PTAR.

Palabras clave: lodos, compostaje, sistema de secado de lodos, residuos sólidos, PTAR empresa cosmética.

ABSTRACT

Laboratorios Esko Ltda. is a colombian factory founded in 1988, it has many economic activities such development, manufacturing and cosmetic products conditioning like gels, ointment, liquid products, solutions, emulsions and suspension under INVIMA certificated cause they have a huge environmental commitement. Their industrial processes are supplemented with natural extracts of avocado, oat, aloe vera, chamomiles and others.

Since 2.015, *Laboratorios Esko* started their own Waste Water Treatment (WWT) working which has a dumping permission granted by Secretaría de Ambiente de Bogotá, through 1656 resolution of 2.014 by Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. This WWT generates 500 kg of solid waste per year, approximately, which requires another entity (Synthia Quimica) to handle this kind of organic matter with high levels in glycerin, natural oils, parafins, waxes, etc. All this solid wastes are representing residues untapped for the company.

Thus, in this project is presenting a proposal to composting obtain based on bio-solids generates in *Laboratorios Esko Ltda.* operation, through the diagnostic of those kind of residues that allows determining the inicial conditions related to moustire, pH, ratio C/N, biological charge, and adjustment phase who define the composting system development. Adicionally, in this project will be raised conditions and tecnicl parameters through the respecting bibliography review that allows at the company applying this proposal, in a closer future, base don adaptability, incorporation and associate costs of the composting system in the WWT regular working process.

Key words: sludge, composting, sludg drying system, solid waste, cosmetic factory WWT.

INTRODUCCION

Uno de los principales problemas que afrontan innumerables industrias es la disminución de los residuos provenientes de los procesos productivos y tratamientos posteriores, que permitan minimizar los efectos que se tengan sobre el ambiente y los alrededores. Actualmente, la alternativa más utilizada a nivel industrial para el manejo de estos residuos es el tratamiento de efluentes a través de PTAR. Como consecuencia de esta implementación, se evidencia un incremento en la generación de subproductos (lodos y biosólidos), los cuales poseen una alta concentración de agentes químicos y biológicos como fuentes de contaminación ambiental. y su flexibilidad para el uso de diversas materias primas.

Al ser un tipo de descomposición, la materia orgánica en conjunto al oxígeno, provocan la oxidación de los residuos a condiciones controladas de temperatura, humedad y aireación, en presencia de microorganismos los cuales varían dependiendo del tiempo y fase en la que se encuentre el proceso. Finalmente se genera un producto estable, con un valor agregado llamado composta.

En el presente documento se plantea la propuesta para el aprovechamiento de los lodos residuales producidos en la PTAR de Laboratorios Esko Ltda., partiendo de la caracterización de los biosólidos, el análisis de métodos, alternativa y variable importantes para el diseño y escalamiento del proyecto.

OBJETIVOS

GENERAL

Desarrollar una propuesta para producción de compost partiendo de los residuos generados por la operación de Laboratorios Esko Ltda.

ESPECÍFICOS

- ❖ Diagnosticar los residuos generados por Laboratorios Esko Ltda.
- ❖ Seleccionar los parámetros técnicos para la obtención de compost por medio de una revisión bibliográfica.
- ❖ Establecer las condiciones técnicas asociadas a la obtención de compost para la implementación de la propuesta al proceso productivo.
- ❖ Determinar los costos asociados a la obtención de compost.

1. GENERALIDADES

El tratamiento de aguas residuales se realiza a través de procesos físicos, químicos y/o biológicos según los contaminantes que contengan, buscando separar sus principales constituyentes como espumas, arenas y lodos. Este último representa uno de los residuos más valiosos y aprovechables del proceso de tratamiento de efluentes ya que es considerado como una suspensión con alto contenido de minerales, metales pesados entre otros compuestos, hasta en un 12% en peso¹⁴. Sin embargo, existen distintas clasificaciones según el parámetro de referencia que se tenga de estos lodos.

1.1 CLASIFICACIÓN SEGÚN EL PROCESO DE TRATAMIENTO A AGUAS RESIDUALES

1.1.1 Pre-tratamiento. Se realiza para remover componentes sólidos del agua que pueden alterar el funcionamiento de tratamientos posteriores. Por lo general, en esta etapa se utilizan trampa de grasas y cribas, en los cuales se busca separar materia con un diámetro de partícula superior a 0,2mm.¹⁵ Los lodos generados en esta etapa se caracterizan por ser un fluido denso con un porcentaje humedad elevado (92% a 96%).¹⁶

1.1.2 Tratamiento primario. Esta etapa se emplea para remover la materia orgánica e inorgánica sedimentable y disminuir la carga en el tratamiento biológico que se hará en las etapas posteriores¹⁷. En este tipo de tratamiento se puede eliminar una fracción de carga orgánica representativa entre el 25 y 40% de DQO y del 50 al 65% de sólidos suspendidos¹⁸. Los lodos generados en esta etapa se caracterizan por contener una gran cantidad de materia orgánica acumulada en

¹⁴ GÓMEZ MOLINA, Laura Lizeth y MERCHAN BERMUDEZ, Ángela María. Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del departamento de Caldas [en línea]. Trabajo de grado. Universidad Católica de Manizales, Manizales: 2016. Disponible en: <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1305/Laura%20Lizeth%20Gomez%20Molina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. p. 15

¹⁵ PERÚ. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma Técnica OS.090 Plantas de tratamiento de Aguas Residuales. NORMA OS.090. [en línea] Lima.: El Ministerio, 2009. Disponible en: http://ww3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf. p. 26.

¹⁶ GÓMEZ MOLINA, Laura Lizeth y MERCHAN BERMUDEZ, Ángela María. Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del departamento de Caldas [en línea]. p. 16.

¹⁷ PERÚ. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Op. Cit., p. 30.

¹⁸ ROJAS, Ricardo. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. [en línea]. En: Curso internacional "GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES" (25-27, septiembre, 2002). Evento. [Consultado en: 25, enero, 2020]. Disponible en: <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>. p. 12.

los flóculos, la cual permite el crecimiento de algunos tipos de microorganismos eucariotes (hongos, protozoos, rotíferos y algas) y procariotes (eubacterias y arqueobacterias).¹⁹ Adicionalmente como características físicas, estos lodos presentan color grisáceo, porcentaje de sólidos suspendidos entre el 50 y 60%, porcentaje de sólidos totales con valores del 4 al 10% y sólidos volátiles entre 60 y 80%.²⁰

1.1.3 Tratamiento secundario. En esta etapa se busca reducir o convertir la materia orgánica disuelta en sólidos sedimentables floculantes, que no pudieron ser removidos en el tratamiento primario. Esto es posible exclusivamente mediante procesos biológicos como tratamientos aerobios, anaerobios, filtros pre-coladores, sistemas de lagunas de estabilización, zanjas de oxidación, filtros biológicos o módulos rotatorios²¹. Para estos tratamientos secundarios, la eficiencia de remoción está entre el 85 y 95% de DBO.²²

Los lodos generados al final de este tipo de tratamiento se caracterizan por ser de color marrón, presentar una suspensión floculante de biomasa activada y difícil deshidratación (sólidos totales entre 0,5 y 2%; y sólidos volátiles entre 70 y 80%).²³

1.1.4 Tratamiento terciario. Se emplea para disminuir la carga contaminante, logrando efluentes más puros que pueden ser utilizados como recarga de acuíferos, recreación y agua industrial. Para esta etapa, se busca una remoción parcial o completa de fosfatos, nitratos, parásitos, sustancias tensoactivas, algas, bacterias y virus mediante agentes químicos, físicos, mecánicos o radioactivos²⁴.

Los lodos resultantes de tratamientos terciarios se caracterizan por ser de color marrón oscuro o negro, suspensión semi-floculante (sólidos totales de 0,5 a 10%, sólidos volátiles de 50 a 70%), fósforo (2,8 a 11% de sólidos totales), óxido de potasio (0,5 a 0,7% de sólidos totales), nitrógeno (2,4 a 5% sólidos totales),

¹⁹ GÓMEZ MOLINA y MERCHAN BERMUDEZ. Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del departamento de Caldas. Universidad Católica de Manizales. p. 20.

²⁰ BARRIOS PÉREZ, José Antonio. ASPECTOS GENERALES DEL MANEJO DE LODOS. [en línea]. En: Curso sobre manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento (3-4, diciembre, 2009). Evento. México D.F.: 2009. Disponible en: <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/talleres/aprovechamiento-lodos/Aspectos%20Generales%20del%20Manejo%20de%20Lodos.pdf>. p. 5.

²¹ PERÚ. MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma Técnica OS.090 Plantas de tratamiento de Aguas Residuales. Lima: 2009. p. 33.

²² ROJAS, Ricardo. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Curso internacional "GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES" (25-27, septiembre, 2002). Evento. p. 13.

²³ BARRIOS PÉREZ. Op. cit, p. 13.

²⁴ ROJAS. Op. cit., p. 14.

proteína (32 a 41% sólidos totales), compuestos alcalinos (580 a 1100 mgCaCO₃/l) y ácidos orgánicos (1100 a 1700 mgHAc/l)²⁵.

1.2 CLASIFICACIÓN SEGÚN SU CONTENIDO DE CONTAMINANTES

1.2.1 Prioridad I. Lodos orgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos y de fácil biodegradación que se pueden usar como fertilizantes.²⁶

1.2.2 Prioridad II. Lodos orgánicos e inorgánicos con bajas concentraciones de contaminantes tóxicos (metales pesados, compuestos nitrogenados y organoclorados), aunque no se degradan fácilmente se pueden usar como reúso y revalorización.²⁷

1.2.3 Prioridad III. Lodos orgánicos e inorgánicos con (metales pesados, compuestos nitrogenados y organoclorados, hidrocarburos aromáticos, terpenos, halocarbonados, alcoholes, glicoles, cetonas, etc).²⁸

1.3 CLASIFICACIÓN SEGÚN LA NORMATIVA (Decreto 1287 de 2014)

1.3.1 Categoría A. Este tipo de lodos no presenta restricciones sanitarias para la aplicación en suelos, denominados como “Biosólidos de calidad excepcional” por su reducido porcentaje de patógenos Clase A y que han reducido el nivel de componentes degradables que atraen vectores.²⁹

1.3.2 Categoría B. Lodos aptos para la aplicación al suelo con algunas restricciones sanitarias según el tipo y localización de los suelos. Debe pasar a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original.³⁰

1.3.3 Categoría C. Estos tipos de lodos no cumplen con algún de los parámetros definidos en las categorías anteriores y por ende son considerados residuos peligrosos.³¹

²⁵ *Ibíd.*, p. 14.

²⁶ GÓMEZ MOLINA, Laura Lizeth y MERCHAN BERMUDEZ, Ángela María. Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del departamento de Caldas. Trabajo de grado. Universidad Católica de Manizales, Manizales: 2016. p. 20.

²⁷ *Ibíd.*, p. 20.

²⁸ *Ibíd.*, p. 21.

²⁹ COLOMBIA.MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). “Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”; [en línea] Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>. p. 5.

³⁰ *Ibíd.*, p. 7.

³¹ *Ibíd.*, p. 5.

1.4 CLASIFICACIÓN DE LODOS SEGÚN EL FACTOR DE INTERÉS

Para este tipo de clasificación se deben conocer las características principales de estos residuos según sus propiedades físicas, químicas, biológicas y bioquímicas. Por lo tanto, los parámetros a evaluar en estos residuos generados por el tratamiento de aguas son:

1.4.1 Caracterización física.

1.4.1.1 Peso específico. Es la relación entre la masa y el volumen del lodo. De manera general, este tipo de suspensiones suelen registrar valores cercanos a 1.³²

1.4.1.2 Concentración de sólidos. Se expresa como la fracción de los sólidos totales frente al peso total del lodo. Esta relación hace referencia a la sumatoria de los sólidos disueltos y los sólidos suspendidos (aquellos que no atraviesan una membrana de filtrado).³³

1.4.1.3 Tamaño de partícula. Es una propiedad difícil de controlar y medir debido a la irregularidad de los tamaños en las partículas contenidas en los lodos, por lo que es necesario el índice volumétrico (volumen del floculo/ volumen del lodo) el cual relaciona la cantidad de agua liberada (reflejada en el tamaño del floculo) y los procesos de espesamiento (sólidos de un lodo).³⁴

1.4.1.4 Viscosidad. Esta propiedad mide las características reológicas del lodo, permitiendo estudiar su resistencia al transporte por bombas y tuberías. Depende de la concentración de sólidos, del origen y tipo de lodo, como de sus características físicas y químicas.³⁵

1.4.2 Características químicas. Este conjunto de características va relacionado directamente con las moléculas y compuestos de mayor interés presentes en los lodos como: nitrógeno, fósforo, calcio, potasio, magnesio, zinc y algunos metales. Adicionalmente, el pH y la conductividad (contenido salino) limitan la asimilación de los nutrientes mencionados anteriormente en transformaciones del lodo especialmente para compostaje.³⁶

³² GONZÁLEZ GRANADOS, Inmaculada Concepción. Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR [en línea]. Tesis Doctoral. Córdoba: Universidad de Córdoba. Departamento de Química Inorgánica e Ingeniería Química, 2015. Disponible en: <https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13199/2016000001232.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. p. 35.

³³ *Ibíd.*, pp. 35-36.

³⁴ *Ibíd.*, p. 37.

³⁵ *Ibíd.*, pp. 39-40.

³⁶ *Ibíd.*, p. 43.

1.4.3 Características biológicas. Los efectos patógenos es un parámetro que evalúa la presencia de microorganismos considerados de alta peligrosidad por la capacidad que tienen para generar enfermedades en el ser humano. Tales agentes patógenos son: Clostridium Perfringens, Escherichia Coli, Salmonella spa., Salmonella Senftenberg y Huevos de Áscaris.³⁷

Este conjunto de parámetros enunciados, permiten determinar la aplicación más apropiada para el aprovechamiento de lodos generados por PTAR, como la obtención de compost considerada alternativa funcional para los cultivos agrícolas.

1.5 COMPOSTAJE

Se denomina compostaje a los procesos metabólicos complejos exotérmicos realizados por microorganismos (bacterias y hongos), que aprovechan los nutrientes del medio como carbono y nitrógeno, para producir su propia biomasa.^{38, 39} Este proceso biológico es utilizado frecuentemente para la conversión de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos a un material húmico estable mediante la fermentación, controlando temperatura, humedad y aireación. La materia orgánica compuesta por azúcares complejos (lignina, celulosa, hemicelulosa y almidón, presentes en los residuos vegetales) y proteínas (presentes en los residuos animales especialmente), es degradada por microorganismos produciendo biomasa, calor y agua.⁴⁰

El producto final de este proceso es denominado compost el cual posee particularidades como la capacidad de acondicionamiento, gracias a su aporte progresivo de nutrientes que le proporciona a los terrenos donde se agrega, y como corrector y mejorador de condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo.⁴¹

³⁷ MENDOZA, Manuel Vicente y VIGÍL SANCHEZ, Jairo Aarón. Evaluación físico-química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. El Salvador: Universidad de el Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas, 2012. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3080/1/13101359.pdf>. pp. 30-31.

³⁸ TORRES, Patricia. et. al. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. [en línea]. En: enero/abril, 2007. Vol. 27. Nro. 1. Universidad del Valle, Cali. P. 267-275 [Consultado en: 02, abril, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/250983004_Compostaje_de_biosolidos_de_plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales_Plant_biosolids_composting_of_wastewater_treatment p. 267.

³⁹ ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina. [en línea]. FAO. Santiago de Chile: 2013. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>. p. 23.

⁴⁰ BUENO MÁRQUEZ, Pedro, DÍAZ BLANCO, Manuel y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de compostaje. [en línea]. En: Compostaje. Madrid: España, 2007. p. 93-110. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>. p. 7.

⁴¹ QUINTANA VALENCIA, Judith Marcela. Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de aguas residuales PTAR- Cañaveralejo Cali [en línea]. Trabajo de grado. Universidad San Buenaventura, Cali: 2012. Disponible en:

1.5.1 Etapas del proceso de compostaje. Para producir compost en condiciones aerobias se distinguen dos grandes etapas a lo largo del proceso: fase activa y curado.

1.5.1.1 Fase activa. Esta etapa se caracteriza principalmente por una actividad microbiana vigorosa generando aumento de temperatura y alto consumo de nutrientes del medio para realizar todos los procesos metabólicos⁴². Esta fase se subdivide en dos etapas importantes:

- **Fase mesófila I.** Es la primera fase y por ende es un proceso de adaptación de los microorganismos al medio, que de manera rápida y progresiva aumentaran su actividad microbiana, generando un consumo elevado de nutrientes de fuentes sencillas y un aumento de temperatura marcado hasta los 45°C; en consecuencia, el pH presentará una disminución (4-4,5). Esta fase dura poco (entre dos y ocho días) debido a la descomposición de compuestos solubles como azúcares.^{43,44}
- **Fase termófila.** Cuando el sistema supera los 45°C, los microorganismos presentes en la fase anterior (microorganismos mesófilos) son reemplazados por microorganismos resistentes a temperaturas superiores a esta (microorganismos termófilos), principalmente bacterias que actúan como agentes de degradación de fuentes de carbono más complejas y transforman el nitrógeno en amoníaco. Estas condiciones generan un aumento en el pH del medio, especialmente cuando la temperatura de la mezcla de materia orgánica es superior a 60°C, ya que aparecen bacterias productoras de esporas y actinobacterias. Adicionalmente, esta etapa se conoce también con el nombre de fase de higienización, debido a las condiciones que se presentan en ella, con especial relación a la temperatura, generando medios ideales para la eliminación de agentes patógenos como *E. Coli* y *Salmonella spp.*^{45,46}

1.5.1.2 Fase de curado. Esta es la segunda etapa general del proceso de compostaje y se caracteriza por corresponder a la zona en la cual la curva de la campana de Gauss presenta una pendiente negativa como se muestra en la Gráfica 1; región en la cual se muestra la reducción de la actividad microbiana de ciertos microorganismos, disminución de la temperatura, agotamiento de los

http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/1112/1/Estudio_Ptar_Ca%C3%B1averalejo_Quintana_2012.pdf. p. 28.

⁴² US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. p. 67. Disponible en: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=28910.wba>. p. 2.

⁴³ ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina. FAO. Santiago de Chile: 2013 p. 23.

⁴⁴ BUENO MÁRQUEZ, Pedro; DÍAZ BLANCO, Manuel y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de Compostaje. En: Compostaje. Madrid: España. p. 2.

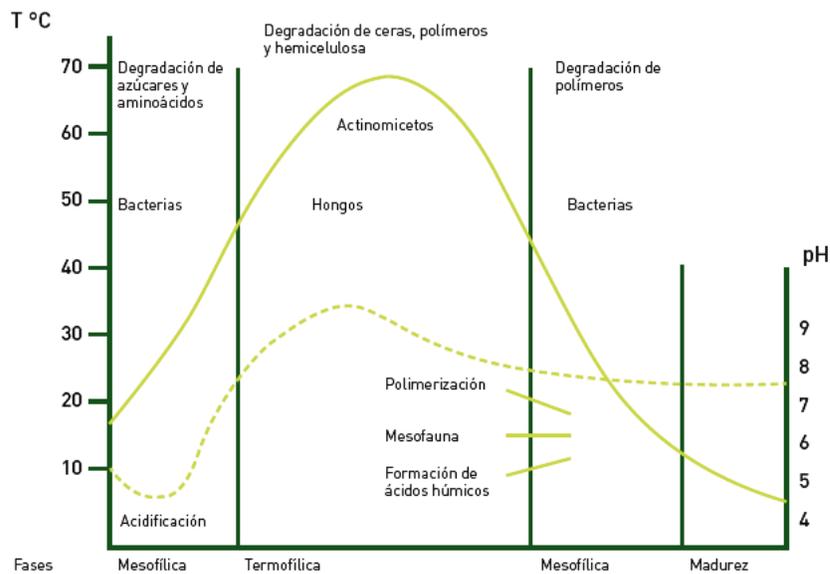
⁴⁵ ROMÁN; MARTÍNEZ, y PANTOJA. Op. cit., p. 23.

⁴⁶ BUENO MÁRQUEZ. Op. cit., p. 3.

nutrientes del medio y estabilización del mismo.⁴⁷ Esta fase también se subdivide en dos:

- **Fase mesófila II o de enfriamiento.** Para esta instancia, el medio tiene mayormente agotadas sus fuentes de carbono y nitrógeno lo que genera una disminución de la actividad microbiana y por ende, un descenso en la temperatura de la mezcla (inferior a 45°C).⁴⁸
- **Fase de maduración.** Es el periodo final del proceso de compostaje donde se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización para finalmente obtener un producto estable con valores de pH cercanos a 7 y humedad de 20 a 35%.⁴⁹

Gráfica 1. Diagrama general fases del sistema de compostaje



Fuente: SEPÚLVEDA VILLADA, Luisa Aníbal y ALVARADO TORRES, John Alexander. MANUAL DE COMPOSTAJE: Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá. [en línea]. ACODAL- PURA VIDA. Medellín: 2013. [Consultado en: 3, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/manual-compostaje.pdf> p.32

⁴⁷ US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. p. 2.

⁴⁸ ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina. FAO. Santiago de Chile: 2013 p. 24.

⁴⁹ *Ibíd.*, p. 24.

1.6 TIPOS DE COMPOSTAJE

El proceso de compostaje se puede clasificar según las condiciones de suministro de oxígeno. Para esto, se divide en dos tipos:

1.6.1 Compostaje anaerobio. Este proceso se realiza con ausencia (o concentraciones muy bajas) de oxígeno y es dominado por microorganismos anaerobios productores de compuestos intermedios como metano, ácidos orgánicos, compuestos sulfurados, entre otros; que caracterizan a este tipo de compostaje aportando malos olores y fitotoxicidad mayor. Adicionalmente, este proceso se desarrolla de manera más lenta, en comparación al compostaje aerobio, debido a la acumulación de compuestos no metabolizados y las bajas temperaturas a las cuales trabajan estos microorganismos.⁵⁰

1.6.2 Compostaje aerobio. Este proceso se realiza en presencia de oxígeno y microorganismos aerobios capaces de descomponer materia orgánica presente en el medio y producir dióxido de carbono, amoníaco, agua, humus y generar calor; dando como resultado un producto orgánico final estable. En estas condiciones de compostaje también se producen ácidos orgánicos intermedios, sin embargo, el tipo microorganismos (mesófilos y termófilos) que realizan el proceso oxidativo, son capaces de descomponerlos de manera más rápida en comparación al proceso anaerobio.⁵¹

Por otro lado, el aumento progresivo del perfil de temperaturas que se genera a lo largo de este proceso en estas condiciones, acelera la degradación de moléculas complejas como proteínas, grasas y carbohidratos complejos (celulosa y hemicelulosa); y es una variable importante en la eliminación de patógenos en el producto final.⁵²

1.7 SISTEMAS DE COMPOSTAJE

1.7.1 Sistema abierto. Este sistema de compostaje se realiza usualmente en lugares o espacios con gran disponibilidad de terreno y por ende, con una gran cantidad de material a compostar. También se caracterizan por ser sistemas con una inversión y costo de operación bajos, y con facilidad de manipulación frente a factores como aireación y volteo (manual o mecánico), este tipo de sistema se esquematiza de manera general como se presenta en el Diagrama 1. Adicionalmente, dentro de los sistemas abiertos existe una clasificación dada por

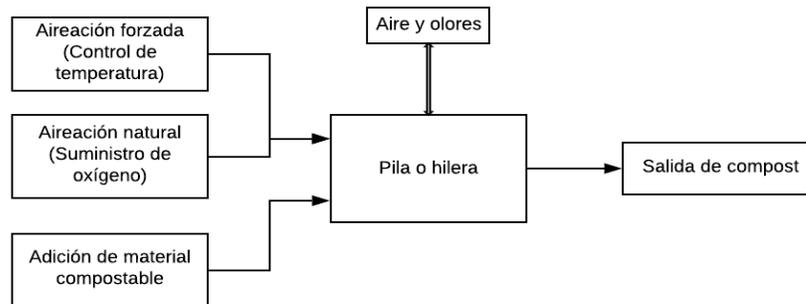
⁵⁰ MISRA, R.V; ROY, R.N e HIRAOKA, H. On- farm composting methods. [en línea]. Roma: FAO, 2003. ISSN 1729-0554 [Consultado en: 28, febrero, 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/organicag/doc/on_farm_comp_methods.pdf

⁵¹ *Ibíd.*, p. 1.

⁵² *Ibíd.*, p. 2.

el tipo de volteo o aireación que se realice a la mezcla de materia orgánica trabajadas los cuales son localizados usualmente en zonas a campo abierto.⁵³

Diagrama 1. Esquema general de sistema abierto de compostaje



Fuente: elaboración propia.

1.7.1.1 Hilera. El tiempo que tarda este sistema en realizar todo el proceso de compostaje es de 12 a 20 semanas según el tipo de material trabajado. Y las dimensiones que manejan, normalmente, se encuentra entre 2-3 m de altura, 3-6 m de ancho y longitudes entre 25-100 m.⁵⁴

La aireación en las hileras se maneja por convección natural contando con una porosidad y tamaño de partícula adecuado para permitir el paso de oxígeno a través de todo el material. Adicionalmente, este proceso se complementa con un volteo realizado periódicamente (una vez por semana, usualmente) generando el movimiento de zonas frescas hacia la superficie de la hilera.⁵⁵ Por otro lado, el grado de control de variables para este sistema se ve especificado en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Control de variables en sistemas abiertos de hilera

Variable	Grado de control
Temperatura	Bajo. Presenta variación significativa a través de las dimensiones de la hilera.
Aireación	Bajo. Condicionado a la cantidad de aire, de forma natural, que exista en la zona y la porosidad, consistencia, humedad y tamaño de partícula del material. Pueden presentarse zonas anaerobias.

Cuadro 1. (Continuación)

⁵³ DAVID BORDER COMPOSTING CONSULTANCY. The principles of open composting systems. [en línea]. En: Processes and Plant for Waste Composting and other Aerobic Treatment. Cambridgeshire, Environment Agency, 2002. p. 25-38. Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290347/sp1-311-tr-e-e.pdf. p. 26.

⁵⁴ *Ibíd.*, p. 26.

⁵⁵ *Ibíd.*, p. 27.

Humedad	Bajo. El material a compostar suele estar seco en la superficie y es difícil controlar y calcular el reemplazo de agua requerido por el sistema.
Olores	Media. Los procesos de volteo pueden acarrear la liberación de ciertos olores propios de las reacciones y zonas anaerobias.
Calidad del compost	Baja. La calidad será bastante baja debido a las características estructurales, químicas y biológicas heterogéneas del producto final.

Fuente: elaboración propia, basado en DAVID BORDER COMPOSTING CONSULTANCY. The principles of open composting systems. [en línea] En: Processes and Plant for Waste Composting and other Aerobic Treatment. Cambridgeshire, Environment Agency, 2002. p. 31. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290347/sp1-311-tr-e-e.pdf.

1.7.1.2 Pila estática aireada. Usualmente el tiempo que este sistema toma para realizar el proceso de compostaje está entre 8 a 20 semanas, dependiendo del material de alimentación que se seleccione. Esta disposición se coloca sobre tubos o platos difusores de aire que reemplazarán la función de volteo en comparación al sistema de hileras; por ende, es una de las diferencias más importantes y la razón por la cual el proceso de compostaje de las pilas estáticas puede llegar a tomar un tiempo menor (Cuadro 2). Así mismo, los costos de operación se incrementan para este ya que, el sistema de aireación es conectado a sistemas elaborados y autónomos para la regulación de este recurso.⁵⁶

Otra característica diferenciadora entre este tipo de sistema abierto y las hileras es la capa de 15 a 30 cm de espesor de compost maduro que se coloca en la superficie de la pila, la cual previene la pérdida de humedad del sistema y limita la liberación de olores.⁵⁷

Cuadro 2. Control de variables en sistemas abiertos de pila estática.

Variable	Grado de control
Temperatura	Medio. Presenta variación a través de las dimensiones de la pila.
Aireación	Medio. Con un sistema automatizado se puede tener un mejor control de la temperatura pero incrementa los costos de inversión.
Humedad	Medio. Es difícil controlar y calcular el reemplazo de agua requerido por el sistema, sin embargo, la capa de compost maduro reduce la superficie seca del material fresco.

Cuadro 2. (Continuación)

⁵⁶ *Ibíd.*, p. 32.

⁵⁷ *Ibíd.*, p. 32.

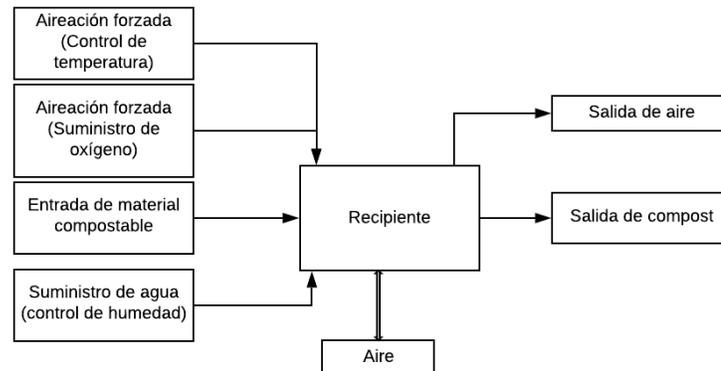
Olores	Medio. La capa de compost maduro actúa como biofiltro de este tipo de sustancias volátiles.
Calidad del compost	Alto. Puede llegar a ser un compost de buena calidad siempre y cuando se tenga un material con buenas características fisicoquímicas y microbiológicas adecuadas.

Fuente: elaboración propia basado en DAVID BORDER COMPOSTING CONSULTANCY. The principles of open composting systems. [en línea] En: Processes and Plant for Waste Composting and other Aerobic Treatment. Cambridgeshire, Environment Agency, 2002. p. 25-38. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290347/sp1-311-tr-e-e.pdf

1.7.2 Sistema cerrado. Se caracterizan por manejar reactores o silos que permite un mejor control de concentración de oxígeno, temperatura y olores, debido a sistemas integrados de aireación, volteo y filtración de olores que se instalan a estos recipientes, elevando el costo de inversión y operación de los mismos. Adicionalmente, este tipo de sistema de compostaje permite una alimentación continua a lo largo del recipiente generando una distribución uniforme de los distintos recursos adicionales requeridos para el proceso (aireación, materia orgánica y agua), como se esquematiza en el Diagrama 2.⁵⁸

⁵⁸ RAO Y, Surampalli, et al. COMPOSTING. [en línea]. En: Handbook of Environmental Engineering. McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2018. ISBN 9781259860225. Disponible en: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259860225/toc-chapter/chapter21/section/section8>.

Diagrama 2. Esquema general de un sistema cerrado de compostaje



Fuente: elaboración propia basado en HAUG, Roger T. Composting systems. [en línea]. En: HAUG, Roger T. The Practical Handbook of COMPOST ENGINEERING. 2 ed. Florida, US: Lewis Publishers, 1993. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=MX_jbemODmAC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=vertical+flow+composting&source=bl&ots=We3Dnjech7&sig=ACfU3U3lxqe6DPk6up-9ayueV5T9dT9QNNQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiolsLervXpAhUPd98KHe4SDZEQ6AEwEHoECAoQAQ#v=onepage&q=vertical%20flow%20composting&f=false.

Sin embargo, el sistema cerrado de compostaje se divide en tres tipos de subsistemas:

1.7.2.1 Flujo vertical. Este sistema se caracteriza por operar principalmente de manera continua (aunque también opera de forma discontinua), en el cual la mezcla a compostar es alimentada de forma periódica por la parte superior del recipiente y el producto final es descargado por los fondos. La aireación para esta geometría es suministrada desde el fondo de la compostera y fluye a través de los poros de la masa de compostaje para, posteriormente, tratar los gases producidos con un sistema de filtración instalado en la parte superior del mismo.⁵⁹ El grado control de las variables que influyen en este sistema se presentan en el Cuadro 3.

⁵⁹ HAUG, Roger T. Composting systems. [en línea]. En: HAUG, Roger T. The Practical Handbook of COMPOST ENGINEERING. 2 ed. Florida, US: Lewis Publishers, 1993. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=MX_jbemODmAC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=vertical+flow+composting&source=bl&ots=We3Dnjech7&sig=ACfU3U3lxqe6DPk6up-9ayueV5T9dT9QNNQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiolsLervXpAhUPd98KHe4SDZEQ6AEwEHoECAoQAQ#v=onepage&q=vertical%20flow%20composting&f=false. p.32.

Cuadro 3. Control de variables en sistemas cerrados de flujo vertical

Variable	Grado de control
Temperatura	Alto. Es usual tener sistemas integrados en el control de esta variable. Adicionalmente, se manejan geometrías que permiten un contraflujo de aire apropiado que evitan zonas con diferencias de temperatura.
Aireación	Medio. La geometría que maneja este tipo de reactores favorece el paso de aire a través del mismo, bien sea de forma natural o forzada. Sin embargo, depende de manera determinante cómo está repartida la materia orgánica dentro del mismo.
Humedad	Medio. Presenta un diferencial de esta propiedad a lo largo de la profundidad del reactor lo cual genera algunas zonas críticas.
Olores	Alto. Por su mecanismo de aireación es fácil controlar este tipo de variable ya que impide zonas anaerobias.
Calidad del Compost	Dependerá de la calidad de las materias a compostar ya que este sistema es más tecnificado y permite un alto control de variables determinantes

Fuente: elaboración propia.

1.7.2.2 Flujo horizontal. De manera general, este tipo de disposición se caracteriza por poseer sistemas de control de aireación y recolección de lixiviados para su posterior tratamiento, lo cual los cataloga como uno de los sistemas de compostaje más costosos y efectivos, pero con una escalabilidad reducida. Este tipo de sistema de compostaje cerrado se subdivide en dos tipos de reactores: estáticos y agitados.⁶⁰

Los sistemas de flujo horizontal estáticos son consideraros, en su mayoría, reactores batch al cual se alimenta la mezcla a compostar por uno de sus extremos. Este conjunto de materiales orgánicos estarán aireados de manera forzada por uno de los extremos del reactor (bien sea por agujeros o sistemas mecánicos elaborados) y será tratado a través de biofiltros o biolavados instalados en el extremo opuesto del mismo. De igual forma, la temperatura en las capas externas se ve favorecida de forma homogénea debido a la aireación forzada.⁶¹ Para este tipo de sistema de compostaje cerrado de flujo horizontal, el grado de control de las variables fundamentales se describe en el Cuadro 4.

⁶⁰ SCHUCHARDT, Frank. Composting of Organic Waste. [en línea]. En: JÖRDENING, Hans-Joachim; WINTER, Josef. Comp. Environmental Biotechnology Concepts and Applications. Alemania, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005. [Consultado en: 09, julio, 2020]. Disponible en: http://www.khoamoitruonghue.edu.vn/courses/EnvTech/Composting_of_organic_waste.pdf. p. 347.

⁶¹ *Ibíd.* p. 347

Cuadro 4. Control de variables sistemas cerrados de flujo horizontal (estático).

Variable	Grado de control
Temperatura	Media. Se controla fácilmente por medio de equipos e instrumentos para monitorear esta variable. Adicionalmente, la aireación contribuye a la estabilización de la misma, no obstante, se pueden presentar diferenciales de temperatura por la condición estática característica de este sistema.
Aireación	Alto. Se utiliza aireación forzada que permite eliminar o recircular de manera segura y efectiva cuerpos de aire a lo largo del sistema. Se requieren de filtros para este fin.
Humedad	Bajo. En sistemas estáticos la humedad es compleja de manejar debido a los diferenciales de porcentaje de agua en la masa a trabajar.
Olores	Medio. Por su mecanismo de aireación es fácil controlar este tipo de variable pero la condición estática dificulta la rápida eliminación de estas sustancias.
Calidad del compost	Dependerá de la calidad de las materias a compostar ya que este sistema es más tecnificado.

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, existen los sistemas de compostaje de flujo horizontal agitado que poseen las mismas características de los reactores estáticos especificados anteriormente. No obstante, el volteo mecánico que se puede realizar en este, favorece una de las variables críticas de estos procesos como es la humedad; ya que esta acción posibilita la homogenización de la propiedad en la mezcla depositada, permitiendo un mayor contacto superficial del cuerpo con la aireación forzada instalada en el sistema, como se explica en el Cuadro 5.⁶²

Cuadro 5. Control de variables sistemas cerrados de flujo horizontal (agitado).

Variable	Grado de control
Temperatura	Alto. Fácil control por medio de equipos e instrumentos para monitorear esta variable. Adicionalmente, la aireación y agitación contribuyen para mantenerla constante en todo el volumen del cuerpo de la mezcla.
Aireación	Alto. Se utiliza aireación forzada que permite eliminar o recircular de manera segura y efectiva cuerpos de aire a lo largo del sistema. Se requieren de filtros para este fin.
Humedad	Alto. Para sistemas agitados el control de esta variable es mayor ya que evita zonas anaerobias.

⁶² *Ibíd.* p. 348.

Cuadro 6 (Continuación).

Olores	Alto. Por su mecanismo de aireación es fácil controlar este tipo de variable en conjunto con el volteo mecánico pertinente.
Calidad del compost	Dependerá de la calidad de las materias a compostar ya que este sistema es más tecnificado y permite un alto control de variables determinantes

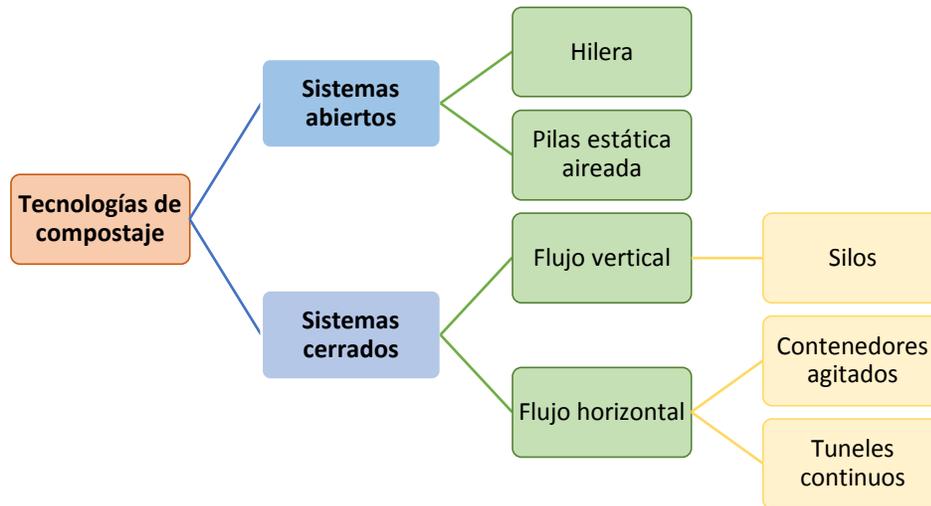
Fuente: elaboración propia.

Cuadro 6. Cuadro comparativo de sistemas de compostaje.

Sistema abierto	Sistema cerrado
Ventajas	Ventajas
Baja inversión para realizar el proceso. Poco monitoreo de variables. Bajos costos de operación. Se manejan grandes volúmenes generalmente.	Control del sistema de microorganismo cercano a las óptimas condiciones. Reducción en el tiempo total de compostaje. El compost es de calidad y características predecibles frente a los balances de materia iniciales. El proceso presenta una trazabilidad definida. El control de variables como temperatura, pH, olor y humedad es alto. Puede ser empleado en espacios limitados o cerrados.
Desventajas	Desventajas
Procesos lentos (> 8 semanas). Extensiones de terreno considerables. Poco control de variables del proceso y mayor riesgo de generar problemas sanitarios.	Costos de operación elevados. Mayor complejidad de manejo del sistema y unidades auxiliares (aireación, control de olores y volteo).

Fuente: elaboración propia.

Diagrama 3. Esquema general de tecnologías de compostaje



Fuente: elaboración propia basado en MISRA, R.V; ROY, R.N e HIRAOKA, H. On- farm composting methods. [en línea]. Roma: FAO, 2003. ISSN 1729-0554 [Consultado en: 28, febrero, 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/organicag/doc/on_farm_comp_methods.pdf y QARANI AZIZ, Shuokr; ALI OMAR, Imad y SABAH MUSTAFA, Jwan. Design and study for composting process site. [en línea] *International Journal of Engineering Inventions*. Septiembre, 2018. Volumen 7, Issue 9 pp. 08-18ISSN: 2278-7461. [Consultado en: 15, febrero, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329000060_Design_and_Study_for_Composting_Process_Site.

1.8 VARIABLES IMPORTANTES DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE

Para el proceso de compostaje es fundamental controlar ciertas variables que garantizarán el desarrollo de las reacciones metabólicas oxidativas en un medio adecuado respecto a nutrientes, acidez, cantidad de agua, porosidad entre otros.

1.8.1 Temperatura. Esta es una variable fundamental en el control del proceso ya que existe una relación directa entre la temperatura y los tipos de microorganismos presentes (mesófilos para temperaturas menores a 45°C o termófilos para temperaturas entre 40°C y 70°C) que a su vez representan la eficiencia y grado de estabilización del compost.⁶³ Sin embargo, está condicionada por otros aspectos como lo son la porosidad del material, tamaño del contenedor, relación área de contacto/volumen y población de microorganismos inicial como lo menciona Qarani Aziz, Ali Omar y Sabah Mustafa.⁶⁴

⁶³ BUENO MÁRQUEZ, Pedro; DÍAZ BLANCO, Manuel y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de Compostaje. *En: Compostaje*. Madrid: España. p. 2.

⁶⁴ QARANI AZIZ, Shuokr; ALI OMAR, Imad y SABAH MUSTAFA, Jwan. Design and study for composting process site. [en línea] *International Journal of Engineering Inventions*. Septiembre,

Cuadro 7. Condiciones del compost bajo rangos de temperatura.

Temperatura	Causas asociadas		Soluciones
Bajas (menor a 35°C)	Humedad insuficiente	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por lo tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verdura, u otros).
	Material insuficiente	Insuficiente material o forma de la pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.
	Déficit de nitrógeno o baja C:N	El material tiene una alta relación C: N, por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen o ralentizan su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura más de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas (menores a 70°C)	Ventilación y humedad	La temperatura es demasiado alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesófilos y facilitar la terminación del proceso.	Volteo y verificación de humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera, o pasto seco) para que ralentice el proceso.

Fuent: ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina. [en línea]. FAO. Santiago de Chile: 2013 [Consultado en: 04, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

1.8.2 Humedad. El porcentaje de agua que contiene la materia orgánica que se quiere descomponer es fundamental para el desarrollo del compostaje ya que se considera como el medio adecuado en el cual surgen varias de las reacciones propias de este proceso y se convierte en un vehículo de transporte de oxígeno (elemento importante en estos procesos oxidativos) y otros gases, permitiendo el

2018. Volumen 7, Issue 9 pp. 08-18ISSN: 2278-7461. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329000060_Design_and_Study_for_Composting_Process_Site. pp. 2-17.

paso de estos y otros nutrientes a través de las diversas fases manejadas por el sistema.⁶⁵

Según la literatura de Bueno Márquez, Díaz Blanco Y Cabrera Capitán⁶⁶, la humedad favorable para generar este proceso con una velocidad adecuada está en el rango de 30 a 70%; para valores inferiores al 30% la actividad microbiológica presenta una reducción importante mientras que para valores superiores al 70%, el exceso de agua desplaza espacios libres que existen entre las partículas, lo que produce zonas anaerobias. Estas dos condiciones descritas fuera del rango, generan una disminución importante en la producción de compost y posibles variaciones en las características del mismo. No obstante, para Misra, Roy E Hiraoka⁶⁷ el porcentaje de humedad que se sugiere, está entre 40 y 65% para que al final del proceso, el compost tenga unos porcentajes cercanos al 30% de humedad.

Por otro lado, las cifras presentadas que evalúan el porcentaje de humedad como factor influyente para la determinación de compuestos orgánicos volátiles en el proceso compostaje, sugiere que la cantidad de agua presente en los desechos municipales evaluados se encuentra en valores cercanos al 55%.

1.8.3 pH. El medio ideal en el cual se debe generar el proceso de compostaje está entre 5.5 y 8, es decir, que presenta unas condiciones neutras-alcalinas ya que en este rango el crecimiento de algunos microorganismos es factible. Por ejemplo, para valores de pH entre 6 y 7,5, el crecimiento de bacterias es favorable, mientras que la descomposición por hongos se da hasta valores cercanos a 8. Adicionalmente, el pH es una condición fundamental para la generación y pérdidas de gases de amonio, esto sucede cuando se superan los valores de 7,5.⁶⁸

Las variaciones de los valores de pH, se asocian también con las fases del proceso de compostaje presentando una acidificación del medio durante la fase mesófila I debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica disponible y de fácil degradación, producción y liberación de ácidos orgánicos. Sin embargo, esta disminución en el valor de pH no debe ser muy pronunciada ya que estas condiciones denotarán un proceso anaeróbico y por ende mayor formación de ácidos orgánicos.⁶⁹

⁶⁵ US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. p. 18

⁶⁶ BUENO MÁRQUEZ, Pedro; DÍAZ BLANCO, Manuel y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de Compostaje. En: Compostaje. Madrid: España. p. 2.

⁶⁷ MISRA, R.V; ROY, R.N e HIRAOKA, H. On- farm composting methods. Roma: FAO, 2003. p. 3.

⁶⁸ COOPERBAND, Leslie. The Art and Science of Composting: A resource for farmers and compost producers. [en línea] University of Wisconsin-Madison; Center for Integrated Agricultural System. Wisconsin: 2002. 17 p. Disponible en: <https://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf>. p. 4.

⁶⁹ BUENO MÁRQUEZ, Pedro; DÍAZ BLANCO, Manuel y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de Compostaje. En: Compostaje. Madrid: España. p. 3.

Para la segunda fase, se espera que el medio sufra un proceso de alcalinización debido al consumo de ácidos orgánicos y generación de amoníaco debido a la degradación de proteínas. Finalmente, para las dos últimas etapas el compost presenta una tendencia a poseer valores de pH neutros debido a la formación de compuestos más estables como los son los compuestos húmicos.⁷⁰

1.8.4 Aireación. Para procesos aerobios de compostaje la aireación es un aspecto fundamental ya que permite el suministro de oxígeno necesario para este proceso. No obstante, una concentración inferior a la requerida por microorganismos aerobios del sistema genera el reemplazo de estos por microorganismos anaerobios y por ende, el cambio en ciertas reacciones metabólicas propias del sistema a estas condiciones como malos olores, retardo en la descomposición y acumulación de ácidos orgánicos.⁷¹

La aireación está fuertemente condicionada por otras características del material a compostar como la porosidad y los espacios libres dentro del mismo, ya que se presenta un diferencial de concentración de oxígeno respecto a la profundidad de la pila. La superficie y capas más externas contienen, aproximadamente, la misma concentración de este gas en el aire (18 - 20%); a mayor profundidad el contenido de oxígeno disminuye (a un 0,5 - 2%) mientras que la presencia de dióxido aumenta.⁷² Aunque los valores de aireación no se encuentran estandarizados ya que van directamente relacionados con el tipo de sistema que se emplee (abierto o cerrado) y las características mencionadas anteriormente.⁷³

1.8.5 Características microbiológicas. Es importante la variedad microbiana que para el compost debido a que ciertos microorganismos son los encargados de realizar el proceso oxidativo. Sin embargo, según los parámetros legales como lo estipula el Decreto 1287 de 2014⁷⁴, existen cuatro microorganismos que deben ser controlados debido al efecto que generan en su propagación y fuente de la cual pueden proceder. Tales microorganismos son:

1.8.5.1 Coliformes fecales. (< 1,00 E(+3) UFC/g de biosólido (base seca) para biosólidos clase A y < 2,00 E(+6) UFC/g de biosólido (base seca) para biosólidos

⁷⁰ *Ibíd.*, p. 3.

⁷¹ *Ibíd.*, p. 4.

⁷² *Ibíd.*, p. 4.

⁷³ MCSWEENEY, James. Aerated Stratic Pile Composting Systems [en línea]. *En*: Community-Scale Composting systems: A Comprehensive Practical Guida for Closing the Food System Loop and Solving Our Waste Crisis. White River Junction, Estados Unidos, Chelsea Green Publishing Co, 2019. P. 203-271. [Consultado en: 10, junio, 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=nCOADwAAQBAJ&pg=PA222&dq=aeration+composting+systems+requirements&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjO79SxmPjpAhXynuAKHccKDNIQ6AEIJzAA#v=onepage&q=aeration%20composting%20systems%20requirements&f=false>

⁷⁴ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales"; [en línea] Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014.

clase B). Este tipo de microorganismos constituyen un grupo heterogéneo que habitan principalmente el tránsito intestinal de varias especies animales. Este grupo comprende bacilos Gram negativos aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados, que fermentan la lactosa con producción de gas en un lapso máximo de 48 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.⁷⁵

1.8.5.2 Huevos de Helmintos viables. (< 1 huevos de Helmintos viables/ 4 g de biosólido (base seca) para biosólidos clase A y < 10 huevos de Helmintos viables/ 4 g de biosólido (base seca) para biosólidos clase B). La presencia de este tipo de microorganismos es un indicador de la presencia de parásitos por contaminación fecal en aguas residuales tratadas, y en lodos y biosólidos generados por sistemas de tratamiento.⁷⁶

1.8.5.3 Salmonella spp. (Ausencia para biosólidos clase A y (<1,00x10³ UFC/25 g de biosólido (base seca) para biosólidos clase B). Este tipo de microorganismos están clasificados como bacilos Gram negativos, generalmente móviles por flagelos, anaerobios facultativos no encapsulados y no esporulados. Se desarrollan en medios con temperaturas entre 8-45°C y con pH de 4-8.⁷⁷

1.8.5.4 Virus entéricos. (< 1 UFP/ 4 g de biosólido (base seca) para biosólidos clase A, para biosólidos clase B no aplica).

⁷⁵ CAMACHO, A. et al. Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP). [en línea]. En: 2009. Técnicas para el Análisis Microbiológico de Alimentos. 2 ed. Facultad de Química, UNAM. México. 1-17 p-[Consultado en: 10, mayo, 2020]. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf

⁷⁶ CAMPOS, María Claudia, et. al. Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos. [en línea]. En: 2008. *Biomédica*, 38(1), 42-53 p. Disponible en: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352>. p. 43.

⁷⁷ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales"; [en línea] Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014.

Tabla 1. Valores permitidos de microorganismos según el decreto 1287

Microorganismo	Unidades	Valores permitidos para cada tipo de lodo	
		Clase A	Clase B
Coliformes fecales	UFC/g de biosólido (BS)	< 1,00E(+3)	< 2,00E(+6)
Huevos de Helmitos viables	Huevos de Helmitos viables/ 4 g de biosólido (BS)	<1	<10
Salmonella sp	UFC/25 g de biosólido (BS)	Ausencia	< 1,00(+3)
Virus entéricos	UFP/ 4 g de biosólido (BS)	< 1	

Fuente: COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales"; [en línea] Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014. [Consultado en: 15, enero, 2020]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>

1.8.6 Relación C/N. Es la proporción que existe entre la cantidad de carbono por unidad de nitrógeno y se cataloga como un factor influyente en la velocidad del proceso, ya que estos dos elementos son algunos de los macro nutrientes necesarios para llevar a cabo las reacciones metabólicas en cadena de los microorganismos presentes en la mezcla o material a compostar, y por ende limita la actividad biológica del mismo.⁷⁸

La presencia de carbono en el medio representa un recurso energético y un recurso para el crecimiento microbiano. Este macro nutriente, en gran porcentaje es liberado como CO₂ y el restante es combinado con nitrógeno para el desarrollo de la actividad microbiana. Mientras que el nitrógeno es usado como sintetizador de material celular, aminoácidos y proteínas.⁷⁹

⁷⁸ BUENO MÁRQUEZ, Pedro, DÍAZ BLANCO, Manuel y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de compostaje. [en línea]. En: Compostaje. Madrid: España, 2007. p. 93-110. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>. p. 5

⁷⁹ US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. p. 61.

Tabla 2. Valores de relación C/N

Autor	Rango relación C/N
COOPERBAND	25-35:1
ROMÁN; MARTÍNEZ, y PANTOJA.	25-35:1
MISRA, ROY e HIRAOKA	25-30:1

Fuente: elaboración propia.

1.8.6.1 Material de enmienda. Este tipo de materia orgánica es seleccionada y adicionada al material, aportando características como recursos de carbono, aridez o porosidad para conformar la mezcla a compostar.⁸⁰

Las principales fuentes consideradas como material de enmienda son el estiércol de porcino, vacuno, caprino y ovino, restos de cosechas, plantas del huerto o jardín, ramas trituradas, heno, hierba segada, pasto, entre otras.⁸¹

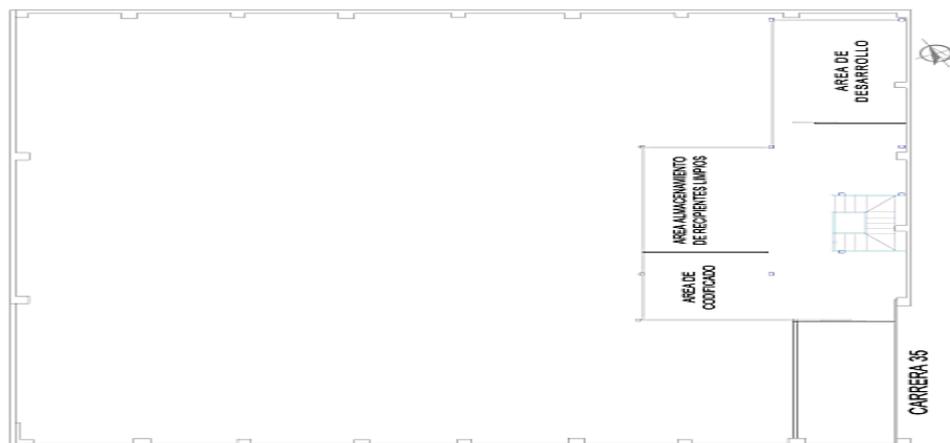
1.8.6.2 Material de soporte. Es otro tipo de materia orgánica adicionada para mejorar la estructura y porosidad de la mezcla a compostar. Este tipo de materiales se caracterizan por ser rígidos y secos, tal es el caso de la paja.⁸²

⁸⁰ *Ibíd.*, p. 2.

⁸¹ ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina. FAO. Santiago de Chile: 2013. p. 46.

⁸² US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING. Op. cit., p. 61.

Ilustración 2. Plano planta de producción Laboratorios Esko Ltda (2° nivel)



Fuente: LABORATORIOS ESKO LTDA.

2.2 LÍNEAS DE PRODUCCIÓN

Laboratorios Esko Ltda. maneja tres líneas de producción: cremas, geles y jabones. De manera general, cada uno de estos productos presenta las siguientes características:

2.2.1 Cremas. Preparación líquida o semisólida que contiene principios activos y aditivos necesarios para la obtención de una emulsión, la cual está conformada por una fase dispersa (líquido) y una fase continua compuesta por la formación de glóbulos.⁸³

Para que este tipo de emulsión sea estable debe contener las siguientes fases, componentes y aditivos:

- ❖ **Fase acuosa:** conformada por compuestos solubles en agua de distinta naturaleza (hidrolatos, infusiones, macerados, entre otros)⁸⁴.
- ❖ **Fase oleosa:** formada por triglicéridos como aceites vegetales, mantecas, ceras, etc.⁸⁵
- ❖ **Emulsificantes, agentes tensoactivos o surfactantes:** poseen una parte hidrofílica la cual se encuentra comúnmente cargada definiendo al agente como

⁸³ CEVALLOS MEDINA, María Verónica. Elaboración y control de calidad de una crema corporal hidratante a base de mucilagos y aromas naturales [en línea]. Tesis de grado. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de ciencias, 2013. [Consultado en: 10, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/2923/1/56T00415.pdf>. p. 28.

⁸⁴ FORO Cremas y Emulsiones [en línea]. Sevilla: Mendru, 2015. [Consultado en: 16, enero, 2020]. Disponible en: <https://www.mendrulandia.es/cremas/fases>.

⁸⁵ *Ibíd.*, p. 1.

catiónico o aniónico, y una parte lipofílica usualmente compuesta por una cadena longitudinal de hidrocarburos. Estos forman micelas alrededor de cada gota de la fase dispersa, reduciendo la tensión entre fases.⁸⁶

- ❖ **Estabilizantes:** se definen como compuestos disueltos en la fase continua que aumentan la viscosidad, provocando restricciones en la movilidad de las gotas de la fase dispersa y las colisiones entre ellas, volviendo más estable la emulsión.⁸⁷
- ❖ **Preservantes:** debido a la alta carga orgánica presente en las emulsiones, es obligatorio mantener el crecimiento microbiano al mínimo, por lo que se agregan sustancias que logren restringir la contaminación de estos organismos.⁸⁸
- ❖ **Fragancias:** aportan características organolépticas encargadas de enmascarar los olores propios de los compuestos utilizados para el cuidado de la piel y generar una sensación agradable al momento de su aplicación.⁸⁹

La utilidad de las cremas depende de su capacidad para penetrar en la piel, por lo que a partir de la fase dispersa se pueden realizar varios tipos de emulsiones: emulsiones aceite en agua (O/W), emulsiones agua en aceite (W/O), emulsiones W/O/W y emulsiones O/W/O.⁹⁰

2.2.2 Jabones. Son agentes tensioactivos o surfactantes que se caracterizan por disminuir la tensión superficial de un líquido, o como agente de contacto entre dos fases. Los jabones son agentes limpiadores o detergentes fabricados a partir de la mezcla de un ácido con una base en un medio acuoso por medio de la hidrólisis alcalina de ésteres conocida como reacción de saponificación.⁹¹ El ácido se encuentra en la naturaleza en forma de grasas y aceites de origen animal o vegetal;

⁸⁶ COLINA IREZABAL, María Luisa. EMULSIFICACIÓN Y HOMOGENIZACIÓN [diapositivas]. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, 2016. 38 diapositivas, color. [Consultado en: 16, enero, 2020]. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_liquidos_emuls.pdf. pp. 22-23.

⁸⁷ *Ibíd.*, p. 25.

⁸⁸ VALDEZ CONTRERAS, Flor Azucena. Implementación y desarrollo en procesos de fabricación de cremas de uso corporal, obtenidas usando como base emulsión fabricada en frío, dirigida a la venta por catálogo de cosméticos en centro américa en la empresa Lancasco, S.A., planta atlántico [en línea]. Trabajo de grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2015. [Consultado en: 16, enero, 2020]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3395/1/Flor%20Azucena%20Valdez%20Contreras.pdf>. p. 5.

⁸⁹ *Ibíd.*, p. 5.

⁹⁰ VALENZUELA, Clara. Manual cremas y formas cosméticas [en línea]. Consultora Farmacéutica y Cosmética Natural. Versión gratuita. [Consultado en: 9, febrero, 2020]. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/00425885693c0b299192b>. pp. 18-19.

⁹¹ GUERRERO GONZÁLEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados [en línea]. Proyecto fin de carrera. Almería: Universidad de Almería. Facultad de Ciencias Experimentales y Escuela Politécnica superior, 2014. [Consultado en: 25, febrero, 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/143454997.pdf>. pp. 13-14.

y la base se considera como cualquier sustancia con propiedades alcalinas (pH superior a 8), la cual se puede encontrar naturalmente en el carbón vegetal⁹².

2.2.3 Gel. Composición formada a partir de la mezcla de tensoactivos aniónicos, anfóteros y no iónicos destinados para la higiene corporal.⁹³ Su función principal es eliminar los residuos de suciedad formados por el polvo y las células muertas de la piel, disminuyendo la grasa y el sudor producidos por funciones metabólicas del organismo a la vez que hidrata y tonifica la piel.⁹⁴ Existen distintos tipos de geles entre los más importantes se encuentran los geles de baño, estos se producen a partir de:

- ❖ **Tensoactivos aniónicos:** reducen la tensión superficial de las partículas de suciedad, generan espuma y cumplen la acción detergente. Los más utilizados a nivel industrial son lauril sulfato y lauril éter.⁹⁵
- ❖ **Tensoactivos secundarios:** mediante el trabajo en conjunto con el tensoactivo principal mejoran la estabilidad de la espuma y la dermatocompatibilidad con la piel.⁹⁶
- ❖ **Espesantes y estabilizadores (tensoactivos no iónicos):** mejoran la viscosidad de la mezcla (gomas naturales, polímeros acrílicos, derivados celulósicos, etc).⁹⁷
- ❖ **Agentes reengrasantes:** su adición a la fórmula minimiza el efecto de deslipidación producido por las reacciones de limpieza, por lo general son tensoactivos no iónicos.⁹⁸

⁹² RAMOS, Jessica. *Qué es el jabón y cómo se hace*. En: *Cómo hacer jabones: Aprende a formular recetas de jabón por saponificación* [en línea]. Ebook. España: Jessica Ramos, 2016. pp. 7-28. ISBN: 9781310910326. [Consultado en: 12, marzo, 2020]. Disponible en: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=IxOBDAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PT28&dq=formulaci%C3%B3n+de+jabones+&ots=dl-5RYuEbx&sig=ptaYnV7OdTgUPtbPq-el6V7Ffow&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true. pp. 14-15.

⁹³ ORUS, Pilar. Higiene corporal: Geles de baño [en línea]. *Revista Offarm: Farmacia y Sociedad*. 2002, vol. 21. nro. 1. pp. 74-81. ISSN 0212-047X. [Consultado en: 21, febrero, 2020]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13025048>. p. 76.

⁹⁴ ANDRADE MARTÍNEZ, Claudia. Desarrollo de la fórmula para un producto de higiene personal tipo gel de baño y su mezcla de mercado [en línea]. Trabajo de grado maestría. Antigua Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ciencias químicas y farmacia, 2011. [Consultado en: 6, febrero, 2020]. Disponible en: <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/MAIES58.pdf>. p. 13.

⁹⁵ *Ibíd.*, p. 14.

⁹⁶ ORUS, Pilar. Higiene corporal: Geles de baño [en línea]. *Revista Offarm: Farmacia y Sociedad*, 2002. p. 78.

⁹⁷ *Ibíd.*, p. 78

⁹⁸ *Ibíd.*, p. 78.

- ❖ **Conservantes:** los geles de baño necesitan una gran cantidad de agua, lo que hace a la mezcla susceptible a la contaminación microbiana, por lo que estos añadidos garantizan la estabilidad del preparado.⁹⁹
- ❖ **Principios activos:** son aditivos agregados a la fórmula para proporcionar beneficios extras a la mezcla, empleando generalmente extractos vegetales, vitaminas, proteínas, etc.¹⁰⁰
- ❖ **Agentes reguladores para controlar pH y viscosidad:** se utilizan para manejar un pH apto para uso dermatológico (cerca de 7), como ácidos débiles (cítrico o láctico). Y agentes reguladores de viscosidad como el uso de un electrolito.¹⁰¹
- ❖ **Agentes nacarantes, perfumes y colorantes:** compuestos que modifican el aspecto final del producto, brindando un acabado brillante u opaco, olor y color, según sea el caso.¹⁰²
- ❖ **Agua:** compuesto con mayor proporción dentro de la formulación, por lo que es importante que se asegure su calidad iónica y microbiológica para no alterar los estándares de producción en los geles de baño.¹⁰³

2.3 PRODUCCION DE LA CREMA MARLY

El producto más elaborado por Laboratorios Esko Ltda es la Crema Marly que lleva más de 50 años en el mercado, la cual se utiliza en la prevención de escaras en la piel debido a presión prolongada y falta de irrigación sanguínea en ciertas zonas de cuerpo.¹⁰⁴ Esta emulsión se encuentra en dos presentaciones tales como: crema Marly (adultos) por 400 g y Crema Marly bebés por 200 g.

El proceso productivo de esta crema (crema Marly adultos) cuenta con materias primas como: vaselina, cera alba, aceite de caléndula, parafina, lanolina, SG-100 (mezcla de productos grasos), extracto de resina, parabenos, dipolihidroxiestearato, ácido bórico, óxido de zinc, óxido de titanio y aceite melaleuca.

Este tipo de ingredientes requeridos para la elaboración de este producto, se encuentran como polvos, semisólidos y en formas grasas, dando como resultado un producto homogéneo de color blanco brillante. Para la obtención de esta crema

⁹⁹ ANDRADE MARTÍNEZ, Claudia. Desarrollo de la fórmula para un producto de higiene personal tipo gel de baño y su mezcla de mercado [en línea]. Trabajo de grado maestría. Antigua Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ciencias químicas y farmacia, 2011. [Consultado en: 6, febrero, 2020]. Disponible en: <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/MAIES58.pdf>

¹⁰⁰ ORUS. Op. cit., p. 78.

¹⁰¹ *Ibíd.*, p. 80.

¹⁰² *Ibíd.*, p. 78.

¹⁰³ *Ibíd.*, p. 80.

¹⁰⁴ CLÍNICA MARLY. Cuida su salud. Crema Marly y Crema Marly Bebés. [sitio web]. Bogotá, Colombia: Clínica Marly. [Consultado en: 3, marzo, 2020]. Disponible en: <https://marly.com.co/crema-marly/>

se requiere una serie de equipos como son: marmita, licuadora y dosificadora, y para su empaque una máquina selladora.

Por lo tanto, este tipo de materias primas se pueden clasificar en dos grandes grupos según el equipo en el cual se agregan inicialmente: marmita o licuadora; para posteriormente, ser homogenizados en el silo con sistema de calentamiento y obtener la crema Marly.

2.3.1 Materias primas agregadas en marmita. Las materias primas que se agregan en esta unidad se caracterizan por ser viscosas, ya que este equipo consta de un tanque agitado de forma mecánica y un enchaquetamiento que permite el intercambio térmico a través de las paredes internas para generar las condiciones propicias de temperatura (20-80°C) que requiere el proceso. Las materias primas de esta clasificación son:

La vaselina, compuesto oleoso, insoluble en agua y miscible en hidrocarburos empleado en la industria cosmética como excipiente en pomadas, ungüentos y supositorios; como protector dermatológico y como emoliente en productos especializados para tratar irritaciones en la piel y eliminación de costras. Para este tipo de productos de uso tópico el porcentaje de esta mezcla de hidrocarburos sobre el producto final están entre 0,1% y 95%.¹⁰⁵

La cera de abejas, compuesta por ésteres de alcoholes C₂₄ –C₃₃ y ácidos grasos C₁₈ –C₃₆ que ha sido usada en un 25-30% de la producción mundial para la elaboración de cremas, lociones, mascarillas, acondicionadores y cremas capilares.¹⁰⁶ La principal función de esta cera en productos como la Crema Marly, es proporcionar una película protectora y mejora la elasticidad de la piel.

El aceite de caléndula, que contiene propiedades de interés para la industria cosmética tales como efecto cicatrizante, antiinflamatorio y antibacteriano, entre otros.¹⁰⁷ La parafina, compuesto de origen petroquímico constituido principalmente por una mezcla de alquenos que proporciona brillo y estabilidad entre la fase oleosa y la fase acuosa de los productos cosméticos.¹⁰⁸

¹⁰⁵ PUNÍN CRESPO, Eva. et. al. Aspectos Prácticos de la Farmacotecnia en un Servicio de Farmacia. Situación actual. [en línea]. Madrid. Astellas Pharma S.A 2011. ISBN: 978-84-938177-3-2. [Consultado en: 9, marzo, 2020]. Disponible en: <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/FARMACOTECNIA/AspectosPracticos.pdf> . p. 232.

¹⁰⁶ COSMETICS INFO. Beeswax. [en línea]. Washington, D.C: Cosmetics info, 2016. [Consultado en: 9, marzo, 2020]. Disponible en: <https://cosmeticsinfo.org/ingredient/beeswax>

¹⁰⁷ ZAPATA AGUILAR, Mercedes. Estudio técnico para el desarrollo de apósitos con nano partículas de plata y microcápsulas de aceite de caléndula para el tratamiento de heridas. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniería Textil y Confecciones. Lima, Perú Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2017. 84 p. [Consultado en: 11, marzo, 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/b845/c2456ccc77facd06f08e0e66f421cef33.pdf>

¹⁰⁸ AKEIBER, HUSSEIN J. et. al. Production application of paraffin waxes refining process in Iraq and used as phase change materials. [en línea]. En: febrero, 2016. Vol. 4. nro. 1. p. 96-100 [Consultado en: 10, marzo, 2020]. Disponible en:

La lanolina, tipo de grasa animal que cumple un papel importante en la hidratación de la piel, especialmente de la capa superficial de la misma, ya que posee la característica de sustancia emoliente que le permite tener gran similitud con sustancias propias de la piel como los ácidos grasos, el colesterol y sus derivados.¹⁰⁹

El aceite de melaleuca, se caracteriza por tener propiedades antibacterianas y antiinflamatorias, entre otras,¹¹⁰ las cuales juegan un papel importante en este producto (Crema Marly) que tiene como objetivo la prevención y cuidado de escaras en la piel en pacientes que usualmente se encuentran en condición de discapacidad.

2.3.2. Materias primas agregadas en licuadora. Las materias primas que se agregan a esta unidad se caracterizan por ser, en su mayoría, polvos como: parabenos, los cuales componen un grupo de ésteres de alquilo empleados en productos cosméticos debido a su amplio espectro de actividad contra levaduras, bacterias y hongos, propiedad que se atribuye como compuesto conservante; también por su amplio rango de estabilidad química a altas temperaturas y valores de pH entre 4,5 y 7,5 y no generar cambios físicos en el producto. Adicionalmente, estos parabenos se caracterizan por tener un bajo costo de producción.¹¹¹

Ácido bórico es un compuesto considerado como un ácido débil que cumple las funciones de preservante microbiano y agente regulador de pH en productos cosméticos.¹¹² Por otro lado, el óxido de zinc es un compuesto anfótero por naturaleza, con excelentes propiedades antibacteriales e inhibitoras del crecimiento de microorganismos siendo permeable a través de la membrana

https://www.researchgate.net/publication/293651055_Production_application_of_paraffin_waxes_refining_process_in_Iraq_and_used_as_phase_change_materials

¹⁰⁹ SENGUPTA, Amit; BÉHERA, Jagadananda. Comprehensive view on chemistry, manufacturing & applications of lanolin extracted from wool pretreatment. [en línea]. En: 2014. Vol. 03. nro. 07. pp. 33-43. ISSN: 2320-0847 Consultado en: 16, marzo, 2020]. Disponible en: [http://ajer.org/papers/v3\(7\)/F0373343.pdf](http://ajer.org/papers/v3(7)/F0373343.pdf)

¹¹⁰ VICTORES MONROY, Alejandra. Estudio de una formulación fitoterapéutica para aplicación tópica con aceite esencial del Árbol del Té (Melaleuca alternifolia). [en línea]. Trabajo de grado Químico farmacéutico biológico. México. Universidad Autónoma de México. 32 p. [Consultado en: 15, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/qfb/tesis/tesis_victores_monroy.pdf

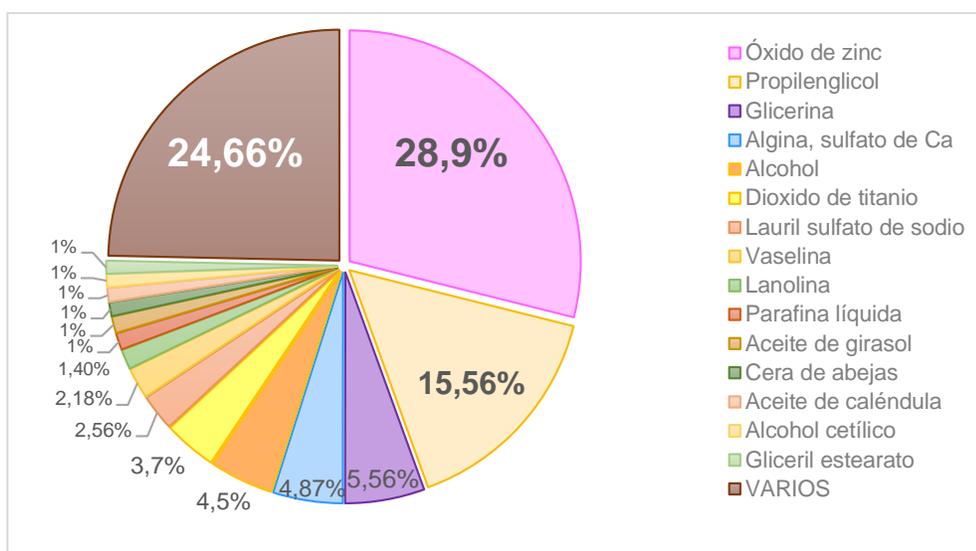
¹¹¹ FRANCISCO, Ana y FONSECA, Ana Paula. Parabens paradoxes in cosmetic formulations: a review. [en línea]. En: agosto, 2016. Vol. 3. nro. 8. pp. 1-11. ISSN: 2394-9414. [Consultado en: 15, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307856008_PARABENS_PARADOXES_IN_COSMETIC_FORMULATIONS_A_REVIEW

¹¹² EUROPEAN MEDECINES AGENCY. Boric acid and borate used as excipients. [en línea]. Londres, UK. European Medicines Agency, 2017. EMA/CHMP/765436/2012. 2 p. [Consultado en: 15, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/questions-answers-boric-acid-borates-used-excipients-medicinal-products-human-use_en.pdf.

celular, generando la oxidación de lípidos, macromoléculas fundamentales en las funciones celulares de microorganismos como E. coli.¹¹³ Y el dióxido de titanio, compuesto que cumple funciones relacionadas al aspecto y presentación del producto final como aporte a la intensidad y brillo del color, generar una sensación de suavidad en contacto con la piel y protección de la misma con respecto a los rayos UV.¹¹⁴

2.3.3 Materias primas empleadas en la empresa. Para el año 2019, *Laboratorios Esko Ltda.* manejó 12.353,37 kg de materias primas para el desarrollo de sus tres líneas de producción mencionadas anteriormente. La distribución de estos compuestos se ve representada en la Gráfica 2, la cual incorpora los compuestos empleados a lo largo del año con cantidades superiores a los 395 kg de manera particular, y el conglomerado de las otras materias primas con cantidades inferiores.

Gráfica 2. Materias primas en la producción de *Laboratorios Esko Ltda.* 2019.



Fuente: elaboración propia.

Las siguientes definiciones corresponden a algunas de las materias primas de la Gráfica 2, las cuales poseen una gran influencia en las características de los lodos y aguas clarificadas que salen de la PTAR, ya que determinan la cantidad de reactivos usados en algunas unidades comprendidas en esta área de tratamiento.

¹¹³ SIDDIQI, Khwaja Salahuddin. et. al. Properties of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Activity Against Microbes. [en línea]. En: 2018. 13:141. [Consultado en: 20, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325032172_Properties_of_Zinc_Oxide_Nanoparticles_and_Their_Activity_Against_Microbes.

¹¹⁴ TDMA. [en línea]. Bruselas, Bélgica: TDMA. [Consultado en: 18, marzo, 2020]. Disponible en: <https://tdma.info/titanium-dioxide-the-cosmetic-industrys-best-kept-secret/>

- ❖ **Propilenglicol:** es muy valorado por la industria cosmética y productos farmacéuticos por su gran capacidad de hidratación, lubricación, además de poseer propiedades fungicidas y bactericidas, comúnmente se usa como disolvente para incorporar esteroides y diversos medicamentos tanto en cremas, lociones y pomadas.¹¹⁵
- ❖ **Glicerina:** pertenece a un tipo de agentes hidratantes, conocidos como humectantes, los cuales poseen la capacidad para atraer y retener la humedad¹¹⁶.
- ❖ **Sulfato de calcio:** es un material regenerativo biocompatible, biodegradable, osteoconductor y en proporciones adecuadas, no es tóxico. Se utiliza mucho en la industria farmacéutica como vehículo para la entrega de factores de crecimiento, moléculas pequeñas, medicamentos y antibióticos.¹¹⁷
- ❖ **Alcohol:** aporta propiedades disolventes, astringentes y antisépticas a muchos productos cosméticos, además de reducir la grasa en pieles mixtas o brindar elasticidad y brillo a la piel.¹¹⁸
- ❖ **Lauril sulfato de sodio:** funciona como surfactante, atrapando el aceite y la suciedad del cabello para que pueda enjuagarse con agua. Es un agente espumante efectivo que ayuda a crear abundante espuma en productos como jabones corporales, de manos, limpiadores faciales, dentífricos y ayuda a eliminar partículas de alimentos en los dientes.¹¹⁹
- ❖ **Aceite de girasol:** son apreciados por ser rico en ácidos grasos esenciales, ya que desempeñan un papel importante en la función inmune, proporcionando a la piel y cabello de vitaminas y ácidos que protegen, hidratan, cicatrizan, previenen arrugas y acné, y reduce la irritación.¹²⁰

¹¹⁵ ARQUIMI: EL ARTE DE LA QUÍMICA [sitio web]. Propilenglicol. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.arquimi.com/blog/p13410-propilenglicol-que-es-y-cuales-son-sus-usos.html>

¹¹⁶ NEUTROGENA [sitio web]. Glicerina para la piel: por qué la glicerina es tu nueva defensa contra la piel seca. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.neutrogena.es/consejos-belleza-cuidado-de-la-piel/tipos-de-piel/glicerina-para-la-piel>

¹¹⁷ LÓPEZ HERRERA, José Luis y ALARCÓN, M. Sulfato de calcio: propiedades y aplicaciones clínicas [en línea]. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*. 2011, vol. 4, pp. 138-143. ISSN 0719-0107. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/piro/v4n3/art12.pdf>. pp. 141-142.

¹¹⁸ LACHENMEIR, Dirk. Safety evaluation of topical applications of ethanol on the skin and inside the oral cavity [en línea]. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2008, vol. 3, nro. 26, pp. 1-16. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/1745-6673-3-26.pdf>. p. 3.

¹¹⁹ CHEMICAL SAFETY FACTS [sitio web]. Laurilsulfato de sodio. [Consultado en: 15, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/laurilsulfato-de-sodio/#:~:text=Usos%20y%20beneficios,-Productos%20de%20cuidado&text=Funciona%20como%20surfactante%2C%20que%20atrapa,m anos%2C%20limpiadores%20faciales%20y%20burbujas.>

¹²⁰ ALCALDE, María Teresa. Alimentos usados de forma cosmética: Propiedades y aplicaciones [en línea]. *Revista Offarm*. 2007, vol. 26, nro. 3, pp. 100-109. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <http://dica.minec.gob.sv/inventa/attachments/article/7639/Alimentos%20y%20cosm%C3%83%C2%A9tica.pdf>. p. 101.

- ❖ **Alcohol cetílico:** se obtiene a partir de aceites vegetales, es un agente espesante y emulsionante, el cual se incorpora a lociones y cremas para mantener la unión de los otros ingredientes en la fórmula, además de ayudar a que los pigmentos se prolonguen más en la piel.¹²¹
- ❖ **Gliceril estearato:** es de color blanco, con un característico olor a grasa, surge a partir del ácido esteárico y el ácido palmítico. Dentro de la industria cosmética es usado como cubierta protectora de polvos, como hidratante en cremas, lociones y ungüentos, además de mantener la estabilidad de varios productos del cuidado personal.¹²²

2.4 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Laboratorios Esko Ltda. maneja dentro de sus instalaciones una PTAR, a la cual llegan volúmenes, en promedio de 200 L/día de aguas residuales provenientes del lavado de los equipos utilizados para la fabricación de sus productos en sus tres líneas principales. Esta PTAR trabaja con nueve unidades, que a través de procesos fisicoquímicos permiten la obtención de dos corrientes de salida: agua clarificada y lodos.

2.4.1 Trampa de grasas. Esta unidad consiente en un pre-tratamiento realizado a las aguas residuales para remover grasas y aceites que no se encuentren emulsificados. La trampa de grasas se subdivide en dos compartimientos: retención de grasas y tanque de recepción de aguas, evitando así el taponamiento de tuberías o unidades subsecuentes.¹²³

2.4.2 Tolva de coagulación y floculación. En esta unidad, se realiza el test de jarras con el fin de determinar las cantidades necesarias para realizar los procesos centrales que suceden en este recipiente (coagulación y floculación). El funcionamiento de esta PTAR no posee un tratamiento estandarizado para esta unidad debido a las características variables que presenta el agua de lavado según la línea de producción, lo cual implica realizar varias pruebas a pequeña escala en donde se observa el comportamiento del floculante y coagulante a distintas concentraciones.

El objetivo principal de esta unidad es clarificar aguas provenientes de la trampa de grasas por medio de la adición de sustancias como hidroxiclорuro de aluminio (ACH) al 30% como solución madre (coagulante inorgánico a base de sal polimérica) e hidróxido de sodio (NaOH) al 10% (como balanceador de pH).¹²⁴

¹²¹ CHEMICALSAFETYFACTS [sitio web]. Alcohol cetílico. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/alcohol-cetilico/>

¹²² POCHTECA [sitio web]. Monoestearato de gliceril. [Consultado en: 17, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.pochteca.com.mx/productosmp/monoestearato-de-glicerilo/>

¹²³ LABORATORIOS ESKO LTDA. Manual de procedimientos: Procedimiento operación planta de tratamiento. Código: P-GC-060. Bogotá, D.C. p. 3.

¹²⁴ *Ibíd.*, p. 4.

2.4.2.1 Hidroxicloruro de aluminio. Coagulante inorgánico polimerizado a base de sales de aluminio polimerizada, utilizado principalmente para la remoción de color y materia coloidal en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras, clarificación de efluentes industriales y como reemplazo de sulfato de aluminio, cloruro de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, etc. El hidroxicloruro de aluminio coagula y acelera la sedimentación de sólidos en suspensión, modificando el potencial zeta de los líquidos a tratar, neutralizando las fuerzas de repulsión. La polimerización de su molécula posee la ventaja de captar contaminantes orgánicos e inorgánicos rápidamente.¹²⁵

Dentro de sus características más destacables, se encuentra su rango de trabajo de pH, el cual está entre 6 y 9, eliminando ajustes futuros a los efluentes tratados.¹²⁶

2.4.2.2 Sulfato de aluminio. Sal derivada de la mezcla de una base débil (hidróxido de aluminio) y un ácido fuerte (ácido sulfúrico). Debido a esto, sus soluciones acuosas se caracterizan por ser ácidas (pH entre 2 a 3,8) y según la relación sulfato/alúmina es importante la preparación de soluciones y su reutilización como coagulante.¹²⁷

Un elemento determinante en la función que desempeña el coagulante es el aluminio que se define como anfótero, soluble en soluciones ácidas y alcalinas, pero insoluble en un medio neutro. Adicionalmente, la solubilidad del aluminio está condicionada por la temperatura y concentración de ligandos orgánicos e inorgánicos.¹²⁸

Debido a las características y concentraciones de los floculantes utilizados como tratamiento primario, se debe realizar un acondicionamiento químico a los lodos para que estos agentes activos se neutralicen. Al adicionar hidróxido de sodio se busca solubilizar los metales de las sales iónicas aprovechando la propiedad

¹²⁵ QUIMSA: QUÍMICAS INTEGRADA S.A. [sitio web]. Mosquera: Química integrada S.A. [Consultado en: 5, marzo, 2020]. Disponible en: <http://quinsa.com.co/modulos/pagina/vista/producto/index.php?id=9>

¹²⁶ COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del Hidroxicloruro de aluminio [en línea]. *DYNA*. 2011, vol. 78. nro. 165. pp. 18-27. ISSN 2346-2183. [Consultado en: 25, marzo, 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/27747/1/25636-90006-1-PB.pdf>. p. 22.

¹²⁷ NUÑEZ ZARUR, Juan Ricardo y PEÑA CASTRO, Margareth. Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P. y estudio de la viabilidad económica de su reutilización como coagulante [en línea]. Trabajo de grado. Cartagena de Indias D. T. y C.: Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería química, 2011. [Consultado en: 19, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/RECUPERACION%20DE%20SULFATO%20DE%20ALUMINIO%20A%20PARTIR%20DE%20LODOS%20GENERADOS%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20POTABILIZACION%20DE%20LA%20EMPRESA%20AGUAS%20DE%20CARTAGENA%20S.pdf>. p. 42.

¹²⁸ *Ibid.*, pp. 42-43.

anfótera del aluminio. Esto provoca que disminuya el contenido de hidróxido de aluminio precipitado, mejorando la deshidratación del lodo al disminuir su masa y volumen.¹²⁹

La condición alcalina representa una ventaja debido a que logra disolver una cantidad considerable de Hidróxido de Aluminio y no afectar los demás metales presentes dentro del lodo, pero esto causa que el carbono orgánico disuelto aumente, limitando las posibilidades de reutilizar el aluminio recuperado como coagulante.¹³⁰

2.4.3 Tanque de homogenización. Esta unidad es alimentada directamente por la tolva de coagulación y floculación y su objetivo es retener el agua clarificada para procesos posteriores de tratamiento.¹³¹

2.4.4 Percolador. Este equipo se encarga de desinfectar y desodorizar el agua clarificada proveniente del tanque de filtración con el uso de pastillas de cloro.¹³²

2.4.5 Filtros de carbón activado y arena. Estos cilindros tienen como objetivo remover sólidos, flóculos, hierro oxidado (filtro de arena), olor y color (filtro de carbón activado), siendo la última etapa de tratamiento fisicoquímico que se le realizan a estos efluentes.¹³³

2.4.6 Tanque de almacenamiento de aguas clarificadas. Esta es la última unidad donde llegan las aguas clarificadas provenientes de los filtros. Este tipo de aguas son usadas posteriormente para la parte de sanitarios de la empresa.¹³⁴

¹²⁹ SANDOVAL, Luciano, *et al.* Estudio piloto para reducir el volumen de lodos de plantas potabilizadoras [en línea]. *Revista Paseo Cuauhnáhuac*. 2016, nro. 8532, pp. 1-13. [Consultado en: 13, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/ESTUDIO%20PILOTO%20PARA%20REDUCIR%20EL%20VOLUMEN%20DE%20LADOS%20DE%20PLANTAS%20POTABILIZADORAS.doc.pdf>. p. 3.

¹³⁰ CARPIO ARTEAGA, Carlos Rafael; MARTÍNEZ OSORTO, Alexander Vladimir y RUÍZ BARRIETOS, Ramiro Oswaldo. Diseño de un proceso químico para la recuperación de aluminio contenido en los lodos provenientes de la planta potabilizadora de aguas las pavas [en línea]. Trabajo de grado. San Salvador: Universidad de el Salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela de ingeniería química e ingeniería de alimentos, 2016. [Consultado en: 26, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/10354/1/Dise%C3%B1o%20de%20un%20proceso%20qu%C3%ADmico%20para%20la%20recuperaci%C3%B3n%20de%20aluminio%20contenido%20en%20los%20lodos%20provenientes%20de%20la%20Planta%20Potabilizadora%20de%20Agua%20Las%20Pavas.pdf>. pp. 41-42.

¹³¹ LABORATORIOS ESKO LTDA. Manual de procedimientos: Procedimiento operación planta de tratamiento. Código: P-GC-060. Bogotá, D.C. p. 5.

¹³² *Ibid.*, p. 7.

¹³³ *Ibid.*, p. 6.

¹³⁴ *Ibid.*, p. 9.

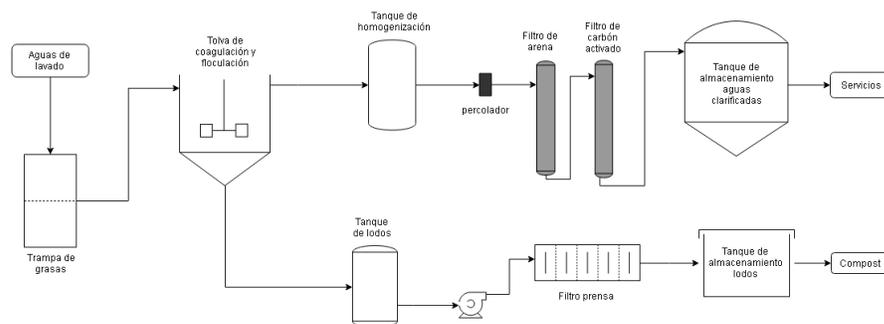
2.4.7 Tanque de lodos. A este tanque llegan los lodos sedimentados de la tolva de floculación y coagulación. En esta unidad se pueden realizar dos procedimientos diferentes con el objetivo de espesar los lodos: sedimentación por lapsos prolongados o una segunda etapa de coagulación.¹³⁵

2.4.8 Filtro prensa. Esta unidad se encarga de succionar por medio de una bomba, los biosólidos almacenados en el tanque de lodos para ser pasados, a presión, a través de las placas del mismo con el fin de eliminar la mayor cantidad de humedad contenida en estos sólidos.¹³⁶

2.4.9 Almacenamiento de lodos. Es la etapa final que conecta con el filtro prensa permitiendo aprovechar o disponer los lodos¹³⁷. Esta unidad es de gran importancia para el desarrollo de en el presente proyecto ya que los lodos generados en esta, serán parte de la materia prima del sistema de compostaje propuesto en el siguiente capítulo.

Todas las unidades descritas en el Diagrama 4 están inspeccionadas y monitoreadas por un tablero de control que actúa y activa bombas gracias a sensores controladores de nivel, permitiendo operar de manera coordinada todas las etapas del tratamiento fisicoquímico de las aguas provenientes del lavado de tanques de la empresa.

Diagrama 4. Operación general de la PTAR de Laboratorios Esko Ltda.



Fuente: elaboración propia.

2.5 VOLÚMENES DE AGUA TRATADOS EN LA PTAR DE LA EMPRESA

Debido a que la producción dentro de la planta no es continua y los insumos no siempre son los mismos, el flujo de agua que llega a la PTAR es variable. Por lo mismo, según el procedimiento de la empresa, se realiza el test de jarras cuando

¹³⁵ *Ibíd.*, p. 5.

¹³⁶ *Ibíd.*, p. 10.

¹³⁷ *Ibíd.*, p. 23.

se llega a un volumen de 1400 L de agua en la tolva de coagulación y floculación, como se evidencia en la Tabla 3.

Para dar inicio con el test de jarras a pequeña escala, primero se debe mezclar homogéneamente el contenido de la tolva, con el fin de asegurar la recolección de muestras representativas. Se toma una muestra de 1 L de agua cruda para verter 300 mL en tres Erlenmeyer y posteriormente, se mide el pH y se ajusta a 8,5 con una solución de soda caustica al 10%.¹³⁸

Se realiza una disolución de 30% de Hidroxicloruro de Aluminio en agua y se agrega en distintas concentraciones a los Erlenmeyer, observando el comportamiento de las diferentes dosificaciones, dejando sedimentar durante 5 a 10 minutos. Finalmente se determina el ensayo que mejor clarifique el agua, esto se hace mediante una evaluación visual y medición de pH del ensayo; si ninguna muestra presenta resultados satisfactorios, es necesario realizar más pruebas de jarras (variar la cantidad y concentración del coagulante).¹³⁹ Con base en este ensayo, se calculan las dosificaciones para la adición de hidróxido de sodio e hidroxicluro de aluminio.

Ecuación 1. Estimación dosificación de NaOH en agua cruda

$$V_{NaOH} = \left(\frac{Vol_{NaOH} \times V_A}{0,3} \right) \times \left(\frac{10}{48,5} \right)$$

Fuente: LABORATORIOS ESKO LTDA.

Donde:

Vol_{NaOH} : El volumen necesario para ajustar el pH de los erlenmeyers (mL)

V_a : El volumen de agua en la tolva que se tratará (L)

V_{NaOH} : Es el volumen de hidróxido de sodio que debe adicionarse a la tolva (mL)

Ecuación 2. Estimación dosificación de ACH en de agua cruda

$$M_{ACH} = \frac{G_{ACH} \times V_A}{0,3}$$

Fuente: LABORATORIOS ESKO LTDA.

Donde:

M_{ACH} : cantidad de hidroxicluro de aluminio que debe adicionarse a la tolva (g)

G_{ACH} : masa de hidroxicluro de aluminio utilizada en el test de jarras (g)

V_a : El volumen de agua en la tolva que se tratará (L)

¹³⁸ LABORATORIOS ESKO LTDA. Manual de procedimientos: Procedimiento operación planta de tratamiento. Código: P-GC-060. Bogotá, D.C. p. 13.

¹³⁹ *Ibíd.*, p. 14.

A partir de la Ecuación 1 y 2 se realizó la Tabla 3, en la cual se relacionan el volumen de agua tratada, junto a las cantidades calculadas de floculante y estabilizador. De esta tabla se puede observar la disparidad en las fechas de tratamiento, debido a los picos de productividad de la empresa, los cuales inician desde el mes de junio y terminan en diciembre. Durante el segundo semestre del año, los tratamientos se cuadruplican en número con respecto al primer semestre del año, este aumento provoca que las cantidades utilizadas de hidroxocloruro de aluminio se tripliquen y las cantidades de hidróxido de sodio requeridas se septuplicuen.

Tabla 3. Dosificación PTAR Laboratorios Esko Ltda. años 2019 - 2020

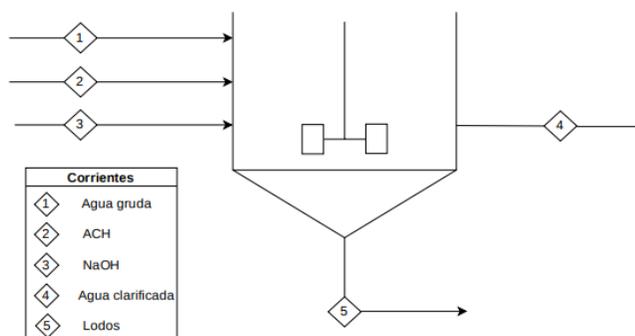
Fecha	Volumen agua tratada (L)	ACH (g)	NaOH (L)
7/03/2019	1.400	1.058,824	0,337
27/03/2019	1.450	2.924,370	0,349
17/06/2019	1.500	1.638,655	0,206
1/07/2019	1.500	1.260,504	0,206
22/07/2019	1.500	1.764,706	1,454
14/08/2019	1.400	1.176,471	1,357
10/09/2019	1.500	1.008,403	0,928
9/10/2019	1.500	1.512,605	0,515
17/10/2019	1.500	1.638,655	0,412
7/11/2019	1.400	588,235	0,481
12/11/2019	1.400	1.176,471	0,096
5/12/2019	1.350	2.268,908	1,021
6/12/2019	1.300	1.092,437	0,447
11/12/2019	1.250	525,210	0,172
18/12/2019	1.250	1.365,546	0,086
22/01/2020	1.350	1.021,008	0,278
29/01/2020	1.330	558,824	0,091
20/02/2020	1.300	819,328	0,179
18/03/2020	1.350	1.138,393	0,278

Fuente: LABORATORIOS ESKO LTDA.

2.6. BALANCE DE MASA DE PROCESO PARA GENERACIÓN DE LODOS

Para la realización del balance de masa se tuvo en cuenta el agua con todos sus contaminantes, las cantidades de floculante y estabilizantes agregados en cada lote, así como las salidas que fueron el flujo de agua clarificada y el flujo de lodo precipitado. Partiendo de las corrientes de entrada y salida, se propuso un diagrama que describe el balance de masa en el equipo de coagulación y floculación.

Diagrama 5. Corrientes de entrada y salida a la tolva de floculación y coagulación



Fuente: elaboración propia.

Para la estimación de las cantidades de lodos producidos en esta etapa de la PTAR, se utilizó el método establecido por la Comisión Nacional del Agua, el cual se basa en el uso de las características del proceso (sólidos suspendidos), flujos de agua y la adición estequiométrica de químicos (floculantes y coagulantes) para el cálculo de la producción de lodos¹⁴⁰, como se muestra en la Ecuación 3.

Ecuación 3. Estimación de volúmenes de lodos producidos en la PTAR

$$S = 86.4 \times Q \times (0.44Al + SS + A)$$

Fuente: CARPIO ARTEAGA, Carlos R.I; MARTÍNEZ OSORTO, Alexander Vladimir y RUÍZ BARRIETOS, Ramiro Oswaldo. Diseño de un proceso químico para la recuperación de aluminio contenido en los lodos provenientes de la planta potabilizadora de aguas las pavas [en línea]. Trabajo de grado. San Salvador: Universidad de el Salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela de ingeniería química e ingeniería de alimentos, 2016. [Consultado en: 26, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/10354/1/Dise%C3%B1o%20de%20un%20proceso%20qu%C3%ADmico%20para%20la%20recuperaci%C3%B3n%20de%20aluminio%20contenid%20en%20los%20lodos%20provenientes%20de%20la%20Planta%20Potabilizadora%20de%20Agua%20Las%20Pavas.pdf>

Donde:

¹⁴⁰ COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Tratamiento y disposición de Lodos [en línea]. México D.F.: Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, 2019. Libro 32, ISBN: 978-607-8246-88-5. [Consultado en: 17, junio, 2020]. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro32.pdf>. pp. 58-60.

S: cantidad de lodos producidos (kg/día)
 Q: caudal de ingreso a la planta (m³/s)
 Al: dosis de aluminio (mg/L)
 SS: sólidos suspendidos de agua cruda (mg/L)
 A: otros aditivos (mg/L)

Tabla 4. Resultados balance de masa para la producción de lodos en la PTAR

Agua tolva (L/semana)	Dosis de aluminio (mg/L)	Dosis NaOH (mg/L)	Lodos producidos (kg/semana)
1.450	672,269	228,522	4,955
1.400	756,303	319,931	2,641
1.450	2.016,807	319,931	20,657
1.500	1.092,437	182,818	2,013
1.500	840,336	182,818	2,519
1.500	1.176,471	1.288,866	8,954
1.400	840,336	1.288,866	9,010
1.500	672,269	822,680	6,762
1.500	1.008,403	457,045	1,558
1.500	1.092,437	365,636	3,844
1.400	420,168	457,045	0,649
1.400	840,336	91,409	2,154
1.350	1.680,672	1.005,498	0,338
1.300	840,336	457,045	0,775
1.250	420,168	182,818	0,468
1.250	1.092,437	91,409	3,621
1.350	756,303	274,227	0,948
1.330	420,168	91,409	1,236
1.300	630,252	182,818	2,343
1.350	843,254	274,227	0,881

Fuente: elaboración propia.

Para efectos del cálculo se tomó como densidad de la solución de hidróxido de sodio al 30% $1,33 \text{ g/cm}^3$ ¹⁴¹ y un valor de sólidos suspendidos de agua cruda de 6 mg/L ¹⁴².

En la Tabla 4 se observa la cantidad de lodos producidos por la PTAR de los laboratorios, de la cual se puede inferir que, entre más coagulante se utilice más biosólidos se puede obtener; sin embargo, un factor que también incide en la cantidad de biosólidos producida, es el tiempo que transcurre entre los tratamientos. Es posible acumular una mayor cantidad de materia si se deja decantar por varios días, por lo que, durante el periodo en el que se almacena la cantidad mínima de agua en la tolva, los lodos producidos por el tratamiento previo son transportados a un tanque en donde son reservados para su extracción final, de esta forma se asegura una producción estable de biosólidos.

2.7 CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS

Partiendo de la caracterización fisicoquímica y microbiológica se clasifican los biosólidos según el decreto 1287 del ministerio de vivienda, ciudad y territorio (2014)¹⁴³, garantizando los criterios para su uso en otras actividades, la seguridad para su manipulación, además de relacionar las características especiales que posean con la construcción y procedimiento para la producción de compost.

Para esto, se tomó una fracción de lodos extraídos del filtro prensa, evitando tomar biosólidos humedecidos (tanque de lodos) los cuales podrían aumentar la actividad microbiológica y el contenido de químicos en los análisis. Se pesaron 10 kg de lodos y fueron empacados en bolsas herméticas, evitando la contaminación de la muestra, garantizando su conservación.

La caracterización se realizó en el laboratorio Analquim Ltda. ubicado en la carrera 50 B N° 6 - 25 en Bogotá. En la Tabla 5 se presentan los resultados de los ensayos fisicoquímicos y microbiológicos, ejecutados a partir de lo establecido por Standard

¹⁴¹ QUIMIPUR, S.L.U. [sitio web]. Sodio hidróxido 30% QP. Madrid: Productos químicos y materiales de laboratorio. [Consultado en: 17, junio, 2020]. Disponible en: <http://quimipur.com/pdf/sodio-hidroxido-30.pdf>. p. 6.

¹⁴² Laboratorios Esko Ltda.

¹⁴³ COLOMBIA. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales"; [en línea] Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014.

Methods for Examination of Water and Wastewater¹⁴⁴, Instituto Geográfico Agustín Codazzi¹⁴⁵ y Environmental Protection Agency¹⁴⁶.

Tabla 5. Resultados caracterización de lodos residuales.

Parámetro	Resultados	Unidades
Humedad	80,26	% (BS)
pH	5,74	--
Relación Carbono/Nitrógeno	32,76	--
Nitrógeno total	0,60	%
Carbono total	19,656	%
Materia orgánica	33,887	%
Densidad aparente	1,0329	g/cm ³
Sólidos volátiles totales	69,71	% (BS)
Arsénico	<0,005	mg/kg (BS)
Cadmio	<0,003	mg/kg (BS)
Cobre	<0,05	mg/kg (BS)
Cromo	<0,005	mg/kg (BS)
Mercurio	<0,002	mg/kg (BS)
Níquel	<0,05	mg/kg (BS)
Plomo	<0,02	mg/kg (BS)
Zinc	0,21	mg/kg (BS)

Fuente: elaboración propia.

Al obtener los resultados de los ensayos realizados a los biosólidos, los cuales se encuentran en la Tabla 5, se evidenció una relación C/N de 32,76:1 se encuentra

¹⁴⁴ AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION y WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 23 ed. Washington: American Public Health Association, 2017. 1360 p. ISBN 978-0-87553-287-5.

¹⁴⁵ MIREYA, Adriana y ZAMUDIO, Sánchez. Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 6 ed. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2006. 648 p. ISBN 9589067980.

¹⁴⁶ ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. POTW sludge sampling and analysis guidance document. Washington: Office of Water, 1989. 301 p.

en el rango establecido para la realización del compost, ya que permite una mayor retención y aprovechamiento de carbono y nitrógeno en sustrato primario, además de corroborar la estabilidad del mismo, con porcentajes de carbono y nitrógeno total de 0,60 y 19,656, respectivamente.

Se indica un alto contenido de humedad, el cual corresponde a 80,26%, el cual es un aspecto crítico ya que esto significa que el sustrato posee exceso de agua, que en el proceso de compostaje generará zonas anaerobias debido a la saturación de los poros del biosólido impidiendo la circulación de oxígeno,¹⁴⁷ derivándose en malos olores y disminuyendo la velocidad del proceso. Una opción de control de esta variable se da a través de la adición de material seco o una mayor aireación, permitiendo que el compost llegue a un equilibrio entre los espacios entre partículas (pueden ocuparse de agua o aire)¹⁴⁸.

Muchos manuales sugieren un rango de pH óptimo de 4,5 a 8,5 unidades, esto teniendo en cuenta los cambios que tendrán estas variables en las diferentes etapas del proceso¹⁴⁹. Se evidencia un valor de pH de 5,74 en el biosólido en que se efectuaron las pruebas, dando un carácter ácido a los lodos, lo que condicionará la actividad microbiológica, seleccionando las poblaciones presentes en el inicio del proceso (propenso al crecimiento de hongos). Por la condición presente, es necesario controlar el pH del medio para asegurar que los ácidos orgánicos de las primeras fases no interfieran en la actividad microbiana de las etapas posteriores, ya que las bacterias son muy sensibles a estas sustancias¹⁵⁰.

Adicionalmente, se caracterizaron algunos metales ya que el tipo de industria maneja diversos compuestos que contienen este tipo de elementos, especialmente el zinc. No obstante, con base a esta caracterización se puede afirmar que el lodo no presenta una carga alta de metales (menores a 0,21 mg/kg), condición que favorece los procesos microbiológicos característicos del compostaje. Para completar la caracterización de los lodos fue necesario conocer los parámetros microbiológicos como se muestra en la Tabla 6.

¹⁴⁷ MIYATAKE, Fumihito y IWABUCHI, Kazunori. Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure [en línea]. *Bioresource Technology*. 2006, vol. 97. nro. 7. pp. 961-965. [Consultado en: 25, marzo, 2020]. Disponible en: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2052/science/article/abs/pii/S0960852405002385>. pp. 962-963.

¹⁴⁸ BUENO MÁRQUEZ, Pedro; DÍAZ BLANCO, Manuel y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de compostaje. [en línea]. En: *Compostaje*. Madrid: España, 2007. p. 3.

¹⁴⁹ ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. *MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina*. FAO. Santiago de Chile: 2013. p. 31.

¹⁵⁰ SUNDBERG, Cecilia. Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH [en línea]. Tesis Doctoral. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. Facultad de recursos naturales y ciencias agrícolas. Departamento de biometría e ingeniería, 2005. [Consultado en: 15, junio, 2020]. Disponible en: <https://pub.epsilon.slu.se/950/1/CeSu103fin0.pdf>. pp. 16-17.

Tabla 6. Valores máximos de microorganismos permitidos y resultados de caracterización de biosólidos.

Parámetro	Valores permitidos para cada tipo de lodo		Resultado caracterización	Unidades
	Clase A	Clase B		
Coliformes fecales	<1,00 E (+3)	<2,00 E (+6)	<1	UFC/g (BS)
Salmonella sp.	Ausencia	<1,00 E (+3)	<0,006473	UFC/25g (BS)
Escherichia coli	Ausencia	Ausencia	Ausente	--

Fuente: elaboración propia basado en COLOMBIA.MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales"; [en línea] Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>.

Finalmente, en la Tabla 6 se muestra una comparación entre los resultados de los ensayos y los límites permisibles decretados, en el cual se observa que la caracterización microbiológica de los lodos, principalmente Salmonella y Coliformes fecales, se encuentra dentro de los rangos máximos permisibles. Destacando que los equipos utilizados para realizar esta caracterización poseen un mínimo medible, por lo que los valores reales pueden ser inferiores a los presentados en la tabla.

3. SELECCIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST

En el presente capítulo se describen los microorganismos que actúan en cada fase del compostaje y las funciones que estos desempeñan en el proceso oxidativo, debido a su influencia en la velocidad de las reacciones de degradación de la materia en el compostaje. Adicionalmente, se explican de manera teórica la influencia de algunas variables como humedad, microorganismos eficientes y porosidad, que se encuentran fuera de los parámetros registrados en la literatura; las cuales se podrán ajustar por medio de la adición de materias orgánicas que favorecen el proceso.

Finalmente, se seleccionan los elementos que componen la propuesta de mezcla de compostaje los cuales permiten ajustar las variables a sus parámetros teóricos establecidos y que puedan ser empleados en las instalaciones de *Laboratorios Esko Ltda.* como alternativa de aprovechamiento de los lodos generados en la PTAR de la empresa.

3.1 MICROORGANISMOS PROPIOS DEL COMPOSTAJE

El proceso de compostaje está determinado por diversos factores fisicoquímicos como relación C/N, porcentaje de humedad, pH, temperatura, aireación, fuentes de carbono y nitrógeno presentes en la mezcla (desde aminoácidos y azúcares simples hasta proteínas y azúcares complejos), entre otros; los cuales determinan el desarrollo de población microbiológica en el medio y por ende, la velocidad de degradación de la biomasa para obtener el producto húmico estable, denominado compost.¹⁵¹

3.1.1 Generalidades de los microorganismos según las fases del compostaje.

El compostaje posee cuatro etapas importantes para llevar a cabo su proceso oxidativo, las cuales se pueden diferenciar debido a los rangos de temperatura en la mezcla y en consecuencia a esto, los tipos de microorganismos efectivos presentes en cada fase y los tipos de materia orgánica (MO) que estos degraden, como se explica en el Cuadro 8.

¹⁵¹ US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. p. 3

Cuadro 8. Tipo de microorganismos según la fase de compostaje

Fase	Microorganismo	Fuentes de MO a degradar	Características de la fase
Mesófila I	Bacterias mesófilas	Azúcares simples Almidón	Aumento de temperatura paulatino (10-40°C)
Termófila	Microorganismos termófilos con capacidad de formar esporas	Proteínas Ácidos grasos Azúcares complejos (celulosa, hemicelulosa, lignina)	Temperaturas más altas del proceso (40-70°C) Mayor crecimiento y actividad microbiana que emplea enzimas para romper moléculas complejas
Mesófila II	Microorganismos mesófilos	Materia orgánica restante (proteínas, azúcares, etc)	Disminución de la temperatura Finalizan los procesos de la fase anterior
Maduración	Hongos	No aplica	Estabilización del producto final (compost).

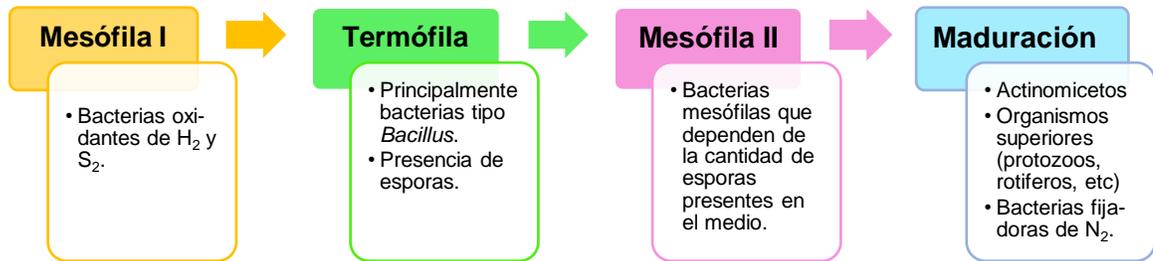
Fuente: elaboración propia basado en US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. P. 2-1-2-67. [Consultado en: 27, julio, 2020]. Disponible en: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=28910.wba>

3.1.2 Tipos de microorganismos presentes en el proceso de compostaje. La descomposición de la materia orgánica en el proceso de compostaje se realiza a través de los siguientes tipos de microorganismos, con el fin de obtener energía y nutrientes.

3.1.2.1 Bacterias. Grupo diverso de microorganismos unicelulares considerados los actores principales del incremento de temperatura del sistema, los cuales emplean enzimas para lograr el rompimiento químico de moléculas complejas como las proteínas. Sin embargo, en la etapa inicial de compostaje (mesófila I) las bacterias mesófilas degradan moléculas sencillas como azúcares simples y almidones, a través de procesos metabólicos exotérmicos que permiten el incremento de temperatura cercano a los 40°C; no obstante, a lo largo de todas

las fases de este proceso hay presencia de diversos tipos de bacterias como se presenta en el Diagrama 6.¹⁵²

Diagrama 6. Bacterias presentes en las fases del proceso de compostaje



Fuente: elaboración propia basado en TRAUMMAN, Nancy M. y KRANSY, Marianne E. The science of composting. [en línea]. En: Composting in the classroom. Scientific inquiry for high school students. National Science Foundation, Cornell Waste Management Institute, Cornell Center for the Environment, 1997. [Consultado en: 24, julio, 2020]. Disponible en: <http://cwmi.css.cornell.edu/chapter1.pdf>

❖ **Actinomicetos.** Grupo heterogéneo de bacterias capaces de adaptarse a sustratos con materia orgánica de difícil degradación como ácidos orgánicos, celulosa, hemicelulosa, lignina, polipéptidos, entre otros.¹⁵³

Este conjunto de microorganismos hace referencia a uno de las bacterias más importantes en el proceso de compostaje ya que se caracterizan por poseer filamentos y estar en la fase de maduración del producto final, que presenta un medio ácido y las humedades más bajas del proceso.¹⁵⁴ También son responsables de la formación de humus y olor característico a tierra húmeda (volatilización de geosima); asimismo, inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos al producir antibióticos, enzimas líticas y parasitismo.¹⁵⁵

¹⁵² TRAUMMAN, Nancy M. y KRANSY, Marianne E. The science of composting. [en línea]. En: Composting in the classroom. Scientific inquiry for high school students. National Science Foundation, Cornell Waste Management Institute, Cornell Center for the Environment, 1997. [Consultado en: 24, julio, 2020]. Disponible en: <http://cwmi.css.cornell.edu/chapter1.pdf> p. 15

¹⁵³ US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. p. 5

¹⁵⁴ TRAUMMAN. Op. cit p. 15

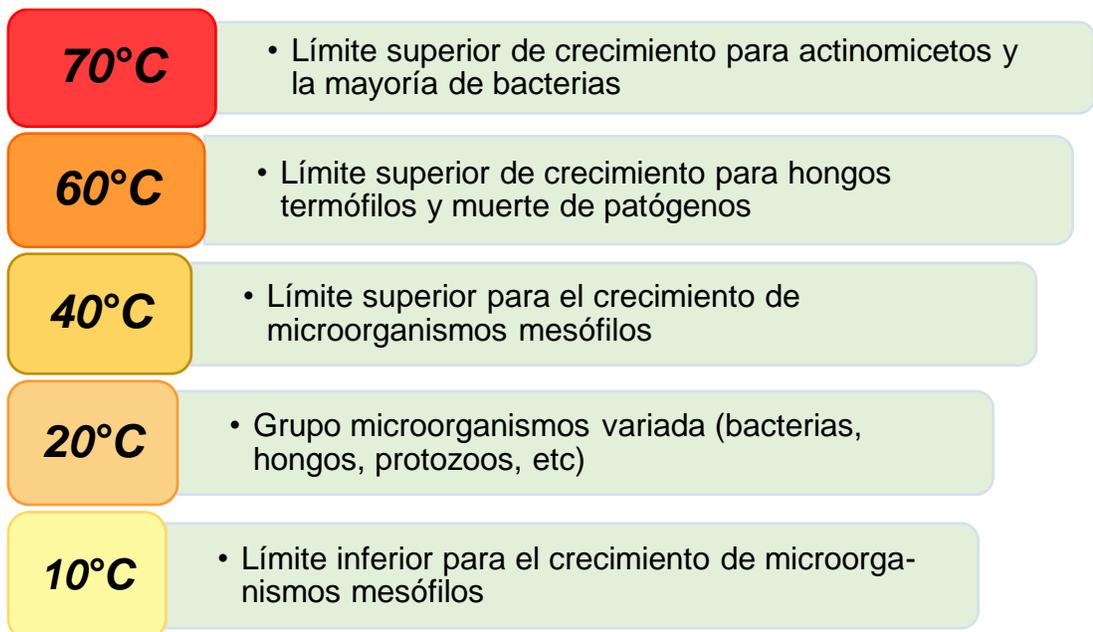
¹⁵⁵ BORRERO GONZÁLES, Gina Paola. Estudio comparativo del uso de dos sustratos con inóculos microbiales para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos en compostaje doméstico [en línea]. Trabajo de grado magister. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Área Académica Agroforestal. Programa de Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción, 2014. [Consultado en: 2, agosto, 2020]. Disponible en: <http://163.178.205.27:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/67/TFG%20Gina%20Borrero%20Final%20aprobado%20firmas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. pp. 21-22.

3.1.2.2 Hongos. Microorganismos mesófilos aerobios estrictos superiores a las bacterias, los cuales secretan enzimas para lograr una digestión extracelular de materias orgánicas complejas en condiciones extremas de humedad y baja concentración de nitrógeno del medio.¹⁵⁶

Los hongos que se desarrollan en el proceso de compostaje surgen al final de la fase termófila, los cuales ayudan al descenso de la temperatura del medio y por ende, la estabilización del mismo debido a la destrucción de patógenos.¹⁵⁷

Finalmente, en el Diagrama 7 se observa de manera sintetizada la relación entre la temperatura y los tipos de microorganismos, en el rango de 10 °C a 70°C, siendo estos los límites inferiores y superiores, respectivamente, para el proceso de compostaje.

Diagrama 7. Rangos de temperatura en los microorganismos del compostaje



Fuente: elaboración propia basado en TRAUMMAN, Nancy M. y KRANSY, Marianne E. The science of composting. [en línea]. En: Composting in the classroom. Scientific inquiry for high school students. National Science Foundation, Cornell Waste Management Institute, Cornell Center for the Environment, 1997. [Consultado en: 24, julio, 2020]. Disponible en: <http://cwmi.css.cornell.edu/chapter1.pdf> p. 15.

3.1.3 Reacciones del compostaje. Las reacciones que se llevan a cabo en el proceso de compostaje se dan gracias a la presencia de los microorganismos

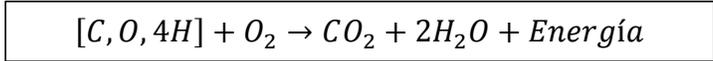
¹⁵⁶ TRAUMMAN, Nancy M. y KRANSY, Marianne E. The science of composting. [en línea]. En: Composting in the classroom. Scientific inquiry for high school students. National Science Foundation, Cornell Waste Management Institute, Cornell Center for the Environment, 1997. p. 15

¹⁵⁷ Ibid. p. 16

aerobios descritos anteriormente, que dependen de condiciones adecuadas del medio (humedad, pH, temperatura, aireación, relación C/N), considerados como parámetros básicos para la estabilización de la materia orgánica disponible en la mezcla a compostar.

Las reacciones desarrolladas por estos microorganismos se caracterizan por ser procesos catabólicos con desprendimiento de calor (exotérmicas), como la respiración, descrita en la Ecuación 3:

Ecuación 3. Reacción de respiración

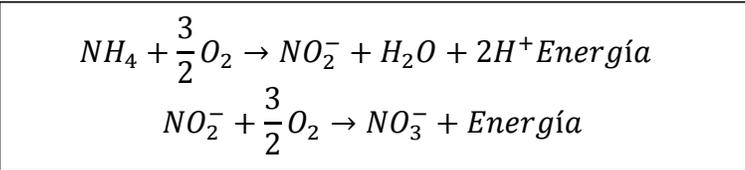


Fuente: US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. P. 2-1-2-67. [Consultado en: 27, julio, 2020]. Disponible en: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=28910.wba>

La reacción referida anteriormente (Ecuación 3) obedece a una respiración aerobia la cual hace parte de una secuencia de reacciones, que en comparación con la respiración anaerobia, es prevalente debido a su mayor eficiencia, mayor generación de energía y menor generación de olores,¹⁵⁸ condiciones favorables para el desarrollo de la compostaje.

Por otro lado, en la fase de curado existen microorganismos fijadores de nitrógeno capaces de llevar a cabo reacciones de nitrificación, los cuales en presencia de oxígeno, logran oxidar el amoníaco a nitrato como se muestra en la Ecuación 4 de dos pasos, para convertirlo en un compuesto bio-asimilable.¹⁵⁹

Ecuación 4. Reacción de nitrificación



Fuente: US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. p. 2-1-2-67. [Consultado en: 27, julio, 2020]. Disponible en: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=28910.wbaHh>

¹⁵⁸ US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. p. 6

¹⁵⁹ *Ibíd.* p. 7

3.2 MATERIALES PARA LA MEZCLA DEL COMPOSTAJE

El compostaje es una alternativa para mejorar y estabilizar los residuos de las PTAR, principalmente cuando poseen limitaciones microbiológicas, con el fin de degradar bioquímicamente una gran cantidad de residuos orgánicos, fomentando el reciclaje de nutrientes y oligoelementos útiles.¹⁶⁰

Los biosólidos generados en PTAR se caracterizan por ser masas compactas, generando dificultades para iniciar la etapa de fermentación debido a la poca porosidad que poseen, la cual obstaculiza la aireación y favorece la retención de humedad; por tal razón, es necesario mezclar los lodos con materia orgánica que compensen estas particularidades.¹⁶¹

Partiendo de la caracterización fisicoquímica realizada a los lodos generados por la PTAR de la compañía, es necesario ajustar algunos parámetros de estos biosólidos para el adecuado desarrollo del proceso oxidativo propio del compostaje. Por lo tanto, es necesario identificar las variables que se encuentran fuera de los parámetros definidos en la literatura, para posteriormente, seleccionar los agentes o materiales adicionales que permitan su ajuste.

Las variables con mayor desviación de los parámetros son:

- ❖ **Humedad:** según la caracterización realizada a los lodos, estos presentan una humedad de 80,26%, mientras que el parámetro asociado a esta propiedad se encuentra entre 35-60%. Esta variable representa uno de los mayores inconvenientes para el aprovechamiento de estos residuos; por lo cual, se diseñó un sistema que permita, de manera rápida, ajustar esta variable a los parámetros especificados como se describe en la sección *4.2 FASE DE ADAPTACIÓN DE LODOS*.
- ❖ **Microorganismos eficientes:** este tipo de biosólidos pasan a través de procesos fisicoquímicos, los cuales no proporcionan ninguna carga microbiológica activa y favorable para el compostaje como si lo permiten los lodos generados por medio de procesos biológicos (lodos activos). Razón por la cual, es necesario agregar materia orgánica con carga biológica que represente la fuerza impulsora para el proceso oxidativo.
- ❖ **Porosidad:** los lodos generados por PTAR se caracterizan por ser masas compactas que impiden el flujo de elementos a través de estos, razón por la cual, la porosidad es una variable crítica en la alternativa de aprovechamiento

¹⁶⁰ TORRES LOZADA, Patricia, *et al.* Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales – PTAR [en línea]. *Revista Ingeniería e Investigación*. 2005, vol. 25. nro. 2. pp. 53-61. ISSN 0120-5609. [Consultado en: 1, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/643/64325208.pdf>. p. 55.

¹⁶¹ *Ibid.*, p. 56.

de lodos ya que se define como la propiedad física que hace referencia a la cantidad de espacios vacíos por unidad total de volumen.¹⁶²

Para ajustar las propiedades de los lodos es necesario la adición de materiales orgánicos que mejoren las características físicas y microbiológicas de los biosólidos. Para esto, es indispensable tener conocimiento de las propiedades y funciones de cada material, los cuales deben cumplir con las siguientes características:

- ❖ Permitir el drenaje y aireación efectiva.
- ❖ Aportar una textura resistente a la compactación.
- ❖ Capacidades de retención de humedad y nutrientes.
- ❖ Estructura que permita el paso de oxígeno por los poros.
- ❖ Estabilidad química y biológica.
- ❖ Facilidad para incorporar en la mezcla.
- ❖ Bajo costo.
- ❖ Disponibilidad.

Basados en las particularidades mencionadas anteriormente, se encuentran las siguientes clasificaciones de materia orgánica:

3.2.1 Residuos de madera. Constituyen una fuente de materia orgánica, a la cual se le deben realizar ciertas modificaciones (reducción del tamaño de partícula) y se utiliza para mejorar las propiedades fisicoquímicas del compost como porosidad, retención de humedad, entre otras, considerando su gran disponibilidad y bajo costo, no obstante, generan algunas reacciones indeseables y posee irregularidad en su tamaño de partícula,¹⁶³ criterios que se exponen en detalle en el Cuadro 9.

¹⁶² ALONSO RODRÍGUEZ, Fco. Javier. PROPIEDADES FÍSICAS: DENSIDAD Y POROSIDAD. [en línea]. Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. Oviedo, España: 2013. [Consultado en: 08, agosto, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237009661_PROPIEDADES_FISICAS_DENSIDAD_Y_POROSIDAD

¹⁶³ *Ibid.*, p. 21.

Cuadro 9. Comparación residuos de la industria maderera para la mezcla en compost

Materia	Ventajas	Desventajas
Aserrín	Estructura fibrosa Fuente de carbono Gran retención de agua Rápida transformación de residuos orgánicos Efecto ligero en el pH Fácil de mezclar Aumenta la porosidad Favorece aireación	Poseen sustancias tóxicas (resinas, taninos, turpentininas) Generan mermas Producción de amoniaco alcalinizado Déficit de nitrógeno Características variables según la especie de árbol Contenido de esporas y micelas de hongos
Corteza	Gran disponibilidad Precios bajos Favorece el intercambio catiónico Calidad en el producto final Facilita la retención de nutrientes Estabilidad en la relación C/N	Características variables según la especie de árbol Compuestos difíciles de degradar Aumenta los tiempos de compostaje (>30 días) Tamaño de partícula Libera ácido acético

Fuente: elaboración propia basado en OIRSA. Manual de producción de sustratos para viveros [en línea]. OIRSA. Costa rica, 2002. [Consultado en: 1, julio, 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/22832416-Produccion-de-sustratos-para-viveros.html>

En el Cuadro 9 se puede observar los pro y contras que generaran mezclar los lodos de PTAR con residuos de la industria maderera. Si bien, aporta características que mejoraran las condiciones iniciales y finales de la mezcla (nutrientes, capacidad de intercambio catiónico, estabilidad, entre otros) se debe tener un cuidado especial con los componentes y reacciones secundarias que afectan el proceso y producto final.

3.2.2 Estiércol. Actualmente las granjas de producción animal generan grandes cantidades de residuos sólidos orgánicos, ocasionando inconvenientes en cuanto a disposición y tratamiento de desechos. El mal manejo de estos residuos ha provocado problemas de contaminación como gases de efecto invernadero (metano), lixiviados ricos en nitratos, entre otros.¹⁶⁴ Su mezcla con biosólidos u otros compuestos ricos en nitrógeno no es recomendada, por su contenido alto en

¹⁶⁴ MEDINA LARA, Socorro *et al.* Generación de un inoculante acelerador de compostaje [en línea]. *Revista argentina de Microbiología*, 2017. Vol. 50. nro. 2. pp. 206-210. [Consultado en: 5, julio, 2020]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0325754117301050?token=41B9CF72DBA4F6B358CABF01722F8FBBC372E1C2B719BEBF0A3BCDF794FEDEB6AFE19AB7512776C369704DD3600B917D>. p. 207.

proteínas y otros compuestos nitrogenados que fácilmente pueden convertirse en amonio y nitritos. Su adición produce desequilibrio en la relación C/N, lo que impacta negativamente en las propiedades de la mezcla.¹⁶⁵

Para la selección de este conjunto de materia orgánica, se debe considerar el tipo de animal, edad, condiciones de cría y alimentación, ya que estos factores influyen en la composición, textura y desempeño del estiércol. Adicionalmente, el contenido de microorganismos puede variar según las características mencionadas, por lo que algunos residuos logran ser catalogados como desechos peligrosos.¹⁶⁶ Para esto, se presentan en el Cuadro 10 las ventajas y desventajas de los estiércoles más empleados para el proceso de compostaje.

Cuadro 10. Comparación deyecciones ganaderas para su mezcla en compost.

Materia	Ventajas	Desventajas
Avícola	<ul style="list-style-type: none"> Altas concentraciones de fósforo, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, hierro, zinc y cobre Gran disponibilidad Alto contenido de nutrientes Fuente de carbono Rápida degradación Asimilan altas y bajas cargas orgánicas 	<ul style="list-style-type: none"> Baja relación C/N (10-15) Los nutrientes dependen de la crianza No se puede mezclar con otros compuestos ricos en nitrógeno Contienen antibióticos Malos olores Volteos constantes Depende de la alimentación y condiciones de vida
Vacuno	<ul style="list-style-type: none"> Buena estructura Relación C/N alta (30-40) Actividad enzimática (rumen) facilita el proceso Gran disponibilidad Mayor estabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> Porcentajes de humedad altos Tiempos de composta largos Presencia de larvas y moscas Presencia de avermectinas y antibióticos Bajo contenido de nitrógeno Gran porcentaje de humedad Depende de la alimentación y condiciones de vida

¹⁶⁵ OIRSA. Manual de producción de sustratos para viveros [en línea]. Costa rica, 2002. p. 25.

¹⁶⁶ GENERALITAT DE CATALUNYA: DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT. Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje. Cataluña: Agencia de Residuos de Cataluña, 2016. p. 91. ISSN. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. Disponible en: http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf. p. 87.

Cuadro 10. (Continuación)

Porcino	<p>Gran cantidad de proteína y nitrógeno Incrementa los nutrientes Producto final estable Contenido de micronutrientes (fósforo, zinc, etc.)</p>	<p>Compostaje lento Volteos constantes Cuesta iniciar el proceso de degradación Baja relación C/N (16) Denso y pegajoso Estructura deficiente Porcentaje de humedad alto Volteos constantes Depende de la alimentación y condiciones de vida</p>
Ovino Caprino	<p>Buena estructura (fresco) Una relación C/N media (20-30) Contiene mayor cantidad de fósforo y potasio Compost estable Favorece la aireación Rico en minerales y oligoelementos Nitrógeno abundante</p>	<p>Tiempos de retención medianos Puede contener hierbas o gérmenes patógenos Alcanza altas temperaturas Volteos constantes Depende de la alimentación y condiciones de vida</p>
Equino Asnos Mulas	<p>Buena estructura Gran cantidad de fibra Una relación C/N media (20-25) Rico en magnesio Rápida fermentación Favorece el aumento de temperatura Alto contenido de celulosa Alta cantidad de microorganismos y urea</p>	<p>Vigilar el contenido de agua Temperaturas excesivas Volteos constantes Cambios de pH extremos Depende de la alimentación y condiciones de vida</p>
Conejo	<p>Gran estructura Relación C/N media (20-30) Fácil aireación Rápida degradación</p>	<p>Puede contener fármacos Fresco es inestable Excesiva acidez Depende de la alimentación y condiciones de vida</p>

Fuente: elaboración propia basado en BUENO, Mariano. Cómo hacer un buen compost: Manual para horticultores ecológicos [en línea]. 3ra ed. Madrid: La fertilidad de la tierra, Ediciones Navarra, 2007. 170p. ISBN 9788493277987. [Consultado en: 25, febrero, 2020]. Disponible en: <https://ecocosas.com/wp-content/uploads/Biblioteca/perma/Como%20Hacer%20un%20Buen%20Compost.pdf>

Los excrementos animales suelen ser una de las alternativas principales para la producción de compost, como se observa en el Cuadro 10, ya que presentan diversas características que favorecen el desarrollo del proceso entre las cuales

se pueden destacar su contenido de micronutrientes como el fósforo, potasio, zinc, entre otros, los cuales son necesarios para el desarrollo de las reacciones oxidativas a través de su aporte nutricional en el crecimiento de los microorganismos presentes en cada fase del proceso; y el aporte de carga microbiológica significativa que poseen por naturaleza debido a su origen.

Sin embargo, una de las mayores desventajas en el uso de estiércoles para el proceso de compostaje es la cantidad de tratamientos químicos como hormonas de crecimiento, fármacos, entre otros, a los que son sometidos los animales a causa de la industrialización en el sector ganadero. Lo cual condiciona el rendimiento del proceso oxidativo debido a la presencia de este tipo de moléculas inorgánicas en las heces de estos animales, las cuales actúan como inhibidores en las reacciones de degradación, por la complejidad de las moléculas que componen estos químicos que son de difícil asimilación para los hongos y bacterias encargadas de estabilizar los residuos dentro del sistema de compostaje.

3.2.3 Residuos de cosechas. Son utilizados como material de enmienda orgánica, al ser fuentes confiables de nutrientes (fósforo, calcio, potasio, sílice, entre otros) y carbono orgánico, facilitando el equilibrio de la relación C/N de sustratos ricos en nitrógeno como los lodos generados por PTAR.¹⁶⁷ Los residuos de este tipo se caracterizan por los procesos oxidativos de las fracciones coloidales de la lignina y la incorporación de elementos nitrogenados en formas medianamente estables,¹⁶⁸ destacando las materias mencionadas en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Comparación residuos de cosecha para su mezcla en compost.

Materia	Ventajas	Desventajas
Cascarilla de arroz	Mejora la porosidad, drenaje de lixiviados y favorece aireación Material secante Facilidad de mezcla Rico en carbono Contenidos altos de potasio y silicio Costos bajos	Problemas de humedad y conservación de agua Baja concentración de nutrientes Baja reactividad Resistente a la descomposición Nitrógeno deficiente Presencia de herbicidas y ceras Lavado de almidones

Cuadro 11. (Continuación)

¹⁶⁷ OIRSA. Manual de producción de sustratos para viveros [en línea]. OIRSA. Costa rica, 2002. p. 26.

¹⁶⁸ ALMENDROS MARTÍN, Gonzalo *et al.* Biodegradación y compostaje de la paja de trigo inoculada con *Ulocladium atrum* [en línea]. *Agrochimica*, 1987, vol. 31. nro. 4-5. pp. 438-456. ISSN 83081277. [Consultado en: 05, julio, 2020]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/51359/1/Biodegradaci%c3%b3n%20y%20compostaje%20de%20la%20paja%20de%20trigo.pdf>. pp. 438-439.

Paja	Facilita la descomposición Rico en nitrógeno, fósforo, sílice y potasio Costos bajos Provee una buena estructura Favorece aireación	Tamaño de partícula Formación de amonio tóxico Propuesta cara Bajo contenido de sales solubles
Raquis de maíz	Favorecen la estabilidad de temperaturas Potencializador de actividad microbiana y fácil descomposición Gran fuente de azúcar	Tamaño de partícula Evaporación de humedad Generan déficit de nitrógeno Liberan grandes concentraciones de CO ₂
Broza de café	Abundante disposición Aportan estabilidad Manipulación sencilla Rico en nitrógeno y minerales Rápida descomposición	Demasiado húmedo (>85%) Dificulta la aireación Compuestos que limitan la actividad microbiana Dificulta el drenaje de líquidos
Frutas y verduras	Abundante carbono, azúcares, fósforo y potasio Contenido de microorganismos eficientes Activador de pilas de compost Favorece aireación y retención de agua Aporta estructura y porosidad	Liberan muchos ácidos orgánicos Acidifican el medio Tamaño de partícula Trazas de fertilizantes y plaguicidas sintéticos Presencia de parafinas y sales
Residuos caña de azúcar	Abundante disposición Aporta porosidad y fibras Absorbe humedad Agiliza la descomposición Rico en calcio, fósforo, potasio y magnesio Fomenta la acción microbiana	Porcentaje de humedad alto Produce ácido acético Nitrógeno deficiente pH básico Alta demanda Favorece la mineralización
Hierbas y hojas	Buen equilibrio C: N Favorece la aireación Potencializa la fermentación Buen contenido de humedad	Presencia de semillas Rico en material celulósico Compostaje lento Presencia de insectos

Cuadro 11. (Continuación)

Residuos de poda	Favorece la estabilidad de temperaturas Rico en carbono Aporta microorganismos eficientes Tiempo de retención menores Porcentaje de humedad bajo Favorece el aumento de temperatura	Tamaño de partícula Excretas animales (gatos y perros) Formación de amoniaco Debe ser fresco
------------------	---	---

Fuente: elaboración propia basado en OIRSA. Manual de producción de sustratos para viveros [en línea]. OIRSA. Costa rica, 2002. [Consultado en: 1, julio, 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/22832416-Produccion-de-sustratos-para-viveros.html>; BUENO, Mariano. Cómo hacer un buen compost: Manual para horticultores ecológicos [en línea]. 3ra ed. Madrid: La fertilidad de la tierra, Ediciones Navarra, 2007. 170p. ISBN 9788493277987. [Consultado en: 25, febrero, 2020]. Disponible en: <https://ecocosas.com/wp-content/uploads/Biblioteca/perma/Como%20Hacer%20un%20Buen%20Compost.pdf> y ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina. [en línea]. FAO. Santiago de Chile: 2013 [Consultado en: 4, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>. p. 29

Como se describe en el Cuadro 11, la aplicación de los residuos de cosecha depende de los tratamientos químicos que se le hayan suministrado (herbicidas, fungicidas, plaguicidas, fertilizantes sintéticos, entre otros) ya que estos elementos pueden generar afectaciones en el desarrollo del compostaje y la calidad del producto final. También se considera la presencia de otros elementos como insectos, deyecciones animales (gatos y perros principalmente) y semillas, cuyas composiciones pueden favorecer reacciones secundarias que modifican variables importantes como pH, relación C/N, capacidad de intercambio catiónico, composición, entre otras.

3.2.4 Agregados. Se utilizan principalmente para aumentar el número de poros grandes, reducir la capacidad de retención de humedad, mejorar el drenaje y aireación¹⁶⁹. Se caracterizan por ser partículas limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos y de otros materiales finos que puedan afectar la humedad de la mezcla, tal como se menciona en el Cuadro 12.¹⁷⁰

¹⁶⁹ OIRSA. Manual de producción de sustratos para viveros [en línea]. OIRSA. Costa rica, 2002. p. 31.

¹⁷⁰ PÉREZ FERNÁNDEZ, Alfredo Ricardo *et al.* Sustrato biofísico para agricultura protegida y urbana a partir de compost y agregados provenientes de los residuos sólidos urbanos [en línea]. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 2018, Vol. 34. nro. 3. pp. 383-394. ISSN 0188-4999. [Consultado en: 05, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v34n3/0188-4999-rica-34-03-383.pdf>. pp. 386-387.

Cuadro 12. Comparación de agregados para su mezcla en compost.

Materia	Ventajas	Desventajas
Arena	Cantidades pequeñas Costos bajos Química y biológicamente inerte Favorece la retención de humedad Mejora el drenaje y aireación	Contenido de limo y arcilla Depende del tamaño de partícula Baja en nutrientes Debe pasteurizarse Rápida compactación No se degrada
Grava	Alto contenido de carbono y calcio Buena estabilidad estructural Mejora el drenaje Favorece la porosidad y aireación Contiene micro y macro nutrientes	pH ácido Contiene óxidos de silicio y aluminio Deficiencia en retención de agua
Humus de lombriz	Gran aporte de nutrientes Mejora la estructura Favorece la composición química Peso ligero Favorece la retención de humedad Buen iniciador de compost	No se han encontrado efectos adversos.
Pomina pumita	Formación de un material poroso Mejora la aireación y evita la saturación de humedad Químicamente inerte	Forma una textura espumosa Tamaño de partícula Aporta demasiado peso
Perlita Arlita	Favorece aireación y drenaje Peso ligero Químicamente inerte pH neutro Inhibe la presencia de patógenos Fácil de mezclar Provee de porosidad	Costos altos Tamaño de partícula No tiene capacidad de intercambio iónico No aporta nutrientes minerales
Vermiculita	Retención de humedad Favorece aireación Mejora la adsorción de nutrientes Provee poros grandes Rica en potasio, magnesio y calcio	Compactación Temperaturas excesivas Tamaño de partícula No aportan carbono ni nitrógeno

Cuadro 12. (Continuación).

Turba	Químicamente inerte Gran contenido mineral Accesibilidad Facilidad de mezcla Larga duración Mejora el drenaje y aireación Contenido de potasio y oligoelementos Generan un compost de calidad	Nutrientes deficientes pH ácido Retiene humedad Depende del tipo Deficiencia de nitrógeno y fósforo
-------	--	---

Fuente: elaboración propia basado en TELENCHANA TISALEMA, Jaime Javier. Evaluación de sustratos alternativos a base de cascarilla de arroz y compost en plántulas de pimiento (*capsicum annuum L.*) [en línea]. Trabajo de grado ingeniero agrónomo. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Carrera de Ingeniería Agronómica, 2018. [Consultado en: 4, julio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/27192/1/Tesis-188%20%20Ingenier%c3%ada%20Agron%c3%b3mica%20-CD%20557.pdf>

En el Cuadro 12 se presenta un listado de sustratos, en los que se evidencia la característica de ser química y biológicamente inertes, por lo que su uso se enfoca principalmente en la corrección de propiedades físicas, mejoramiento de la estructura, generación de poros, aireación y drenaje de agua. Sin embargo, se debe considerar las trazas de compuestos indeseables (óxidos, limo, arcillas) y los efectos que estos aportan a variables como pH, temperatura e intercambio iónico, entre otros, para evitar una excesiva dosificación que genera un efecto contrario al que se pretende desarrollar.

La lista de materiales que pueden ser base o complementen la elaboración de compost es amplia, en esta sección se presentaron las más utilizadas y las que mayores beneficios aportan al proceso, cada una con sus particularidades y características únicas. Los materiales de enmienda y soporte son parte de un factor crucial en la selección de parámetros, con una buena elección de materia orgánica se pueden controlar elementos importantes dentro del compost, sin la necesidad de adicionar equipos o etapas extras que aumenten los costos.

3.3 PROPUESTA DE MEZCLA DE COMPOSTAJE

La selección de los materiales orgánicos que se presentan a continuación, se realizó enfocada en el mejoramiento de las tres variables críticas que presentan desviación en sus parámetros (humedad, pH y ME), que en conjunto con el pH y relación C/N propia de los lodos, otorgan las condiciones de mezcla adecuadas para la iniciación del proceso de compostaje sin alterar o modificar las variables que presentan ajustes en sus parámetros de manera previa.

3.3.1 Revisión bibliográfica de los materiales de carga. Como primera etapa, se llevó a cabo el análisis de los conjuntos de materias orgánicas empleadas en la mejora de las propiedades y características de la mezcla de compostaje, teniendo

en cuenta las mayores ventajas y desventajas de cada uno de estos, como se muestra en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Conjunto de materias orgánicas empleadas en compostaje.

Materia	Mayores ventajas	Mayores desventajas
Maderero	Disponibilidad y precios bajos.	Variabilidad y reacciones secundarias.
Estiércol	Aporte de minerales y nutrientes a la mezcla.	Contaminación cruzada. Reacciones indeseadas con nitrógeno.
Cosechas	Aporte de microorganismos eficientes.	Tamaños de partícula que se deben modificar.
Agregados	Favorecen la aireación.	Tamaño de partícula.

Fuente: elaboración propia

De manera general, los aspectos mencionados en el Cuadro 13 representan las materias orgánicas más empleadas en el compostaje, las cuales permiten mejorar propiedades como la humedad empleando desechos de la industria maderera, nivelar la relación C/N con el uso de estiércoles, aumentar los microorganismos eficientes que realizan los procesos oxidativos por medio de desechos de cosechas y mejorar la porosidad agregando alguno de los tipos de materiales denominados agregados. Sin embargo, los desechos de cosechas son los más empleados para la estabilización de los lodos por su aporte de nutrientes, microorganismos al medio y buen rendimiento, como se evidencian en los estudios que se mencionarán a continuación.

Posteriormente, se realizó una revisión bibliográfica de estudios relacionados con el aprovechamiento de lodos generados por PTAR para la obtención de compost como referencias para la selección de los materiales que presenten mejor comportamiento en el desarrollo de este proceso. Debido a que no hay suficiente información respecto al tratamiento y utilización de biosólidos generados en plantas de tratamientos de empresas cosméticas, fue necesario el uso de referencias que abarcaban, principalmente, PTAR municipales en donde la carga orgánica y microbiológica es semejante a la diagnosticada para el desarrollo del presente proyecto.

La metodología empleada para la búsqueda de información se desarrolló principalmente en dos plataformas, Google Académico y Science Direct, empleado palabras clave de búsqueda como *composting*, *sewage sludge*, *green waste* y *waste management* obteniendo 261 resultados por parte de Google académico y 650 resultados en la plataforma de Science Direct. No se utilizó el filtro de lodos provenientes de empresas cosméticas debido a que no hay información disponible sobre la aplicación de los residuos provenientes de esta industria en específico.

Para limitar los resultados obtenidos en ambas plataformas, se consideraron los valores de las tres variables principales del proceso de compostaje (pH, relación C/N y humedad) orientando la búsqueda a las referencias y artículos que manejaran resultados iniciales de estas tres variables, similares o cercanos a los obtenidos en la sección 2.7 *CARACTERIZACIÓN DE LOS LODOS*. Con base en ello, se resaltan los estudios presentados en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Estudios de aprovechamiento de lodos generados en PTAR para obtener compost.

Autores	Mezcla		Aporte de compuestos de mezcla
	Lodos		
Torres. Et al ¹⁷¹	Lodos	72%	Fuente de nitrógeno
	R. O*	18%	Mejora cualidades químicas y nutricionales
	R. P*	10%	Mejorar propiedades físicas y ME
Buitrago y Garzón ¹⁷²	Lodos	50%	Aporte de nitrógeno
	R. O*	40%	Aporta carbono, ME y evita generar exceso de lixiviados
	R. P*	10%	Mejora propiedades físicas y activador para ME
Rodríguez ¹⁷³	Lodos	50%	Fuente de nitrógeno
	R. O*	38%	Aportan carbono y relación C/N.
	R. P*	12%	Reduce retención de humedad, fuente de ME

¹⁷¹ TORRES, PATRICIA. et. al. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. En: enero/abril, 2007. Vol. 27. Nro. 1. Universidad del Valle, Cali. pp. 271-272.

¹⁷² BUITRAGO AMÓRTEGUI, Daniela y GARZÓN FORERO, Estefanía. 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. [en línea]. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2019. [Consultado en: 5, mayo, 2020]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7716/1/6122882-2019-2-IQ.pdf>

¹⁷³ RODRÍGUEZ MEDINA, Álvaro José. Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio Rochester [en línea]. Proyecto de grado Ingeniería química. Bogotá: Fundación universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2017. [Consultado en: 2, febrero, 2020]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6574/1/6121830-2017-02-IQ.pdf>. pp. 50-51.

Cuadro14. (Continuación).

Ucaroglu y Alkan ¹⁷⁴	Lodos	60%	Fuente de nitrógeno
	R. O*	40%	Mejora las propiedades físicas y acidifica el medio.
Mello, Ivani y Hamilton ¹⁷⁵	Lodos	60%	Fuente de nitrógeno y EM
	R.P.A	40%	Mejora propiedades físicas y químicas
Asses, et al. ¹⁷⁶	Lodos	50%	Fuente de nitrógeno
	R. P*	50%	Aportan carbono y macronutrientes, EM y mejora propiedades físicas
Huayllani ¹⁷⁷	R. P*	12%	Reduce retención de humedad, fuente de ME
	MME*	5 L	Activación de ME

R.O*= Residuos orgánicos; R. P*= Residuos de poda; R.P.A.= residuos de poda de árbol; ME*= Mezcla de microorganismos eficaces

Fuente: elaboración propia.

Los tres primeros estudios presentados en el Cuadro 14 tienen como factor común la estabilización de residuos generados por PTAR, por medio de una mezcla de compostaje conformada mayormente por lodos (superiores al 50%) los cuales proporcionan nitrógeno a la misma, y como aporte de nutrientes, mejoramiento de propiedades físicas y químicas se hace uso de los residuos orgánicos y de poda.

¹⁷⁴ UÇAROĞLU, Selnur y ALKAN, Ufuk. Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents [en línea]. En: Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 66. Nro. 3, 288-295. [Consultado en: 12, agosto, 2020]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10962247.2015.1131205?needAccess=true>

¹⁷⁵ MELLO LEITE MORETTI, Sarah; IVANI BERTONCINI, Edna y HAMILTON ABREU, Cassio. Composting sewage sludge with green waste from tree pruning [en línea]. En: *Scientia Agricola*. 2015, vol. 72, nro. 5, pp. 432-439. ISSN 1678-992X. [Consultado en: 21, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/sa/v72n5/0103-9016-sa-72-5-0432.pdf>

¹⁷⁶ ASSES, Nora. et al. Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or Green residues: Process monitoring and agriculture value of the resulting compost [en línea]. En: *Process Safety and Environment Protection*. 2018, vol. 114, pp. 25-35. ISSN 0957-5820. [Consultado en: 1, agosto, 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582017304093>

¹⁷⁷ HUAYLLANI HILARIO, Kael Omar. Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016. [en línea]. Tesis: Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Continental, 2017. 144 p. [Consultado en: 11, agosto, 2020]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/3823/1/INV_FIN_107_TE_Huayllani_Hilario_2017.pdf

Como primer referente se encuentra el estudio realizado por Torres. et al¹⁷⁸, en el cual se especifica la adición de materiales de carga para el desarrollo del proceso oxidativo de los biosólidos generados por la PTAR Cañaveralejo. Como material de enmienda emplean cachaza de caña debido a la disponibilidad regional y su alto porcentaje de materia orgánica (40%), aportando algunos nutrientes al medio como azúcares simples; carbohidratos considerados indispensables en el proceso biológico oxidativo, especialmente en la etapa inicial donde se requieren de estas moléculas para promover el crecimiento y actividad de los microorganismos que generan el aumento de temperatura de la mezcla.

El proceso de compostaje que se desarrolló en el estudio de la PTAR Cañaveralejo tuvo como punto de partida lodos con 62% de humedad y pH de 7,05 para obtener un compost estable en 100 días, generando un compost con 35% de humedad, pH de 7,4 y el cumplimiento de todos los parámetros exigidos por NCh 2880¹⁷⁹ para el producto. Esta mezcla presentó el pico máximo de 63°C en el día quince y una fase termófila de 70 días, aproximadamente, lo cual indica un proceso de higienización prolongado.

Como segundo estudio, se encuentra el realizado por la Buitrago y Garzón¹⁸⁰, en el cual lograron estabilizar los lodos provenientes de una PTAR que maneja aguas domésticas en la ciudad de Bogotá, empleando residuos orgánicos generados en la misma para ajustar las variables de relación C/N que inicialmente registraba valores de 5,434 y mejorar la porosidad del biosólido.

Los resultados obtenidos por estos autores se dieron en un lapso de 15 días, presentando en el sexto día un pico máximo de temperatura cercano a los 60°C y un punto mínimo de pH cercano al 4,5; partiendo de una mezcla con 70,8% de humedad y pH de 6 para finalmente obtener un compost con las siguientes características: humedad del 53% con lo cual afirman que es necesario un proceso de adaptación que permita disminuir esta variable dentro de los parámetros permitidos (inferior al 15%); relación C/N final de 17,44, pH cercano a 8,5 y ausencia de microorganismos patógenos.¹⁸¹

¹⁷⁸ TORRES, PATRICIA. et. al. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. En: enero/abril, 2007. Vol. 27. Nro. 1. Universidad del Valle, Cali. pp. 271-272.

¹⁷⁹ INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN. Norma Chilena NCh 2880/2004. Compost Clasificación y requisitos. [en línea]. Temuco: Servicio agrícola y ganadero. Departamento de protección de recursos naturales. Proyecto de Agricultura Orgánico, 2004. [Consultado en: 11, agosto, 2020]. Disponible en: <https://vdocuments.site/nch-2880.html>

¹⁸⁰ BUITRAGO AMÓRTEGUI, Daniela y GARZÓN FORERO, Estefanía. 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. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América, 2019.

¹⁸¹ *Ibíd.* pp. 58-68.

El tercer estudio se centra en la mezcla de residuos orgánicos y residuos de poda presentado por Rodríguez¹⁸², en el cual se emplearon los lodos generados por la PTAR de un colegio en la ciudad de Bogotá, los cuales se obtienen por medio de un tratamiento biológico.

Para la estabilización de estos lodos se tuvo como punto de inicio condiciones de humedad del 79,81%, pH de 5,7, ausencia de microorganismos como E. coli y relación C/N de 5,4. Partiendo de la caracterización de estos biosólidos el autor emplea materiales de carga provenientes de otras áreas del colegio como los residuos orgánicos generados por el casino y residuos de poda de césped generados en el mantenimiento de las zonas verdes de la institución para ajustar las variables de inicio del proceso de compostaje, teniendo una mezcla con 72,326% de humedad, relación C/N de 17,81 y pH de 5,5.¹⁸³

La obtención del producto estable para este último autor se da a los 20 días presentando una disminución de materia del 84,5% con humedad del 69,3%, relación C/N de 7,79 y ajuste de los parámetros microbiológicos exigidos en la NTC 5167. Esta mezcla planteada en el mencionado estudio presentó un pico de temperatura de 62°C al quinto día, generando una fase termófila de seis días.¹⁸⁴

Como otro referente que se tuvo en cuenta en la revisión bibliográfica, se encuentra el estudio realizado por Uçaroğlu y Alkan¹⁸⁵, que tuvo como objetivo evaluar el efecto de agentes de carga en lodos de industria alimentaria para generación de compost a través de un sistema aerobio.

El proceso de compostaje que se obtuvo en el estudio anteriormente mencionado tomó 21 días, partiendo de lodos con relación C/N de 7,1, pH de 8,45 y humedad del 84,4%, sin embargo, con la adición de la materia orgánica (maíz) de los ensayos se pudo obtener una mezcla con 50,8% de humedad, relación C/N de 35,7:1 y pH de 6,83, lo cual permitió el ajuste de las variables a los parámetros descritos en la literatura.¹⁸⁶

Por lo tanto, la mezcla planteada por Uçaroğlu y Alkan¹⁸⁷, presentó la fase termófila durante ocho días con temperatura máxima de 64 °C, lo que garantiza una fase de higienización durante el proceso. En relación al comportamiento del pH, el medio

¹⁸² RODRÍGUEZ MEDINA, Álvaro José. Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio Rochester. Proyecto de grado Ingeniería química. Bogotá: Fundación universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2017

¹⁸³ *Ibíd.* pp. 52-58

¹⁸⁴ *Ibíd.* pp. 52-58

¹⁸⁵ UÇAROĞLU, Selnur y ALKAN, Ufuk. Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents [en línea]. En: Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 66. Nro. 3, 288-295.

¹⁸⁶ *Ibíd.* p. 291.

¹⁸⁷ UÇAROĞLU, Selnur y ALKAN, Ufuk. Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents [en línea]. En: Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 66. Nro. 3, 288-295.

no sufrió cambios notorios comparando los valores iniciales y finales con valores de 6,83 y 6,5, respectivamente; condición que se debe a la naturaleza ácida y capacidad de actuar como solución buffer que posee la materia orgánica empleada, para finalmente obtener un compost con una estabilidad microbiológica cercana a los 3,5 mS/cm¹⁸⁸

Por otro lado, Mello, *et al*¹⁸⁹ realizaron una investigación en la que buscaban evaluar la eficiencia del proceso de compostaje al mejorar las características fisicoquímicas y microbiológicas de biosólidos tratados aerobia y anaeróticamente. Utilizaron lodos residuales provenientes la PTAR de la ciudad de Francia y residuos de poda de árboles obtenidos de la estación de recolección de desechos de la ciudad, para la conformación mezclas de compostaje las cuales iniciaron con una relación C/N de 30:1, el proceso se llevó a cabo en 140 días.

Para el desarrollo experimental se utilizaron dos pilas de compost en las que se intercalaron las capas que contenían biosólidos y residuos de poda, hasta obtener un peso de 15 Ton. Los lodos se caracterizaron por poseer humedad del 70%, pH inicial de 7,8, relación C/N de 4:1, contando con la presencia de microorganismos patógenos como *E. coli* (1,00 E(+7)) y coliformes fecales (1 E(+6)). En los ensayos realizados se observó que las temperaturas superaron los 45°C a los 15 días de iniciarse, logrando mantener un promedio de 55°C durante 65 días, asegurando la higienización y eliminación de microorganismos patógenos.

Durante el proceso se observó un rápido descenso de pH, hasta estabilizarse al valor de 6,5, debido a la liberación de ácidos orgánicos y húmicos producto de la degradación de nutrientes; asimismo se distinguió un aumento de la materia orgánica y contenido de carbono al finalizar el proceso, generado por la reducción de masa del proceso. Finalmente, los residuos de poda de árboles permitieron minimizar la producción de lixiviados, lo que facilitó la mejora en el balance final de nutrientes generando un compost estable y maduro de alta calidad, con una relación C/N final de 12:1.

Como último referente de mezclas de compostaje con residuos orgánicos y de cosechas, Asses, *et al*¹⁹⁰ examinó la viabilidad del uso de desechos provenientes del proceso extractivo del aceite de oliva contrastando las mejoras y evolución que este agente generaba en el desarrollo del compostaje, como los beneficios observados por la adición de residuos de poda. Para la elaboración del compost se emplearon lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento local en la ciudad de Chatrana (Pakistán), los cuales se estabilizaron mediante la adición

¹⁸⁸ *Ibid.* p. 292

¹⁸⁹ MELLO LEITE MORETTI, Sarah; IVANI BERTONCINI, Edna y HAMILTON ABREU, Cassio. Composting sewage sludge with green waste from tree pruning [en línea]. *En: Scientia Agricola*. 2015, vol. 72, nro. 5, pp. 432-439. ISSN 1678-992X

¹⁹⁰ ASSES, Nora. et al. Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or Green residues: Process monitoring and agriculture value of the resulting compost [en línea]. *En: Process Safety and Environment Protection*. 2018, vol. 114, pp. 25-35. ISSN 0957-5820.

de residuos de poda municipales y la mezcla de residuos generados en una fábrica de aceite de oliva en la ciudad de Kelibia. La duración del proceso de compostaje se mantuvo en 60 días para todos los tratamientos ensayados.

La investigación se enfocó en comparar las mejoras y beneficios que generaba la adición de materiales de carga a la pila final, para ello, se realizaron 2 ensayos en dónde la primera mezcla se compuso por 50% de biosólidos y 50% de residuos de producción de aceite de oliva, para la pila numero dos se mantuvo la proporción, cambiando el material de carga por residuos de poda. Los lodos empleados en este estudio se caracterizaron por una relación C/N de 9,42:1, una humedad de 58%, un pH de 7 unidades y la presencia de microorganismos mesófilos (1 E(+10) UFC/g)¹⁹¹; los residuos de la extracción de aceite de oliva contaban con una relación C/N de 68,34:1, un pH alrededor de 7,1 unidades, una humedad de 51,1% y no cuenta con presencia de microorganismos; finalmente los residuos de poda se caracterizaron por poseer un pH de 7,1 unidades, una relación C/N de 70,51:1, una humedad de 60% y la presencia de microorganismos efectivos.

Durante la experimentación se evidenció que la pila en donde se utilizaron residuos del proceso de aceite de oliva se alcanzaron picos de temperatura de 62°C a los 10 días de inicio, logrando prolongar la etapa termófila (T>50°C) por alrededor 11 días, garantizando la adecuada higienización de la mezcla; en contraste, la pila de residuos de poda alcanzó un máximo de 56°C a los 20 días del inicio del proceso, manteniendo etapas superiores a 50°C por 7 días, este comportamiento se debe a la presencia de lignocelulosa, ya que al ser una molécula compleja de degradar frenó levemente la actividad microbiológica en esta fase. Al finalizar el proceso, se obtuvieron excelentes resultados por parte de ambos tratamientos, considerando una mayor degradación de compuestos orgánicos en el primer tratamiento (40%) en comparación al segundo (30%) confirmando que la adición de poda en grandes proporciones reduce la actividad microbiológica, por tanto, las reacciones de oxidación de moléculas complejas no pueden completarse.

Como último referente de mezclas de compostaje con residuos orgánicos y residuos de poda se encuentra el presentado por Rodríguez¹⁹², en el cual se emplearon los lodos generados por la PTAR de un colegio en la ciudad de Bogotá, los cuales se obtienen por medio de un tratamiento biológico.

Para la estabilización de estos lodos se tuvo como punto de inicio condiciones de humedad del 79,81%, pH de 5,7, ausencia de microorganismos como E. coli y relación C/N de 5,4. Partiendo de la caracterización de estos biosólidos el autor emplea materiales de carga provenientes de otras áreas del colegio como los residuos orgánicos generados por el casino y residuos de poda de césped

¹⁹¹ *Ibíd.*, p 12.

¹⁹² RODRÍGUEZ MEDINA, Álvaro José. Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio Rochester. Proyecto de grado Ingeniería química. Bogotá: Fundación universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2017

generados en el mantenimiento de las zonas verdes de la institución para ajustar las variables de inicio del proceso de compostaje, teniendo una mezcla con 72,326% de humedad, relación C/N de 17,81 y pH de 5,5.¹⁹³

La obtención del producto estable para este último autor se da a los 20 días presentando una disminución de materia del 84,5% con humedad del 69,3%, relación C/N de 7,79 y ajuste de los parámetros microbiológicos exigidos en la NTC 5167. Esta mezcla planteada en el mencionado estudio presentó un pico de temperatura de 62°C al quinto día, generando una fase termófila de seis días.¹⁹⁴

De manera general, en estos estudios se emplearon residuos de poda de césped fresco con el objetivo de mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de la mezcla por medio de aportes de nitrógeno que permiten nivelar la relación C/N, reducir la retención de humedad, aportar oligoelementos para el crecimiento de los microorganismos y disminuir la cantidad de lixiviados que se puedan generar a lo largo del proceso.

Por último, en el Cuadro 14 se hace referencia a un estudio realizado por Huayllani¹⁹⁵ que identifica la influencia de microorganismos eficaces en la producción de compost partiendo de los lodos generados por una PTAR. La metodología empleada por el autor se enfoca en la activación de microorganismos eficaces utilizando melaza como suministro de nutrientes para estos microorganismos y agua como medio de crecimiento para los mismos.¹⁹⁶

Para la estabilización de 20 kg de lodos con un pH de 6,21 y relación C/N de 11,44 se emplearon cinco litros de microorganismos eficaces al 4% previamente activado, los cuales se distribuyeron de la siguiente manera: dos litros en la conformación de la pila inicial y los tres restantes se dispersaron en cada uno de los tres volteos realizados. El objetivo de emplear esta medio de cultivo sobre los lodos es inocular los microorganismos favorables para el desarrollo del proceso oxidativo como bacterias fotosintéticas, bacterias ácido-lácticas y levaduras, los cuales aceleran la descomposición natural de la materia orgánica y promueven la fermentación.¹⁹⁷

Para la obtención del producto final obtenido por Huayllani¹⁹⁸, se realizó el seguimiento de las pilas durante 50 días presentado su temperatura máxima de 54,9°C en el día once. Sin embargo, al día 34 la temperatura se estabilizó para dar

¹⁹³ *Ibíd.* pp. 52-58

¹⁹⁴ *Ibíd.* pp. 52-58

¹⁹⁵ HUAYLLANI HILARIO, Kael Omar. Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016. [en línea]. Tesis: Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Continental, 2017.

¹⁹⁶ *Ibíd.* 58-62.

¹⁹⁷ BIOEM. Tecnología EM®. ¿Qué es la tecnología EM®? [sitio web]. Pueblo libre, Perú: BIOEM. [Consultado en: 12, agosto, 2020]. Disponible en: <http://bioem.com.pe/tecnologiaem.html>

¹⁹⁸ HUAYLLANI HILARIO, Op. cit. 58-62

un compost con las siguientes características: humedad del 36%, pH de 8 y un rendimiento final en peso del 71,18 %.

Por medio de la consulta de las fuentes mencionadas anteriormente, se pudo determinar que el desarrollo del proceso de compostaje de lodos generados por PTAR con humedades superiores al 65% y pH ácidos, como los generados en la empresa de *Laboratorios Esko Ltda*, requieren de dos componentes adicionales tales como residuos de cosecha como aporte de nutrientes al medio y residuos de poda como elemento que permite mejorar las condiciones del sistema (evitar la generación de lixiviados). Sin embargo, existe otro componente que se sugiere agregar a la masa total para acelerar el proceso que corresponde a la mezcla de ME activados, como fuente de microorganismos especializados capaces de degradar la materia orgánica presente en la mezcla.

3.3.2 Porcentajes de la mezcla de la propuesta de compost. Para establecer las cantidades que se requieren en el proceso de compostaje es necesario tener en cuenta las restricciones que presenta la empresa: espacio disponible para el desarrollo de esta propuesta (0,483 m²) y la cantidad de lodos generados semanalmente (3,5 kg filtro prensados).

Con relación a la disponibilidad de espacio asignado por la empresa para el desarrollo de este proyecto, se empleará una compostera de flujo horizontal agitado descrita en la sección 4.3.2.1 *Contendor*, de la cual solo se empleará el 67%¹⁹⁹ de su volumen máximo, equivalente a 20,7 litros, valor que permite realizar los volteos y la aireación adecuados.

Posteriormente, fue necesario tener en cuenta la restricción relacionada con la cantidad de lodos generados por la PTAR de la compañía. Con base a las cifras manejadas en años anteriores el promedio de estos residuos sólidos generados en esta área de *Laboratorios Esko Ltda*. es de 3,5 kg/semana.

Debido al exceso de humedad que presentan es necesario someter estos biosólidos a la etapa descrita en la sección 4.2.2.2 *Adaptación de lodos por sistema de secado*, basados en las recomendaciones de algunos autores como Buitrago y Garzón²⁰⁰, que aclaran la importancia de disminuir la humedad en los lodos y mejorar su porosidad, permitiendo el intercambio de elementos importantes para el sistema como el flujo de oxígeno.

Basado en los tiempos requeridos por los autores mencionados en el Cuadro 14 se estima que el desarrollo del proceso tarde 30 días, aproximadamente; lo cual permite establecer la cantidad de biosólidos a estabilizar correspondientes a 7,5 kg/batch, ya que la reducción en peso de los lodos posterior al proceso de

¹⁹⁹ BUITRAGO AMÓRTEGUI, Daniela y GARZÓN FORERO, Estefanía. 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. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América, 2019. p. 55

²⁰⁰ *Ibíd.* p. 55.

adaptación es del 53%. Esta cantidad de lodos establecida permitirá procesar la cantidad total de lodos generados al mes por la PTAR de la compañía.

En razón a lo anterior, se realizaron los cálculos pertinentes para determinar la cantidad inicial de mezcla, partiendo del supuesto que el total de esta serán lodos de la PTAR previamente adaptados a través del sistema de secado, ya que los biosólidos son el componente con la mayor densidad aparente de la mezcla (579,7 kg/m³), esto con el fin de simplificar los cálculos presentados en la Ecuación 5.

Ecuación 5. Cálculo de la masa total de la mezcla

$$m = V * \rho$$

Fuente: ALSINA, Daniel, et. al. Química conceptos fundamentales. [en línea]. Universidad Nacional del Litoral. Santa fe, Argentina, 2015. 9 p. ISBN: 978-987-657-947-6 [Consultado en: 22, agosto, 2020] Disponible en: http://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/quimica/wp-content/uploads/sites/4/2016/09/quimica_20140911_07_anexo.pdf

Donde:

m = masa total de la mezcla (kg)

V = volumen aprovechable de la compostera (m³)

ρ = densidad aparente de lodos (kg/ m³)

En concordancia con la Ecuación 5 se pudo determinar la masa total de la mezcla correspondiente a 12 kg, que permite establecer la condición inicial de M_f que delimita el sistema empleando el balance de materia descrito en la Ecuación 6, con el objetivo de ajustar la relación C/N de la mezcla y por ende, la masa de los componentes restantes empleados en esta propuesta de compostaje (residuos de poda y residuos de cosecha).

Ecuación 6. Balance de materia compostera.

$$M_L \times \left(\frac{C}{N}\right)_L + M_C \times \left(\frac{C}{N}\right)_C + M_R \times \left(\frac{C}{N}\right)_R = M_F \times \left(\frac{C}{N}\right)_F$$

Fuente: CESPEDES SÁNCHEZ, Sharon Stefany y JIMENEZ FARIETA, María Camila. Desarrollo de un proceso de compostaje para el aprovechamiento de lodos resultantes de la planta de tratamientos de agua potable Francisco Wiesner EAAB-ESP [en línea]. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programas de Ingeniería Química, 2018. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6852/1/6132192-2018-2IQ.pdf>.

Donde:

M_L : Masa agregada de biosólido (kg)
 M_C : Masa agregada de residuos de poda (kg)
 M_R : Masa agregada de residuos orgánicos (kg)
 M_F : Mezcla final (kg)
 $(C/N)_L$: Relación carbono nitrógeno biosólidos.
 $(C/N)_C$: Relación carbono nitrógeno residuos de poda.
 $(C/N)_R$: Relación carbono nitrógeno residuos de cosecha.
 $(C/N)_F$: Relación carbono nitrógeno mezcla final.

Por medio del balance de materia de la compostera (Ecuación 6) fue necesario conocer la relación C/N de cada uno de los componentes de la mezcla; para esto, se pudo establecer que el valor de esta variable para los lodos es de 32,76:1 debido a la caracterización realizada y basados en los datos registrado en la literatura los residuos de poda y cosecha manejan los valores de 44:1²⁰¹ y 31,3:1²⁰², , respectivamente , fijando así 35:1 para la mezcla final de acuerdo al límite permitido para el inicio del compostaje.

Considerando lo anterior, la expresión final tendrá dos incógnitas, las cuales corresponden al peso de los residuos de poda y orgánicos que permiten ajustar la relación C/N de la mezcla como se muestra en la Ecuación 7.

Ecuación 7. Balance global de materia

$$M_L + M_C + M_R = M_F$$

Fuente: elaboración propia.

A partir de la Ecuación 7, se puede despejar una de las dos incógnitas en función de los valores conocidos, dando como resultado la Ecuación 8.

Ecuación 8. Balance de materia para residuo de poda

$$M_C = M_F - M_L - M_R$$

Fuente: elaboración propia.

²⁰¹ CESPEDES SÁNCHEZ, Sharon Stefany y JIMENEZ FARIETA, María Camila. Desarrollo de un proceso de compostaje para el aprovechamiento de lodos resultantes de la planta de tratamientos de agua potable Francisco Wiesner EAAB-ESP [en línea]. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programas de Ingeniería Química, 2018. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6852/1/6132192-2018-2IQ.pdf>. p. 51

²⁰² BUITRAGO AMÓRTEGUI, Daniela y GARZÓN FORERO, Estefanía. 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. [en línea]. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2019. [Consultado en: 5, mayo, 2020]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7716/1/6122882-2019-2-IQ.pdf>. p. 42

Reemplazando en la Ecuación 6, se obtendrá la expresión correspondiente a la Ecuación 9, la cual en conjunto con el balance global permite determinar la cantidad residuos orgánicos y de poda necesarios para obtener una mezcla de compostaje con 35:1 de relación C/N, para finalmente obtener los porcentajes de mezcla mencionados en la Tabla 7.

Ecuación 9. Balance de materia en función de las relaciones de C/N

$$M_L \times (C/N)_L + (M_F - M_L - M_R) \times (C/N)_C + M_R \times (C/N)_R = M_F \times (C/N)_F$$

Fuente: elaboración propia.

$$M_R = \frac{M_F \times ((C/N)_C - (C/N)_F) - M_L \times ((C/N)_C - (C/N)_L)}{(C/N)_C - (C/N)_R}$$

$$M_R = \frac{12 \text{ kg} \times (44 - 35) - 7,5 \text{ kg} \times (44 - 32,76)}{44 - 31,3} = 1,86 \text{ kg}$$

$$M_C = 12 \text{ kg} - 7,5 \text{ kg} - 1,86 \text{ kg} = 2,64 \text{ kg}$$

Tabla 7. Composiciones de propuesta de mezcla de compostaje

Componente	Peso (kg)	Porcentaje (%)
Lodos	7,5	62,5 %
Residuos de cosecha	1,86	15,5 %
Residuos de poda	2,64	22 %
TOTAL	12	100 %

Fuente: elaboración propia.

La propuesta de mezcla de compostaje estará conformada por 12 kg de los cuales 7,5 kg serán lodos, 2,64 kg residuos de poda y 1,86 kg residuos de cosechas. No obstante, los lodos que provienen del lavado de equipos de las líneas centrales de producción de la empresa son obtenidos a través de tratamientos fisicoquímicos, lo cual no agrega ninguna carga microbiológica activa a esta masa como sucede con los lodos denominados lodos activos; razón por la cual, se propone la adición de microorganismos eficaces a la mezcla total de componentes descrita anteriormente, como lo plantea Huayllani.²⁰³

En Colombia, existe un proveedor autorizado por el ICA para la comercialización de microorganismos eficaces requeridos en el compost, por lo tanto, basado en las recomendaciones de uso que hace esta entidad sugiere agregar 5 litros por

²⁰³ HUAYLLANI HILARIO, Kael Omar. Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016. Tesis: Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Continental, 2017.

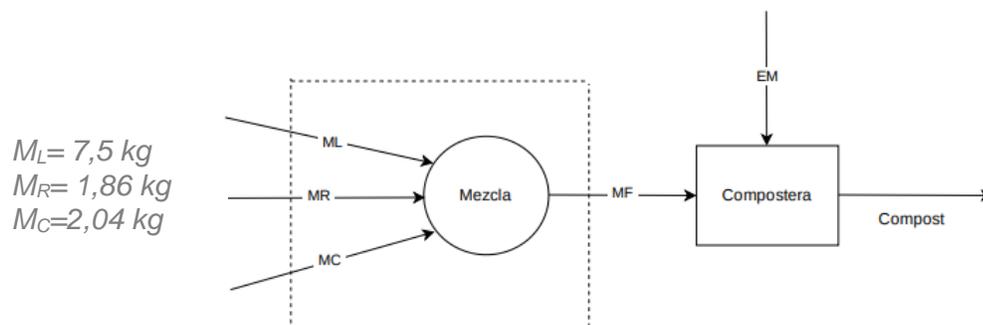
tonelada de compost, repartidos en dos litros iniciales y el volumen restante según los requerimientos del medio. Por lo cual, con la capacidad de la compostera que se diseñó y los 12 kg de residuos que se depositan en esta, se requiere de 24 ml de microorganismos en la aplicación inicial al momento de conformar la mezcla. Este volumen solo se diluye en de agua (216 ml), evitando el uso de melaza de caña ya que el proveedor comercializa estas bacterias y levaduras activas en las cantidades que la empresa lo requiere (menores a 250 litros) disminuyendo los costos y tiempos del proceso.²⁰⁴

Los volúmenes restantes de microorganismos que sugiere el proveedor, es decir, 36 ml de ME para las cantidades manejadas, se deben aplicar según las necesidades del medio al momento de realizar el volteo. Estos requerimientos se pueden identificar como el estancamiento o un leve aumento de la temperatura en las fases iniciales, ya que esta variable es el indicador de la actividad microbiológica.

Por tal motivo, en el Diagrama 8 se representan las corrientes másicas de los componentes adicionales que se agregan a la mezcla como materia orgánica para llevar a cabo el compostaje de lodos, cumpliendo con los requerimientos importantes para el desarrollo de esta propuesta: aporte nutricional a la mezcla y evitar la contaminación cruzada en el transporte de estos materiales a la planta respaldados en estudios previos para realizar la formulación de como mezcla de compostaje.

²⁰⁴ FUNDASES. Resoluciones [sitio web]. Bogotá: FUNDASES, 2020. [Consultado en: 12, agosto, 2020]. Disponible en: https://1325694d-4429-5f85-a382-5ad81bf1a0b3.filesusr.com/ugd/133dba_358f841ddc644d68a39a0574de8c7667.pdf

Diagrama 8. Corrientes mezcla de compostaje



Fuente.: elaboración propia.

Basados en los resultados obtenidos a partir de la revisión bibliográfica, se realiza una comparación entre los valores iniciales de los biosólidos empleados para el desarrollo del proceso de compost y los resultados finales de variables importantes como pH, humedad y relación C/N, como se observa en el cuadro 15.

Cuadro 15. Comparación valores iniciales y finales de parámetros importantes en los biosólidos empleados y compost resultante.

Autores	Concepto	Lodos	Compost
Torres. Et al ²⁰⁵	Humedad	67,9%	35%
	pH	6,7 unid.	7,4 unid.
	Relación C/N	6,8	7,1
Buitrago y Garzón ²⁰⁶	Humedad	75,9%	51%
	pH	6,34 unid.	8,5 unid
	Relación C/N	5,434	17,44

Cuadro 15. (Continuación)

²⁰⁵ TORRES, PATRICIA. et. al. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. En: enero/abril, 2007. Vol. 27. Nro. 1. Universidad del Valle, Cali. pp. 271-272.

²⁰⁶ BUITRAGO AMÓRTEGUI, Daniela y GARZÓN FORERO, Estefanía. 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. [en línea]. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2019

Rodríguez ²⁰⁷	Humedad	79,81%	69,44%
	pH	5,7 unid.	8,5 unid.
	Relación C/N	5,4	8,63
Ucaroglu y Alkan ²⁰⁸	Humedad	84,4%	50,4%
	pH	8,45 unid.	6,5 unid.
	Relación C/N	7,1	23
Mello, Ivani y Hamilton ²⁰⁹	Humedad	70%	58%
	pH	7,8 unid.	6,5 unid.
	Relación C/N	4	10,6
Asses, et al. ²¹⁰	Humedad	58%	55%
	pH	7 unid.	9,8 unid.
	Relación C/N	9,42	24,79
Huayllani ²¹¹	Humedad	45%	34%
	pH	6,21 unid.	8,2 unid.
	Relación C/N	11,44	10,55

Fuente: elaboración propia.

La finalidad de esta comparación es resaltar los aspectos similares en cuanto a características de los lodos, de esta forma permite la aproximación de los valores que se obtendrán al final del compostaje, estimando un pH promedio de 8

²⁰⁷ RODRÍGUEZ MEDINA, Álvaro José. Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio Rochester [en línea]. Proyecto de grado Ingeniería química. Bogotá: Fundación universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2017. pp. 50-51.

²⁰⁸ UÇAROĞLU, Selnur y ALKAN, Ufuk. Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents [en línea]. En: Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 66. Nro. 3, 288-295

²⁰⁹ MELLO LEITE MORETTI, Sarah; IVANI BERTONCINI, Edna y HAMILTON ABREU, Cassio. Composting sewage sludge with green waste from tree pruning [en línea]. En: *Scientia Agricola*. 2015, vol. 72, nro. 5, pp. 432-439. ISSN 1678-992X.

²¹⁰ ASSES, Nora. et al. Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mil wastes or Green residues: Process monitoring and agriculture value of the resulting compost [en línea]. En: *Process Safety and Environment Protection*. 2018, vol. 114, pp. 25-35. ISSN 0957-5820.

²¹¹ HUAYLLANI HILARIO, Kael Omar. Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016. [en línea]. Tesis: Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Continental, 2017. 144 p.

unidades, una relación C/N en los rangos de 14,6 a 25 y una humedad en promedio de 50,4%.

Finalmente, debido a que el objetivo del compost aparte de estabilizar los residuos orgánicos permite disminuir el volumen de la mezcla, se deben medir variables y realizar volteos continuos a lo largo del proceso como se describe en la guía de operación de compostaje Anexo A.

3.3.3 Origen de los componentes de mezcla. Una vez definidas las cantidades necesarias para empezar el proceso de compostaje, se procede a determinar las fuentes de los componentes adicionales a los lodos, para la cual se identificaron las siguientes:

- ❖ **Residuos de cosecha:** para la obtención de este tipo de materia orgánica la empresa maneja la elaboración de extractos naturales en distintos productos de las líneas la fabricación, los cuales generan algunos residuos que pueden ser usados en el proceso de compostaje como las tortas de extractos LS (liposolubles), permitiendo el aprovechamiento de estas, debido al solvente que se emplea (aceite de girasol).

Los principales extractos LS que produce la empresa son los de aguacate, caléndula, romero, centella asiática y camelia, los cuales representan materia orgánica importante para incluir en la mezcla de compostaje en el componente residuos de cosecha. Sin embargo, en el proceso de otro tipo de extractos se producen desechos orgánicos de cáscaras de frutas como papaya, banano, mango, aloe vera, entre otros, que aportan nitrógeno a la masa que se desee estabilizar por medio del proceso biológico oxidativo exotérmico.

- ❖ **Residuos de poda:** la empresa se encargará de adquirir este material a través de sus colaboradores, es decir, que este tipo de residuos orgánicos los podrá suministrar la gerente o trabajadores que posean en sus casas alguna extensión de césped.
- ❖ **Microorganismos eficaces:** la mezcla de microorganismos eficaces se pueden adquirir en distribuidores autorizados de tecnología de microorganismos eficientes (EM), dentro de los cuales se puede destacar FUNDASES, entidad autorizada y certificada por el ICA para la comercialización de mezcla de microorganismos eficientes para compostaje (*Lactobacillus casei*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhizopus pseudomonas palustris*, bacterias nitrificantes, entre otras).²¹²

Considerando las aplicaciones futuras del producto estable, en el Anexo B se describen las normatividades que limitan la presencia ciertos compuestos

²¹² FUNDASES. Resoluciones [sitio web]. Bogotá: FUNDASES, 2020. [Consultado en: 12, agosto, 2020]. Disponible en: https://1325694d-4429-5f85-a382-5ad81bf1a0b3.filesusr.com/ugd/133dba_358f841ddc644d68a39a0574de8c7667.pdf

perjudiciales para el saneamiento de suelos y potencializador de cultivos, además de incluir algunas de las especies vegetales a las que se recomienda el uso del compost a base de lodos de aluminio.

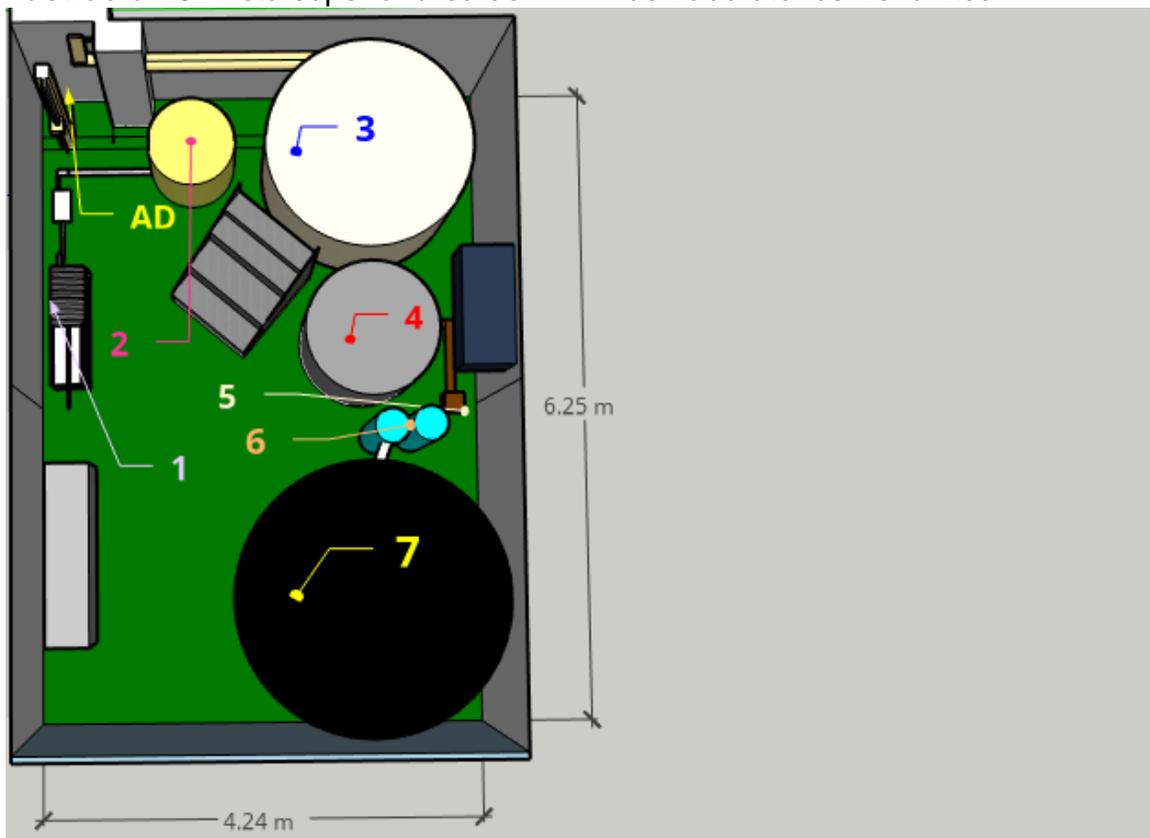
4. CONDICIONES TÉCNICAS DEL SISTEMA DE COMPOSTAJE

En el presente capítulo se abordarán las condiciones de operación de los sistemas asociados a la propuesta planteada para la obtención de compost (sistema de secado y compostera), teniendo en cuenta las particularidades presentadas en las instalaciones de la empresa como son: el lugar asignado y el volumen de lodos generados al final de la operación de la PTAR. Adicionalmente, se planteará un manual de operación de los mismos, consignado en la sección de Anexos debido a las especificaciones manejadas en el sistema de adaptación, para que esta propuesta sea puesta en marcha por parte de la compañía.

4.1 PARTICULARIDADES DE LA PTAR PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DE OBTENCIÓN DE COMPOST

El área total de la PTAR de *Laboratorios Esko Ltda.* es de 26,5 m², los cuales se encuentran en un espacio cerrado, integrada por las unidades de operación, descritas en la Ilustración 3.

Ilustración 3. Vista superior área de PTAR de Laboratorios Esko Ltda.

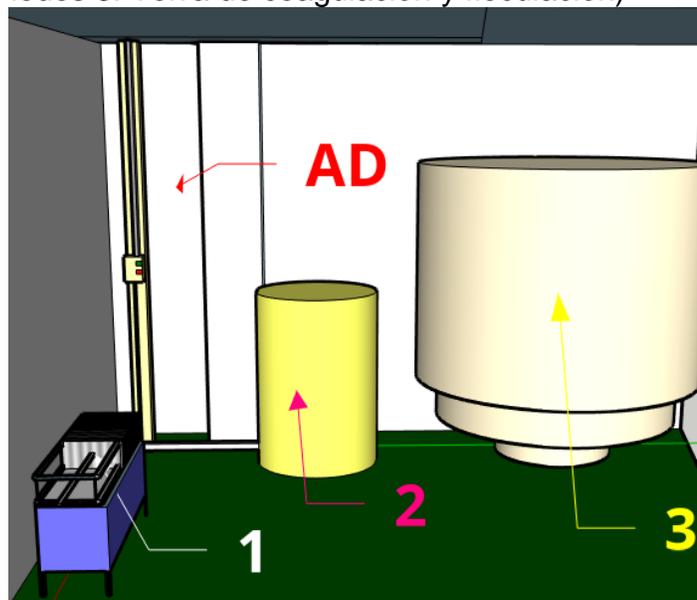


Fuente: elaboración propia.

Los equipos representados en la vista superior de la PTAR requeridos para el tratamiento primario de aguas residuales provenientes del lavado de equipos de las líneas principales de producción, poseen las siguientes dimensiones: un filtro prensa de 1,2 metros de longitud y contenedores cilíndricos con diámetros de 1,1 m para el tanque de lodos, 1,5 m para la tolva de coagulación y floculación, 1 m para el tanque de homogenización, 0,5 m para los filtros de arena y carbón y 1,7 m para el tanque de almacenamiento de lodos.

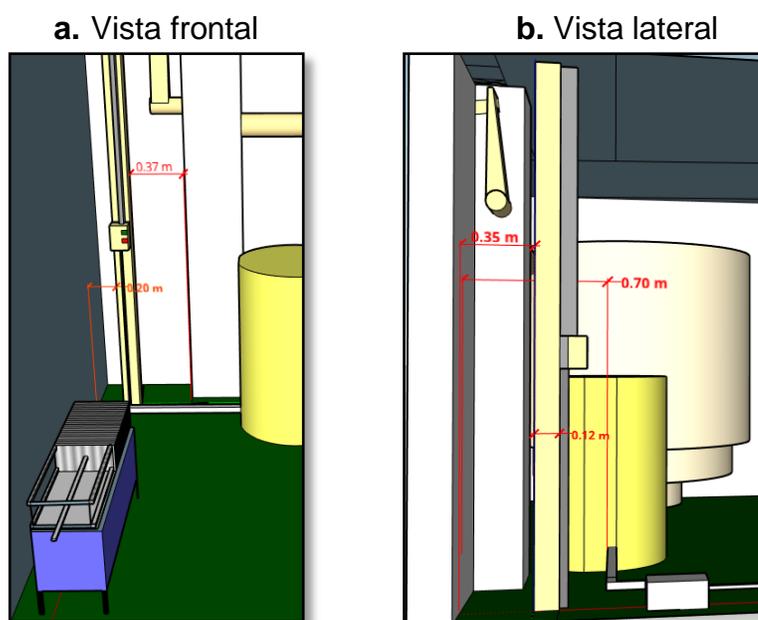
Sin embargo, la empresa destinó dentro de la PTAR un área total de 0,483 m² para el sistema de compostaje, observado en la Ilustración 4 y 5, como esquemas simplificados de la distribución de los equipos adyacentes y dimensiones de este espacio, respectivamente.

Ilustración 4. Distribución y espacio disponible para el sistema de compostaje
(AD: Área disponible. 1. Filtro prensa. 2. Tanque de lodos 3. Tolva de coagulación y floculación)



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 5. Dimensiones área disponible para el sistema de compostaje



Fuente: elaboración propia.

Este espacio asignado por la compañía posee 0,7 m de profundidad y 0,69 m de ancho total. Para esta última dimensión, existe una columna a 0,2 m del límite izquierdo la cual será aprovechado como eje de apoyo para el montaje de los soportes empleados en los diversos sistemas requeridos en la propuesta (sistema de adaptación, compostera y almacenamiento de lodos).

Por otro lado, esta empresa no presenta volúmenes regulares en la generación de lodos, debido a que su producción depende de los requerimiento de fabricación que realicen sus clientes habituales y ocasionales, que según datos manejados en el año 2019, las cantidades promedio de estos residuos no superan los 15 kg/mes.

Adicionalmente, otra particularidad que se debe tener en cuenta para la implementación del proceso de compostaje en el funcionamiento habitual de la PTAR, es el Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo (SGSST) que estipula el peso máximo que pueda cargar una persona (20 kg) y la altura máxima permitida para realizar labores o desplazamientos sin tener curso de alturas (1,50 metros de altura). Es por esto, que los diseños propuestos en este proyecto trabajan por debajo de estos valores establecidos (12 kg como máximo referentes a la mezcla de compostaje) dando cumplimiento a lo presentado en este manual.

4.2 FASE DE ADAPTACIÓN DE LODOS

Partiendo de la caracterización realizada a los lodos generados por la PTAR, la variable que presentó más desviación, con relación a los valores registrados en la literatura, es la humedad (80,26%), la cual está veinte puntos porcentuales por encima del límite superior (60%). Para la realización de esta fase se requirió una etapa de diseño descrita a continuación:

4.2.1 Etapa de diseño. El diseño del sistema que permita retirar la humedad de lodos debe cumplir con las siguientes características:

- ❖ Adaptación al espacio disponible.
- ❖ Permitir un filtrado de agua.
- ❖ Maniobrabilidad acorde al SGSST.
- ❖ Permitir el control de las pérdidas de humedad.

Para cumplir con estos requerimientos se emplearon los componentes mencionados a continuación, en conjunto, permiten el control de vectores (malos olores y lixiviados) y la manipulación de las cantidades de lodos producidas semanalmente, logrando obtener lodos aptos para la iniciación del proceso de compostaje.

4.2.1.1 Descripción partes del diseño.

- **Barril.** El recipiente en el cual se basó el diseño fue un barril plástico de 30 litros de capacidad con ajuste metálico que permite asegurar la tapa, ya que este contenedor se utilizará de forma horizontal (Ilustración 6). Las dimensiones de este barril son 29 cm de diámetro (en el centro del mismo que equivale al diámetro máximo) y 50 cm de alto, con base en esto y a la adaptabilidad de este contenedor al espacio disponible para la implementación del sistema de compostaje, se encontró apropiado su uso, cumpliendo con la primera característica de diseño.

Ilustración 6. Barril de 30 litros



Fuente: AMAZON [sitio web]. Amazon [Consultado en: 15, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.amazon.es/pl%C3%A1stico-almacenaje-sujeci%C3%B3n-alimentaria-aprobado/dp/B01AK9QHLQ>

Por otra parte, se seleccionó este tipo de barril como contenedor para el sistema de adaptación de los lodos ya que estos recipientes representan uno de los desechos generados por la empresa, por lo tanto, son reutilizados para la implementación del sistema propuesto en este capítulo.

- **Bandeja.** El segundo elemento que hace parte del diseño del sistema de ventilación es una bandeja de lámina cold rolled galvanizada calibre 20, el cual se caracteriza por ser un material liviano y resistente a la corrosión debido al recubrimiento electroquímico que posee.

Esta bandeja posee unas dimensiones de 9cm x 46cm x 19cm que equivale a un volumen total de 7 866 cm³. Sin embargo, solo será aprovechable hasta el 80% de esta unidad (6 292,8 cm³), para cumplir con las medidas de seguridad relacionados con el sobredimensionamiento de volumen,²¹³ evitando desperdicios que puedan quedar en el fondo del barril, es decir, que la capacidad máxima de la bandeja es de 6,5 kg de lodos, aproximadamente.

Este componente posee una particularidad que es su base hueca, tal como se observa en la Ilustración 7. a, la cual se cubre por un filtro que permite cumplir con la segunda característica de diseño (Ilustración 7 b.) Esta base filtrante está compuesta por un marco metálico que le da rigidez a la misma y por ende, permite soportar el peso de los lodos que se depositen en la bandeja.

Ilustración 7. Bandeja sistema fase de adaptación de lodos

a. Bandeja



b. Base filtrante de la bandeja



Fuente: elaboración propia.

Este conjunto de bandeja y base filtrante permite el control de las pérdidas de humedad en el tiempo, que se puede registrar por la diferencia de pesos. El sistema de filtro está compuesto por tela dacron con fibras de alta permeabilidad, la cual permite el paso de fluidos como el agua e impide el paso de partículas más grandes como los lodos.

²¹³ SIEIRO PEREIRA, Borja, et. al. Capítulo XI: Manual de Cálculo. [en línea]. En: Planta de producción de ácido fórmico. Universitat Autònoma de Barcelona. p. 4-76. [Consultado en: 11, julio, 2020]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/168452/TFG_AFOR_v11.pdf

- **Soporte de bandeja.** Como tercer componente está el soporte de la bandeja el cual, permite cumplir la tercera característica de diseño ya que proporciona estabilidad al elemento removible (bandeja), generando un menor esfuerzo para la persona que manipule el conjunto bandeja-filtro-lodos dentro del volumen de control. Esta estructura posee tres puntos de apoyo: dos atornillados en el fondo y uno en la boca del barril como se muestra en la Ilustración 8. La disposición de este soporte permite mantener estable la bandeja dentro del barril por medio de los perfiles ubicados de forma paralela a lo largo de toda la geometría del mismo, dejando un espacio entre la base de la bandeja y la pared del barril el cual se aprovecha como depósito del agua retirada de los lodos para, posteriormente, ser drenada del sistema.

Ilustración 8. Soporte de bandeja



Fuente: elaboración propia

- **Drenaje.** Este sistema evita acumulación de agua en la superficie del barril proveniente de la bandeja, impidiendo la generación de malos olores dentro del mismo. Para esto, se realizó una perforación en el punto de diámetro transversal máximo del barril (Ilustración 9), lo cual permite drenar la cantidad de lixiviados depositada.

Ilustración 9. Drenaje



Fuente: elaboración propia.

4.2.2 Propuestas de sistemas de adaptación de lodos. Para lograr el objetivo de disminuir la humedad de los lodos con porcentajes inferiores al 60%, se plantearon

dos alternativas: material de soporte y sistema de secado, obteniendo mejores resultados en esta última.

4.2.2.1 Adaptación de lodos con material de soporte. La característica principal del material de soporte es proporcionar porosidad al material que se quiera compostar; sin embargo, este tipo de complementos aportan otras características a la mezcla como se evidencia en el Cuadro 15.

Cuadro 16. Materiales de soporte más empleados en el proceso de compostaje

Material de soporte	Variables que ayudan a controlar
Desechos de caña	Contenido de carbono, pH y humedad
Aserrín	Humedad, pH, aireación y temperatura
Gallinaza	Contenido de nitrógeno y densidad de partículas
Estiércol de vaca	Contenido de nitrógeno y pH
Cascarilla de arroz	Humedad, contenido de carbono y temperatura

Fuente: BATHAM, Manish; GUPTA, Richa y TRWARI, Archana. Implementation of Bulking Agents in Composting: A Review. [en línea]. En: Journal of Bioremediation & Biodegradation, septiembre, 2013. Vol. 4; nro. 7. ISSN: 2155-6199. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: https://www.omicsonline.org/implementation-of-bulking-agents-in-composting-a-review-2155-6199.1000205.php?aid=19176#tables_figures

Partiendo de los materiales de soporte más empleados, según la literatura, se realizó una matriz de selección empleando el método de matriz sistémica de valoración, el cual evalúa actores involucrados, criterios y alternativas.²¹⁴ Adaptando este método al proyecto, se puede simplificar de la siguiente manera:

- ❖ **Actores involucrados:** Laboratorios Esko Ltda.
- ❖ **Criterios tenidos en cuenta:** mayor número de variables que ayudan a controlar basado en la información del Cuadro 8, facilidad de adquirir el material de soporte (disponibilidad y costo) y riesgo de generar contaminación cruzada en la planta de producción, debido a que son materias orgánicas.
- ❖ **Alternativas:** materiales de soporte.

²¹⁴ SANCHEZ GUERRERO, Gabriel de Las Nieves. Capítulo 18: Matrices para la evaluación y selección de alternativas. [en línea]. En: Técnicas participativas para la planeación. ISBN 968552009-9. México, 2003. pp. 197-223 [Consultado en: 1, junio, 2020]. Disponible en: <https://eloisacadenas.files.wordpress.com/2017/03/sc3a1nchez-guerrero-tecnicas-participativas-para-la-planeacion.pdf> p. 204

Cada uno de los criterios planteados, fue evaluado sobre tres posibles valoraciones con las siguientes equivalencias tal como se presenta en la Tabla 7, según sea el caso:

- 1- No se adapta al criterio o su uso es de riesgo alto.
- 3- Se adapta medianamente al criterio o su uso es de riesgo medio.
- 5- Se adapta totalmente al criterio o su uso es de riesgo bajo.

Tabla 8. Matriz de selección del material de soporte

Material de soporte	CRITERIOS			Valoración total
	No. variables que ayudan a controlar	Facilidad para adquirir	Riesgo de contaminación cruzada	
Desechos de caña	3	1	5	9
Aserrín	5	5	5	15
Gallinaza	3	5	1	9
Estiércol de vaca	3	5	1	9
Cascarilla de arroz	3	5	5	13

Fuente: elaboración propia.

A partir de la valoración total obtenida en la Tabla 8, la cual evalúa la cantidad de variables que permite controlar (humedad, porosidad, relación C/N, etc), la facilidad que tiene la empresa en la adquisición de esta materia orgánica relacionada con la disponibilidad y ubicación de la misma; y el riesgo de contaminación cruzada referido a posibles vectores como malos olores, microorganismos patógenos, entre otros, que puedan afectar áreas productivas de la empresa ya que el ingreso de cualquier material a la PTAR debe realizar el recorrido representado en el Anexo B.

Con base a los resultados obtenidos en la matriz presentada (Tabla 8), se decidió emplear el aserrín como material de soporte, debido al cumplimiento que tiene con todos los criterios planteados. Posterior a la selección de este, se implementó como material de soporte para observar el efecto que tiene sobre la disminución de la humedad de los lodos.

De manera inicial, se calculó la cantidad necesaria de aserrín como material de soporte por kilogramo de lodo, empleando la Ecuación 9, con humedades de 80,26% para los lodos partiendo de la caracterización realizada, 30% para el aserrín²¹⁵ y 60% para la mezcla como valor máximo permitido para materiales que se empleen en el proceso de compostaje.

Ecuación 10. Determinación de la cantidad de material de enmienda

$$W_b = \frac{W_w (M_w - M_m)}{(M_m - M_b)}$$

Fuente: US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. P. 2-1-2-67. [Consultado en: 12, diciembre, 2019]. Disponible en: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=28910.wba>

Donde:

W_b: peso del material de soporte (kg).

W_w: peso de los lodos (kg).

M_w: humedad de los lodos (%).

M_m: humedad de la mezcla (%).

M_b: humedad del material de soporte (%).

Como seguimiento a los cambios reportados en esta pre-experimentación durante 15 días, se obtuvieron los datos registrados en la Tabla 9.

²¹⁵ SERRET-GUASCH, Nurian; GIRALT-ORTEGA, Giselle y QUINTERO -RIOS, Mairet. Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *RTQ* [en línea]. En: 2016, vol.36, n.3 pp.395-405. [Consultado en: 2, junio, 2020] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso. ISSN 2224-6185

Tabla 9. Resultados pérdidas de humedad empleando aserrín

Día	Peso total* (kg)	Aserrín (kg)	Pérdidas de humedad (%)
1	9,6	3,38	
3	9,2	3,38	4,17
5	9,12	3,38	5
7	8,9	3,72	7,29
9	8,8	3,72	11,47
11	8,75	3,72	11,97
13	8,7	3,72	12,48
15	8,7	3,72	12,49

Fuente: elaboración propia.. *Peso total= 1,22 kg+ peso lodos (kg)

El porcentaje máximo de humedad que se logró retirar, en estos ensayos, fue de 12,48%, obteniendo lodos con 67,78% de humedad, valor que continúa excediendo el límite superior propuesto por la literatura. Adicionalmente, los tiempos requeridos en esta propuesta son muy amplios, lo cual no representa una alternativa viable de implementar a la operación regular de la PTAR.

4.2.2.2 Adaptación de lodos por sistema de secado. En respuesta a los resultados ineficientes obtenidos en la adaptación de lodos con material de soporte, se planteó un nuevo sistema que permita retirar la cantidad de agua necesaria para adaptar los lodos a valores dentro del rango de 30% al 60% de humedad, como lo sugiere la literatura.²¹⁶

Para la eliminación de este compuesto de la masa compacta de lodos existe una operación denominada secado, la cual genera un producto sólido seco a través de fenómenos de transferencia de masa y energía.²¹⁷ Actualmente, existen distintos tipos de sistemas de secado de lodos generados por PTAR dentro de los cuales se pueden resaltar el secado de lodos solar de depuradora, por efecto invernadero y térmico.²¹⁸ Los dos primeros sistemas mencionados anteriormente se caracterizan por emplear extensiones de terreno considerables y aprovechar la energía solar

²¹⁶ MISRA, R.V; ROY, R.N e HIRAOKA, H. On- farm composting methods. Roma: FAO, 2003. p.26

²¹⁷TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa. [en línea]. 2 ed. ISBN: 9781615028191. McGraw-Hill, 2000. 723 p

²¹⁸ DÍAZ MONGE, María E. Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero. [en línea]. Trabajo de grado: Ingeniero civil. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 2016. [Consultado en: 13, agosto, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6638/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-169.pdf> pp. 41-42

para la evaporación de agua presente en la masa; sin embargo, como ya se mencionó, el área disponible para el desarrollo de esta propuesta es reducido y se encuentra en un espacio cerrado. Por tal razón, teniendo en cuenta las restricciones presentadas en la PTAR de *Laboratorios Esko Ltda* el sistema térmico de secado de lodos es la alternativa más apropiada para la adaptación de estos residuos.

De manera general, el sistema térmico de secado convencional se emplea con el fin de disminuir el volumen del sólido, concentrar los componentes del mismo y valorizar el residuo al final de este proceso. No obstante, dentro de este sistema existen distintas clasificaciones según el criterio de interés, de los cuales se tendrán en cuenta las clasificaciones presentadas en el Cuadro 16.

Cuadro 17. Clasificación del sistema térmico de secado convencional

Criterio	Clasificación	Características
Transferencia de calor	Por convección	Lodo calentado por contacto directo del fluido caliente. Circuitos cerrados. Reducción de emisiones. Altas pérdidas de energía.
	Por conducción	Transferencia de calor a través de paredes conductoras. Emisión de aire contaminado y olores es mínima.
Grado de secado	Parcial	Son un proceso de adaptación de lodos para valorizar o concentrar sus compuestos (materia seca hasta del 40%)
	Completo	Generan residuos con humedades menores del 90% y manejan sistemas de recirculación de lodos.
Temperatura	Alta	Se considera equipos de autocombustión ya que maneja gases hasta de 800°C que convierten el residuo en cenizas
	Media	Maneja gases con temperaturas entre 120°C y 150°C
	Baja	Maneja fuentes de calor inferiores a 70°C

Fuente: elaboración propia basado en Capítulo 3: Secado térmico convencional. [en línea]. [Consultado en: 13, septiembre, 2020] Disponible en: http://repopib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/631/1/Orellana_Sanhueza_Cristian_Javier.pdf

La clasificación presentada en el Cuadro 16, también hace referencia a las variables más influyentes del secado de lodos y permiten realizar la selección del sistema con el que se va a trabajar. A razón, se escogió un sistema de secado que maneje una

transferencia de calor por convección que opere a bajas temperaturas para obtener un secado parcial de lodos.

La selección del sistema descrito anteriormente obedece a las necesidades del proyecto referente a los bajos costos de inversión, la facilidad de adaptación e instalación del sistema, el tipo y material del contenedor empleado (barril plástico de 30 litros) y el porcentaje de agua que se quiere retirar (cercana al 25%).

Partiendo de esto, se procedió a seleccionar los componentes que conforman el sistema de secado: ventilador como fuente de aire que facilita el fenómeno de convección; y resistencia como elemento que permite el aumento de la energía en forma de calor del sistema para un mejor arrastre de agua.

- **Dimensionamiento del sistema de secado.** Como se mencionó en capítulos anteriores, el promedio de lodos generados por la empresa es de 3,5 kg/semana, por lo cual el sistema de secado empleará los elementos mencionados en la sección 4.2.1.1 *Descripción partes del diseño*, los cuales permiten procesar volúmenes superiores a los valores promedios manejados por la compañía.

En síntesis, la estructura del sistema de secado estará compuesta por el barril plástico de 30 litros, el cual posee dimensiones pertinentes (diámetro y largo) con relación al espacio disponible; una bandeja con capacidad máxima de 6,5 kg/batch que permita el control de la masa mejorando la superficie de contacto agua-aire por acciones de volteo o mezcla; la respectiva base filtrante de bandeja que permite el paso de agua mejorando el proceso de eliminación de este compuesto, y una estructura que soporte esta bandeja como se muestra en las Ilustraciones 6,7,8 y 9.

En complemento a la estructura del sistema de adaptación de lodos que se acaba de mencionar, es necesario determinar las fuentes de aire y calor que permitirán llevar a cabo los fenómenos de transferencia, con el objetivo de disminuir la humedad de los lodos implementando un sistema de secado térmico convencional discontinuo agitado en bandejas. Para tal fin, fue necesario tener en cuenta los siguientes conceptos que determinan el sistema de secado:

- ❖ **Humedad de equilibrio (X^*):** cuando un sólido húmedo se pone en contacto, con aire de temperatura y humedad determinadas y constantes, se alcanzan las condiciones de equilibrio entre el aire y el sólido húmedo. Se logran las condiciones de equilibrio cuando la presión parcial del agua que acompaña al sólido húmedo es igual a la presión de vapor del agua en el aire.²¹⁹

²¹⁹ UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. SECADOR DE SÓLIDOS. [sitio web]. Cataluña, España. 2. Fundamentos teóricos. 2.1. Conceptos de secado. [Consultado en: 14, septiembre, 2020]. Disponible en: <http://epsem.upc.edu/~assecadordesolids/castella/fonaments%20materia.html>

- ❖ **Humedad libre:** diferencia entre la humedad del sólido y la humedad de equilibrio con el aire en las condiciones dadas. Es la humedad que puede perder el sólido después de un tiempo de contacto con el aire a ciertas condiciones.²²⁰
- ❖ **Humedad ligada o agua ligada:** valor de la humedad de equilibrio del sólido en contacto con aire saturado; o bien la humedad mínima del sólido necesaria para que este deje de comportarse como higroscópico.²²¹
- ❖ **Humedad desligada o agua desligada:** diferencia entre la humedad del sólido y la humedad ligada; o bien la humedad libre del sólido en contacto con aire saturado.²²²
- ❖ **Período antecrítico:** período de tiempo en el que la velocidad de secado es constante, desde la humedad inicial hasta la humedad crítica.²²³
- ❖ **Período poscrítico:** período de tiempo en el que la velocidad de secado disminuye hasta llegar a un valor de cero. Este período empieza con la humedad crítica hasta la humedad de equilibrio.²²⁴ generalmente este período se puede subdividir en: un periodo en el que la velocidad de secado varia linealmente con la humedad desde el punto crítico donde la velocidad de secado está regida por la evaporación del agua sobre la fracción de superficie mojada; y otro periodo en el que no se cumple esta variación lineal ya que la superficie del sólido está totalmente seca y la velocidad de secado ha de evaluarse atendiendo al proceso de transporte de humedad desde el interior del mismo hasta la superficie.²²⁵
- ❖ **Velocidad de secado:** pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo, con aire a las condiciones de temperatura, presión y humedad.²²⁶
- ❖ **Período de velocidad de secado constante:** en este período la superficie del sólido está totalmente cubierta por una capa de líquido y la evaporación dependerá solo de la velocidad de difusión del vapor o de la intensidad de paso de calor a través de la capa límite del aire.²²⁷

Para los cálculos requeridos en la especificación del sistema es importante determinar la cantidad de calor del mismo teniendo en cuenta la expresión presentada en la Ecuación 11.

²²⁰ *Ibíd.* 2.1. Conceptos de secado

²²¹ *Ibíd.* 2.1. Conceptos de secado

²²² *Ibíd.* 2.1. Conceptos de secado

²²³ *Ibíd.* 2.1. Conceptos de secado

²²⁴ *Ibíd.* 2.1. Conceptos de secado

²²⁵ *Ibíd.* 2.3. Tiempo de secado.

²²⁶ *Ibíd.* 2.2. Velocidad de secado

²²⁷ *Ibíd.* 2.3. Tiempo de secado.

Ecuación 11. Balance de energía

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

Fuente: GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. [en línea] . Compañía Editorial Continental, S.A. De C.V. México. 3a. ed 1998. 1008 pp. ISBN 968-26-1316-7. [Consultado en: 15, septiembre, 2020]. Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Donde:

Q: calor (W)

\dot{m} : flujo másico de aire (kg/s)

C_p : capacidad calorífica (J/kg*s)

La ecuación descrita fue empleada para conocer la cantidad de energía que se requiere en el sistema de secado teniendo en cuenta los requerimientos para la adaptación de lodos específicos de *Laboratorios Esko Ltda.*, que no obligan a traspasar los límites de humedad libre. Para tal fin, se tuvo en cuenta las propiedades y resultados que se mencionan en la Tabla 10, los cuales están respaldados por los cálculos presentados en el Anexo D.

Tabla 10. Propiedades para el cálculo del balance energético

Propiedades	Valores
Temperatura del aire (°C)	25
Temperatura del sólido (°C)	17
Área de la superficie expuesta (m ²)	0,0874
Densidad del aire (kg/m ³)	1,184
Flujo de aire del ventilador (m ³ /min)	0,551
Calor (W)	74

Fuente: elaboración propia.

Los componentes del sistema de secado basados en los balances presentados anteriormente con los cuales se quieren generar un arrastre de agua por medio de una corriente de aire a 26°C, empleando una resistencia de 74W, son:

- **Fuente de aire (ventilador).** Para sistemas de secado se requiere de un elemento proveedor de aire ya que este gas es uno de los elementos importantes para los fenómenos de transferencia propios del sistema. Por lo tanto, existen

máquinas rotatorias compuestas por un motor, un elemento rotativo y un soporte que permiten mover determinada masa de aire y se denominan ventiladores. Estas turbomáquinas presentan diversas clasificaciones, no obstante, para el presente proyecto la clasificación de interés será según su trayectoria de aire, es decir, ventiladores centrífugos y ventiladores axiales.²²⁸

Para el sistema diseñado es necesario instalar un ventilador centrífugo de media presión debido a su característica principal: entrada de aire axial y la salida del mismo en dirección perpendicular, esto con el objetivo de generar presión y caudal adecuado para el arrastre de aire.

Actualmente, en el mercado existen una gran variedad de ventiladores de media presión con caudales determinados. Teniendo en cuenta la disponibilidad presentadas por los distintos proveedores y costos, en respuesta a las especificaciones requeridas por el sistema, como equipo abastecedor de aire se seleccionó un ventilador que trabaja a 110 V, con una corriente de 0,28 A, un consumo de 67,2 W y un flujo máximo de aire sin presión estática de 5,26 m³/min, (Ilustración 10).

Ilustración 10. Ventilador sistema de secado



Fuente: elaboración propia.

El ventilador seleccionado permite cumplir con los requerimientos del caudal planteado según el balance energético evitando la saturación del aire a lo largo de la operación del sistema de secado, por lo tanto, el caudal con el que se va a trabajar será de 0,55 m³/min generando una presión estática dentro del barril de 44 mm H₂O,

²²⁸ Soler & Palau. CAPITULO 6: ¿Qué es un ventilador? Características y clasificación. [en línea]. España: Soler & Palau, 2019. [Consultado en: 14, septiembre, 2020]. Disponible en: <https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mven/Capitulo%206%20Manual%20de%20Ventilacion.pdf> p. 2,6.

teniendo en cuenta la gráfica correspondiente a la turbomáquina (Anexo C) y la humedad relativa del aire en Bogotá es de 66,25%²²⁹, aproximadamente.

- **Fuente de calor (resistencia).** Adicionalmente, se instaló de manera perpendicular a la salida del flujo de aire del ventilador, una resistencia (Ilustración 11) la cual trabaja con 74 W, 163 Ω y 110 V. Sin embargo, esta resistencia permite tener dentro del volumen temperaturas de 25°C, la cual está muy debajo del promedio de temperaturas manejadas en los procesos industriales (100°C) ya que este tipo de sistemas buscan la deshidratación completa de los lodos para disminuir su volumen y por ende, menor cantidad de los mismos para disponer. En contraste, el objetivo que se busca en este proyecto con el sistema de secado es adecuar los lodos en relación a la cantidad de agua en ellos, evitando modificar alguna otra característica.

Ilustración 11. Orificio de escape sistema de secado.



Fuente. Elaboración propia.

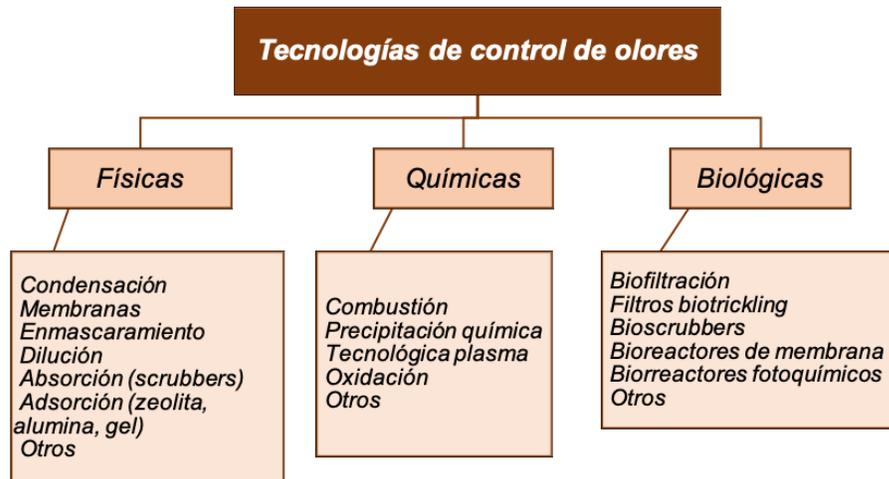
El aire que sale de este orificio contendrá ciertas sustancias volátiles propias de los malos olores en los lodos ya que son arrastrados por la corriente de entrada debido a su volatilidad y solubilidad en el agua. Por lo tanto, es necesario instalar un filtro que permita la retención de los denominados COV's (compuestos orgánicos volátiles) y CIV's (compuestos inorgánicos volátiles), entre los cuales se pueden mencionar los siguientes grupos, característicos de las emisiones en PTAR que pueden ser considerados contaminantes: compuestos de azufre, compuestos de nitrógeno, ácidos grasos volátiles, cetonas, entre otros.²³⁰

²²⁹ SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Informe anual de calidad del aire. [en línea] Bogotá, 2019. 126PM04-PR84-M-2 V4.0. 114 pp. [Consultado en: 16, septiembre, 2020]. Disponible en: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=13003 p. 92

²³⁰ CABEZAS ROJAS, Iván Orlando. BIOFILTRACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE LECHO BASADOS EN MEZCLAS DE COMPOST DE RSU-PODA: MONITORIZACIÓN MEDIANTE DIVERSAS TÉCNICAS. [en línea]. Memoria Doctor. Sevilla: Universidad de Sevilla. Departamento de Protección del Sistema Suelo, Planta, Agua, 2013. 249 p. [Consultado en: 20, junio, 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/36121935.pdf>

Con relación a lo registrado en la literatura, existen distintas tecnologías de control de olores con el fin de mitigar el impacto ambiental y los efectos en la salud que puedan generar, como se resume en el Diagrama 9; las cuales van relacionadas con el tipo de contaminantes que se quieran retirar y tratar, grado de monitoreo que se desee tener, caudal de los gases, concentración de los mismos, espacio disponible, rendimiento, costos, entre otros.²³¹

Diagrama 9. Tecnologías de control de olores



Fuente: elaboración propia basada en CABEZAS ROJAS, Iván Orlando. BIOFILTRACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE LECHO BASADOS EN MEZCLAS DE COMPOST DE RSU-PODA: MONITORIZACIÓN MEDIANTE DIVERSAS TÉCNICAS. [en línea]. Memoria Doctor. Sevilla: Universidad de Sevilla. Departamento de Protección del Sistema Suelo, Planta, Agua, 2013. 249 p. [Consultado en: 20, junio, 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/36121935.pdf>

Para la selección del tipo de tecnología de control de olores que se va a emplear en el diseño propuesto, se tuvieron en cuenta criterios como costo, adaptabilidad al espacio, rendimiento, facilidad de manejo y facilidad de instalación. Por lo tanto, se realizó la evaluación de las tres categorías con base a las necesidades, requerimientos y particularidades del sistema a trabajar, como el flujo de aire que circula dentro del mismo, el tamaño del orificio de salida de aire, espacio disponible, costos, entre otros.

De manera inicial se descartaron los métodos químicos y biológicos que se caracterizan por ser sistemas muy elaborados y con rendimientos hasta del 95% en la remoción de sustancias volátiles (COV's y CIV's); sin embargo, este tipo de

²³¹ *Ibíd.*, p. 27.

tecnologías, en su mayoría, presentan altos costos y limitada adaptabilidad al espacio disponible para este proyecto.²³²

Por consiguiente, para la selección del filtro de olores las tecnologías de control de olores de tipo físico representan las alternativas más viables. Particularmente, las tecnologías de control de olores por absorción son una alternativa de bajo costo, alta adaptabilidad, buen rendimiento y fácil mantenimiento, empleada en el manejo de estos compuestos volátiles, como lo presenta la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua, utilizando corteza de pino para este fin.²³³

Basado en este caso de estudio, el filtro de olores seleccionado para la de adaptación de los lodos generados por la PTAR de *Laboratorios Esko Ltda.* fue corteza de pino, el cual es empleado para esta clase de acciones por su alta porosidad (43% del volumen total) y granulometría específica de 25-40 mm, que permite una superficie de absorción adecuada durante periodos prolongados hasta de 5 años²³⁴. Adicionalmente, la corteza de pino cuenta con fenoles en su estructura, lo cual le otorga propiedades antioxidantes, antivirales, antibacterianas y antifúngicas.²³⁵

Una vez seleccionado el material que permite el control de olores, se instalaron dos accesorios, como se muestra en las Ilustración 13, 14 y 15, correspondientes a una la placa en lámina *cold rolled* y dos mallas metálicas, cuyo objetivo es ajustar la bolsa en tela tipo *georgette*, que permite el almacenamiento de los gránulos de corteza de pino admitiendo de igual forma el paso del aire.

²³² GUTIRREZ MARTÍN, María del Carmen. Determinación y control de olores en la gestión de residuos orgánicos. [en línea]. Tesis doctoral: Universidad de Córdoba, Departamento de Química inorgánica e ingeniería química. Córdoba, 2014. [Consultado en: 15, julio, 2020]. Disponible en: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/11811/2014000000912.pdf?sequence=1>

²³³ MUNDO NATURAL. BIOFILTRO- TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL. [en línea]. El proyecto Biomasa y la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. 2019. [Consultado en: 20, julio, 2020]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=U-s47X_dk1c&t=11s

²³⁴ BURÉS PROFESIONAL S.A. BIOFILTRO DE CORTEZA DE VEGETAL TRATADA. [en línea]. Girona. BURÉS PROFESIONAL S.A [Consultado en: 21, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.burespro.com/wp-content/uploads/2020/03/582-5.pdf>

²³⁵ ROSALES CASTRO, Martha; PÉREZ LÓPEZ, María Elena y PONCE RODRÍGUEZ, María del Carmen. Propiedades antirradicales libres y antibacterianas de extracto de corteza de pino. [en línea]. En: Madera y Bosques, 2006. Vol: 12. nro.1, pp. 37-49. [Consultado en: 23, junio, 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v12n1/2448-7597-mb-12-01-37.pdf>

Ilustración 12. Filtro de corteza de pino

a. Funda filtrante y corteza de pino.

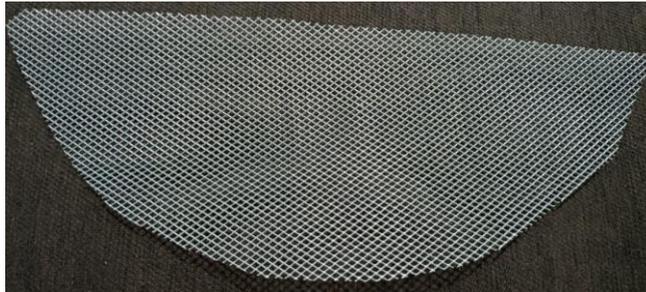


b. Conjunto funda-corteza.



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 13. Malla de soporte del filtro de olores



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 14. Conjunto filtro, malla, lámina de ajuste



Fuente: elaboración propia.

- **Volteos.** Algunas de las variables influyentes en sistemas de secado son la superficie de contacto que tenga el aire con el cuerpo húmedo y la cantidad de agua que se desea retirar; por lo tanto, para lograr disminuir el porcentaje de humedad de los lodos de 80,26% a valores inferiores al 60%, es necesario realizar volteos de la masa de forma periódica, generando así el intercambio de las capas más secas

por capas húmedas que entrarán posteriormente en contacto con el aire. Esta acción se realizará de forma manual con ayuda de una pala en los tiempos descritos en el Anexo A.

4.2.2.3. Instrumentos empleados en el sistema de secado. La verificación de los cambios presentados en los lodos empleados en el sistema de secado, se hizo a través del uso de los instrumentos de medición presentados en el Cuadro 18, cuya finalidad es permitir el seguimiento al funcionamiento del sistema de secado y determinar su rendimiento.

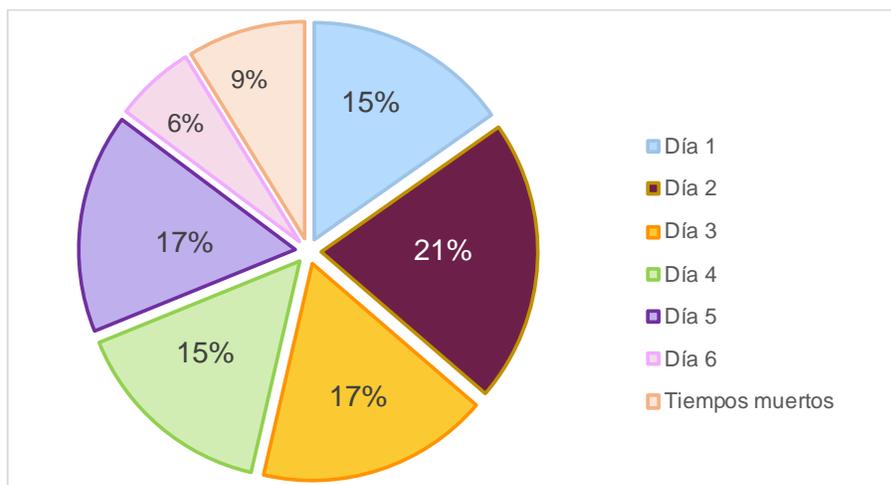
Cuadro 18. Descripción instrumentos de medición empleados el sistema de secado

Variable	Descripción	Imagen
Temperatura	Termómetro Bimetálico Precisión de +/-1,5% Bulbo de 3” Span 150°C Resolución 1/10	
Peso	Báscula LM33 Capacidad máxima 40 kg Resolución 0,005 kg	

Fuente: elaboración propia.

4.2.2.4 Resultados del sistema de secado. Los datos del sistema de secado se obtuvieron empleando la capacidad máxima de la bandeja (6,5 kg de lodos), dando como resultado lodos con humedad del 58,6% en 42 horas de funcionamiento. Este tiempo corresponde a cinco jornadas de ocho horas y una de dos, ya que la PTAR de la empresa opera ocho horas al día.

Gráfica 3. Porcentajes de pérdidas de peso



Fuente: elaboración propia.

El porcentaje diario de pérdida de agua en peso para obtener lodos dentro del rango de humedad mencionado, se puede identificar en la Gráfica 3, reportando resultados similares en los días 1, 3, 4 y 5. Sin embargo, el segundo día registra el mayor porcentaje del proceso, esto se debe a la cantidad de volteos (seis) que se realizaron a lo largo de la jornada, con relación a los muestreos (ocho) tomados el mismo día. Estos volteos se efectuaron con base a los cambios de color evidenciados en los lodos, ya que, a menor cantidad de agua contenida en ellos, menor brillo presentaban y la tonalidad gris característica de los mismos se tornaba más oscura, como se observa en la Ilustración 16.

Ilustración 15. Lodos

a. Día 1



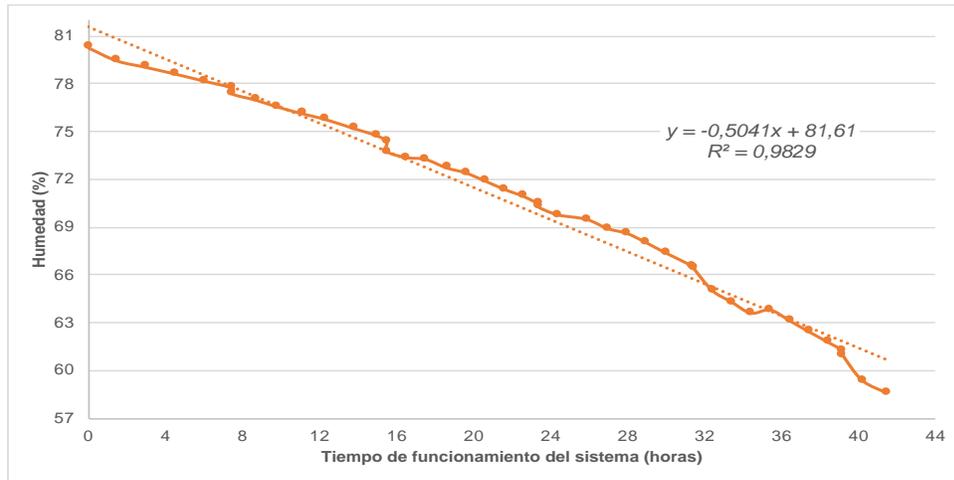
b. Día 2



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los tiempos muertos mencionados en la Gráfica 3 representan el 9% de las pérdidas de peso, que equivalen a 70 horas, en las cuales el sistema de secado no está en funcionamiento, aunque los lodos permanecen dentro del barril. En este lapso se aprovecha la fuerza de gravedad y el peso de los lodos como fuerzas impulsoras para perder agua a través de la base filtrante de la bandeja.

Gráfica 4. Comportamiento sistema de secado.



Fuente: elaboración propia.

Adicionalmente, el comportamiento de las pérdidas de humedad respecto al tiempo se ve representado en la Gráfica 4, en la cual se puede observar una relación lineal en estas variables generando una pérdida en peso del 51,69%; concluyendo que el sistema trabaja de manera uniforme a lo largo del tiempo sin presentar cambios abruptos de temperatura (valores entre 23°C y 26°C) ni en flujos de aire del sistema. Además, esta linealidad se puede relacionar con el comportamiento del volumen de aire dentro del sistema, el cual cumple su función de arrastre de agua sin llegar al punto de saturación, debido a que el flujo de salida de este gas es directamente proporcional al ingreso.

Por parte del balance de masa (presentado en el Anexo C), se pudo determinar la cantidad de agua retirada por la corriente de aire, ya que este sistema de secado por bandejas con base filtrante permite la generación y recolección de lixiviados; asimismo, se tuvieron en cuenta las pérdidas de masa por los volteos correspondientes a 300 g durante todo el proceso.

Finalmente, las 42 horas de funcionamiento del sistema empleadas para reducir la humedad, se hicieron con base a la carga máxima de la bandeja; sin embargo, este tiempo se puede reducir en un 20% si la bandeja está ocupada con el 58,46% de su volumen, es decir, 3,8 kg. No obstante, el modo de operación de este sistema se puede estandarizar tal como se especifica en el Anexo E.

4.3 SISTEMA CERRADO PARA EL SISTEMA DE COMPOSTAJE

Como se mencionó en la sección 1.6 TIPOS DE COMPOSTAJE, existen dos categorías generales para clasificar los sistemas de compostaje: sistema abierto y sistema cerrado. Teniendo en cuenta las particularidades presentadas en la empresa, el tipo de compostaje más apropiado en estas condiciones es el sistema

cerrado debido al volumen reducido e intermitente de lodos generados, limitación de espacio, tiempo de retención del compostaje, control de olores y vectores de contaminación, adecuación a la operación regular de la PTAR, entre otros.

No obstante, este tipo de compostaje se subdivide en dos clases: flujo vertical y flujo horizontal, por lo cual, fue necesario realizar un proceso de selección para determinar el más adecuado para este caso.

4.3.1 Matriz de selección de los tipos de sistemas cerrados para compostaje.

Empleando el método de matriz sistémica de valoración,²³⁶ se establecen los elementos a evaluar para el sistema de compostaje:

- ❖ **Actores involucrados:** Laboratorios Esko Ltda.
- ❖ **Criterios tenidos en cuenta:** tiempo requerido, manejo de lixiviados, control de las variables temperatura, aireación, humedad y olores.
- ❖ **Alternativas:** Flujo vertical, flujo horizontal estático y flujo horizontal agitado.

La evaluación de los criterios planteados se asignará con base en los criterios expuestos en la sección *1.7.2 Sistema cerrado* para cada uno de los sistemas a evaluar, de acuerdo a las siguientes equivalencias, posteriormente presentadas en la Tabla 10.

- 1- Bajo grado de control o requiere de mucho tiempo/dinero.
- 3- Medio grado de control o requiere de un tiempo/dinero medio.
- 5- Alto grado de control o requiere de poco tiempo/dinero.

²³⁶ SANCHEZ GUERRERO, Gabriel de Las Nieves. Capítulo 18: Matrices para la evaluación y selección de alternativas. [en línea]. En: Técnicas participativas para la planeación. [Consultado en: 1, junio, 2020]. Disponible en: file:///Users/usuario/Downloads/selecccion%20de%20alternativasCAPITULO%2018.pdf

Tabla 11. Matriz de selección de sistemas cerrados

Criterios	Flujo vertical	Flujo horizontal	
		Estático	Agitado
Tiempo	3	3	5
Costos	3	5	3
Lixiviados	5	3	5
Temperatura	5	3	5
Aireación	3	5	5
Humedad	3	1	5
Olores	5	3	5
Valoración total	27	23	33

Fuente: elaboración propia.

En relación a la valoración de cada sistema cerrado obtenida en la matriz de selección se pudo concluir que el sistema cerrado de flujo horizontal agitado es el más apropiado debido a su alto grado de control en las variables descritas ya que permite, de manera fácil, la implementación de equipos o instrumentos para el control de las mismas como termómetros y agitadores. Del mismo modo, debido a su geometría y disposición de los residuos dentro del volumen, facilita el control de la aireación (mecánica o manual) permitiendo una distribución uniforme del aire a través de la superficie de la mezcla ya que este gas es un componente importante en los procesos oxidativos propios del compostaje.

4.3.2 Compostera. Posterior a la selección del sistema más apropiado para el proceso, se diseñó una compostera que cumpliera con todos los requerimientos en cuanto a las variables influyentes en el proceso de compostaje (aireación, humedad del material a compostar, control de olores y temperatura), las particularidades presentes en la empresa y así mismo, adaptar el sistema para su control.

4.3.2.1 Contenedor. Para este sistema, se utilizó uno de los barriles plásticos de 30 litros que contenían materias primas y hacen parte de los desechos generados por la empresa. Para emplear este contenedor en el desarrollo del sistema de compostaje, fue necesario realizar la adaptación de una compuerta en la parte superior del mismo (Ilustración 17), ya que la disposición del reactor será de forma horizontal y la alimentación de la mezcla al recipiente, por la boca original del mismo, no es la mejor opción; debido a que se requiere un porcentaje de ocupación del

67%²³⁷ de este barril, para dar lugar al proceso compostaje, teniendo como factor principal la cantidad de aire, específicamente de oxígeno, que requiere el desarrollo del proceso oxidativo.

Ilustración 16. Tapa de ingreso de material a la compostera

a. Abierta



b. Cerrada



Fuente: elaboración propia.

Así mismo, a través de esta compuerta se podrá realizar el seguimiento al proceso de manera visual permitiendo identificar zonas anaerobias o zonas con poca agitación.

4.3.2.2 Control de temperatura. La temperatura es una variable que presentará valores entre 20°C y 70°C a lo largo de todas las fases del proceso de compostaje determinando la velocidad del mismo, ya que se empleará el modo de auto-calentamiento, el cual consiste en aprovechar la cantidad de energía desprendida por la mezcla a través de las fermentaciones realizadas por los microorganismos, para alcanzar los valores de temperatura característicos de las fases mesófilas y termófilas.²³⁸ Por lo cual, se colocó alrededor del barril un aislante térmico conformado por una lámina de polietilentereftalato (PET) de 5 mm y otra lámina delgada de aluminio, para evitar pérdidas de energía (Ilustración 18). Este recubrimiento se caracteriza por tener una densidad del aislante de 34-54 kg/cm³, resistencia al crecimiento de hongos, una conductividad térmica del 0,02 W/mK y trabaja en rangos de temperatura entre -20°C y 80°C.²³⁹

²³⁷ BUITRAGO AMÓRTEGUI, Daniela y GARZÓN FORERO, Estefanía. 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. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América, 2019. p. 55

²³⁸ MASON, I. G. y MILKE, M. W. Physical modelling of the composting environment: A review. Part 1: Reactor systems. [en línea]. En: Waste management. March, 2005. vol. 25, no. 5, p. 484. [Consultado en: 27, junio, 2020]. Disponible en: <http://www.dl.mozh.org/up/compost1.pdf>

²³⁹ PRODEX. Catálogo de productos. Aislamiento térmico reflectivo AD [en línea]. Chile. 14 pp. [Consultado en: 01, julio, 2020]. Disponible en: http://www.macopa.com/sites/default/files/adjuntos-productos/10_catalogo_prodex.pdf

Ilustración 17. Chaqueta aislante compostera



Fuente: elaboración propia.

Como instrumento adicional para el control de la temperatura del sistema, se propone el uso de un termómetro de 8" de sonda, como longitud mínima, que permita registrar esta variable en distintos puntos y a distintas alturas de la mezcla.

4.3.2.3 Control de humedad, volteos y aireación. Posterior a la fase de adaptación que permite tener lodos con humedades inferiores al 60%, fue necesario instalar un sistema mecánico de agitación y volteo (Ilustración 19) con el objetivo de homogenizar la mezcla dentro del volumen con cierta regularidad. El uso de este sistema, de manera periódica, evita zonas anaerobias que se caracterizan por poseer alta humedad y malos olores, ya que en estas condiciones se generan productos como metano, ácidos orgánicos, entre otros; propios de los procesos oxidativos generados por microorganismos anaerobios.

Ilustración 18. Manivela del sistema de agitación



Fuente: elaboración propia.

El sistema mecánico de agitación instalado en el barril consta de un eje, un buje y dos aspas (Ilustración 20) que al momento de accionar la manivela permite el arrastre y mezclado del contenido depositado en este.

Ilustración 19. Sistema de agitación (internamente en la compostera)

a. Eje y buje.



b. Aspas.



Fuente: elaboración propia.

4.4. DISPOSICIÓN DE LOS SISTEMAS EN EL ESPACIO DISPONIBLE

Posterior al diseño y caracterización de los sistemas de secado y compostaje, se diseñaron tres soportes que permiten el uso de la altura máxima de este espacio (2,8 metros), los cuales son instalados a la columna que se encuentra dentro del área disponible para el proceso de aprovechamiento de lodos, tal como se muestra en la Ilustración 21. Cada uno de estos, soportará un barril destinados para las siguientes etapas: fase de adaptación, proceso de compostaje y almacenamiento de lodos/compost.

Ilustración 20. Distribución de los soportes de barriles

a. Soportes.



b. Instalación final



Fuente: elaboración propia.

La instalación de estos tres soportes al área disponible se realiza en las siguientes alturas: 0,45 m el sistema de secado, 1,25 m la compostera y 1,83 m el almacenamiento de lodos/compost. Los soportes mencionados poseen dos escuadras colocadas de forma paralela, para mantener los barriles sobre la base de los mismos, evitando la posibilidad de que estos se rueden con ayuda de una abrazadera ajustable en reata (Ilustración 22), la cual permite el montaje y desmonte de los mismos de manera sencilla. Adicionalmente, estos accesorios poseen una pieza completa de agarradera-ángulo que permite su fijación a la columna y de esta manera, repartir la carga ejercida por el peso de los barriles.

Ilustración 21. Soporte barril con agarradera ajustable



Fuente: elaboración propia.

Sin embargo, el barril correspondiente a la compostera posee algunas modificaciones mencionadas en la sección anterior, que impiden el uso de la abrazadera ajustable en reata, especialmente la compuerta instalada en la parte superior. Para esto, se instalaron dos platinas en el interior del barril que permite la fijación a los soportes a través de tornillos como se observa en la Ilustración 23.

Ilustración 22. Sistema de ajuste de compostera



Fuente: elaboración propia.

5. COSTOS ASOCIADOS A LA PRODUCCION DE COMPOST

En el presente capítulo se especifican los costos asociados al diseño, elaboración e instalación del sistema de adaptación de lodos y compostera en el espacio designado por la empresa dentro de la PTAR. De igual manera, se presentan los gastos mensuales de servicios públicos (energía eléctrica), requeridos para el funcionamiento de estos.

Finalmente, se describe el presupuesto para la implementación de la propuesta planteada a la empresa (sección 3.3 *PROPUESTA DE MEZCLA DE COMPOSTAJE*), teniendo en cuenta los costos de los materiales adicionales necesarios para desarrollar el sistema de compostaje.

5.1 COSTOS ASOCIADOS AL DISEÑO DE SISTEMAS PARA LA OBTENCIÓN DE COMPOST

Para la puesta en marcha de la propuesta de compostaje planteada anteriormente se requiere la instalación de dos sistemas (adaptación y compostera), los cuales representan los costos mencionados a continuación.

5.1.1 Costos asociados al diseño e instalación del sistema de adaptación de lodos. Los lodos generados por la PTAR de *Laboratorios Esko Ltda.* presentan una humedad elevada (80,26%) para el inicio del proceso de compostaje, por lo cual, es necesario disminuir esta propiedad a valores entre el 35% y 60%, por medio de un sistema de secado. Los costos para el diseño, ensamblaje e instalación de este sistema se describen en la Tabla 11.

Tabla 12. Costos asociados al sistema de adaptación de lodos

Concepto	Valor total
Instalaciones	\$ 53.000
Sistema	\$ 205.000
Acabados	\$ 17.000
Accesorios	\$ 25.000
Varios	\$ 110.000
TOTAL	\$ 410.000

Fuente: elaboración propia.

Como primer concepto se mencionan las instalaciones con un costo de \$53.000, las cuales hacen referencia a montaje del soporte y barril en el espacio designado dentro de la PTAR; adicionalmente, el ensamble del ventilador, resistencia, soporte

de las bandejas y filtro de control de olores al barril. Como segundo concepto, se relaciona el sistema con un valor de \$205.000, repartidos en materiales, equipos, herramientas y tornillería requerida para la elaboración del sistema.

Posteriormente, se mencionan \$17.000 asociados a los acabados, lo cual corresponde a las pinturas empleadas en los soportes y filtro de control de olores. También, se describe un valor de \$25.000 que equivalen a los elementos entregados a la empresa de manera adicional como un set de tres palas para la manipulación de los lodos, un paquete con corteza de pino y tres fundas para este elemento filtrante, lo cual permite el cambio de estos según requiera el sistema. Todos los valores descritos anteriormente están soportados en el Anexo 7.

Finalmente, se presenta un valor de \$110.000 en concepto de varios los cuales abarcan transportes y gastos menores.

5.1.2 Compostera. Para el desarrollo del proceso de compostaje de los lodos, se requiere de un sistema cerrado de flujo horizontal agitado, el cual acarreó los costos de diseño, descritos en la Tabla 12.

Tabla 13. Costos asociados al diseño de la compostera

Concepto	Valor total
Instalaciones	\$ 47.000
Sistema	\$ 323.000
Acabados	\$ 32.000
Varios	\$ 110.000
TOTAL	\$ 512.000

Fuente: elaboración propia.

Los costos totales en el diseño de la compostera fueron de \$512.000 divididos en \$35.000 de instalación de dos barriles (compostera y barril de almacenamiento), \$323.000 correspondientes al ensamble del sistema de agitación, elaboración de la chaqueta aislante, adaptación de la tapa superior de alimentación para la compostera y soporte de la bandeja del barril de almacenamiento. Todos los valores descritos anteriormente están soportados en el Anexo 7.

Como tercer concepto están los acabados correspondientes a las pinturas necesarias para el sistema de agitación y soportes presentes en los dos barriles mencionados. Por último, se presenta un valor de \$110.000 en el concepto de varios que hacen referencia a transportes y gastos menores.

En conclusión, la Tabla 13 presenta de manera generalizada los costos asociados al desarrollo, implementación y puesta en marcha de los sistemas empleados para la aplicación de la propuesta de obtención de compost partiendo de los biosólidos generados en la operación de *Laboratorios Esko Ltda.*

Tabla 14. Costos totales de los sistemas diseñados (adaptación y compostera)

Concepto	Valor
Caracterización de los lodos	\$ 408.000
Diseño del sistema de adaptación de lodos	\$ 410.000
Diseño de la compostera	\$ 512.000
Equipos adicionales	\$ 204.120
Costos de ingeniería	\$ 6.400.000
TOTAL	\$ 7.934.120

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, el costo total del proyecto es de \$ 7.934.120 el cual abarca los análisis de caracterización realizados a los lodos, los costos de diseño de los sistemas y por último, los costos de ingeniería de las tesis que desarrollaron los sistemas mencionados.

5.2 COSTOS ASOCIADOS A LA PUESTA EN MARCHA DE LA PROPUESTA DE COMPOSTAJE

5.2.1 Costos asociados a la operación del sistema de adaptación de lodos.

Posterior al diseño e instalación del sistema de adaptación de lodos, se deben tener en cuenta los costos mensuales de operación; este tipo de gastos si serán cubiertos por la empresa, la cual cancela \$ 542KWh, en promedio.

En consecuencia, para estimar los costos de energía eléctrica se realizan los cálculos con base a la capacidad máxima del sistema (6,5 kg de lodos), es decir, de acuerdo al *Anexo D: Manual de operación del sistema de secado*, este se emplearía cuatro semanas al mes durante las cinco jornadas laborales, arrojando un costo de \$8.923,49 mensual, lo cual representa un consumo anual aproximado de \$ 98.158.

5.2.2 Costos asociados a la implementación de las propuestas de mezcla de compostaje. Para el desarrollo del compostaje es necesario agregar materias orgánicas que permiten el ajuste de los parámetros mínimos necesarios para dar lugar a este proceso oxidativo. Por tanto, en la Tabla 14 se presentan los costos asociados a los elementos que conforman la propuesta presentada en la 3.3

PROPUESTA DE MEZCLA DE COMPOSTAJE, y que necesitan ser adquiridos por la empresa al momento de aplicar esta mezcla de compostaje.

Tabla 15. Costos mensuales asociados a la propuesta de mezcla de compostaje

Concepto	Valor
Microorganismos eficientes	\$ 2.450
Residuos de poda de cesp�ed	\$ 10.000
TOTAL	\$ 12.450

Fuente: elaboración propia.

A partir de los valores presentados en la Tabla 14, que hacen referencia a los costos para cada batch que se realice de la mezcla propuesta, se puede observar que el valor anual, en el que debe incurrir la empresa para el aprovechamiento de los lodos, ser a de \$ 136.950, teniendo en cuenta que se realizará un lote al mes.

Finalmente, se presentan en la Tabla 15 los costos anuales en los que debe incurrir la empresa para el desarrollo continuo de la propuesta y mantenimiento de los sistemas asociados a la misma (lubricante, aspas, balanceo del rotor, rectificación de rodamientos y reparación de la parte eléctrica).

Tabla 16. Costos anuales de la puesta en marcha de la propuesta de compost

Concepto	Valor
Mantenimiento de sistemas anual	\$ 90.000
Consumo de energía eléctrica anual del sistema de adaptación de lodos	\$ 98.158
Materiales mezcla de compostaje	\$ 136.950
TOTAL	\$ 325.108

Fuente: elaboración propia.

5.3 COMPARATIVO ECONÓMICO ENTRE LA DISPOSICIÓN ACTUAL DE LODOS Y LA PROPUESTA DE COMPOSTAJE

Una de las razones de peso para la implementación de la propuesta de compostaje de lodos es la disminución de los costos que debe incurrir la empresa anualmente para la disposición estos biosólidos. Actualmente esta disposición representa un gasto de \$750.000, por tal motivo, se realiza un comparativo para evaluar las

diferencias entre la operación actual de la PTAR y la propuesta de mezcla descrita en el presente proyecto, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla 17. Cuadro comparativo de costos anuales

Concepto	Disposición actual	Propuesta
Análisis de caracterización	\$ -----	\$ -1.504.000
Operación anual	\$ -----	\$ -325.108
Disposición final	\$ - 750.000	\$ 1.415.040
TOTAL	\$ - 750.000	\$ - 414.068

Fuente: elaboración propia.

Los conceptos presentados en la Tabla 17 para la propuesta, se dividen en tres conceptos importantes: \$-1.504.000 de análisis de caracterización del producto final que se realizarían cada dos meses y medio, aproximadamente, esto con el fin de garantizar las propiedades del mismo y determinar el uso específico del compost bajo el cumplimiento de normativas; el gasto de la operación anual del sistema el cual se explica detalladamente en la Tabla 16 y por último, la disposición final de residuos relacionados a la propuesta que representa un ingreso de \$1.415.040 para la compañía, ya que se estima en promedio una producción anual de 105,6 kg de compost, el cual tiene un costo en el mercado de \$9.600, aproximadamente. Todos los costos relacionados en el comparativo están soportados con las cotizaciones presentadas en el Anexo 7.

Por tal motivo, la propuesta presentada para el aprovechamiento de lodos generados por la PTAR de *Laboratorios Esko Ltda.* es viable de manera financiera en su operación anual, ya que su balance neto es de \$-414.068, el cual representa un menor gasto para la compañía en comparación a la disposición actual (\$ - 750.000).

6. CONCLUSIONES

- Partiendo de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos generados por la operación de la PTAR de *Laboratorios Esko Ltda*, se pudo concluir que estos biosólidos cumplen con las características de las variables de interés tales como pH (5,74), metales, relación C/N (32.76), sólidos volátiles (69,71%) y parámetros microbiológicos de coliformes (<1 UFC/g), Salmonella (<0,006473 UFC/25g) y E. Coli (ausencia), dentro de los rangos registrados en la literatura para el inicio del proceso de compostaje. Sin embargo, la única variable que se registra fuera de estos valores, es la humedad con un 80,26%, lo que obliga a diseñar un sistema de adaptación que permita retirar la cantidad de agua requerida para disminuir esta variable al rango entre 35-60%.
- Se realizó una propuesta de mezcla basada en una revisión bibliográfica para la selección de los materiales de carga a partir de las propiedades y mejoras físicas que estos brindan al biosólido. Las determinaciones técnicas de la propuesta se fundamentaron en la corrección de la relación C/N del lodo, aumento de porosidad, aporte de nutrientes y microorganismos efectivos, presentando las siguientes proporciones: 62,5% lodos, 15,6% residuos de cosecha, 21,92% residuos de poda y una dilución de 60 mL de microorganismos efectivos. Para el componente de residuos de cosecha se aprovecharán los desechos del área de extractos, de los cuales solo podrán utilizarse los que se hayan sido tratados con solventes liposolubles (aceite de girasol) y los residuos de cáscaras de frutas y verduras.
- Mediante una matriz de selección se analizaron los beneficios y deficiencias de los sistemas cerrados de compostaje, además de considerar las restricciones internas que rigen a la empresa como: infraestructura, producción de lodos (<15 kg/mes) y BPM (Buenas Prácticas de Manufactura). Finalmente, se eligió el sistema cerrado horizontal agitado con aislante térmico, el cual facilita los volteos, aireación y control de variables del proceso como pH, humedad, temperatura, entre otros.
- Se identificó que los costos asociados a la operación del proyecto le permitirán a la empresa reducir sus gastos anuales en un 56,65%, pasando de \$750.000 para la disposición externa de los biosólidos a \$325.000 por concepto de mantenimiento e insumos para el desarrollo del proceso de compostaje. Adicionalmente, considerando el valor promedio del compost en el mercado y la cantidad de material producido, solo le permitiría a la empresa obtener un

ingreso neto adicional de \$1.333.880 por año, lo que no genera retorno rápido de la inversión inicial debido a sus bajos volúmenes de producción de lodos.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar la caracterización del contenido de aluminio en los lodos y el compost, para corroborar la concentración de este elemento dentro de las masas y así establecer el tipo de uso para el producto final según normativa.
- Evaluar la posibilidad de cambiar el coagulante que se maneja en la PTAR de la empresa, esto en base a que no es adecuado tratar suelos con fertilizantes ricos en aluminio ya que este elemento puede generar problemas en los cultivos.
- Para facilitar el monitoreo de variables como pH, humedad, temperatura, conductividad, entre otros, se recomienda la compra de un equipo medidor multiparámetro el cual garantizará la trazabilidad de las variables mencionadas al momento de desarrollar el proceso de compostaje y disminuirá la posibilidad de contaminación cruzada en los procesos productivos de Laboratorios Esko Ltda.
- Para el uso de los residuos generados en los procesos de extractos se debe considerar el tipo de solvente utilizado y la proporción en la que fue aplicado, esto debido a que en grandes proporciones puede afectar el proceso de compostaje y algunos componentes pueden ser perjudiciales para el producto final

BIBLIOGRAFIA

AKEIBER, HUSSEIN J. et. al. Production application of paraffin waxes refining process in Iraq and used as phase change materials. [en línea]. En: febrero, 2016. Vol. 4. Nro. 1. p. 96-100 [Consultado en: 10, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/293651055_Production_application_of_paraaffin_waxes_refining_process_in_Iraq_and_used_as_phase_change_materials

ALCALDE, María Teresa. Alimentos usados de forma cosmética: Propiedades y aplicaciones [en línea]. *Revista Offarm.* 2007, vol. 26, nro. 3, pp. 100-109. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <http://dica.minec.gob.sv/inventa/attachments/article/7639/Alimentos%20y%20cosm%C3%83%C2%A9tica.pdf>

ALCAÑIZ, Ernesto de Jesús. Fundamentos de reactividad inorgánica. [en línea]. En: Química Orgánica I. Universidad de Alcalá, 2019. [Consultado en: 01, mayo, 2020]. Disponible en: http://www3.uah.es/edejesus/resumenes/QI/Tema_3A.pdf

ALMENDROS MARTÍN, Gonzalo *et al.* Biodegradación y compostaje de la paja de trigo inoculada con *Ulocladium atrum* [en línea]. *Agrochimica*, 1987, vol. 31. nro. 4-5. pp. 438-456. ISSN 83081277. [Consultado en: 05, julio, 2020]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/51359/1/Biodegradaci%C3%B3n%20y%20compostaje%20de%20la%20paja%20de%20trigo.pdf>

ALONSO RODRÍGUEZ, Fco. Javier. PROPIEDADES FÍSICAS: DENSIDAD Y POROSIDAD. [en línea]. Departamento de Geología, Universidad de Oviedo. Oviedo, España: 2013. [Consultado en: 08, agosto, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/237009661_PROPIEDADES_FISICAS_DENSIDAD_Y_POROSIDAD

ANDRADE MARTÍNEZ, Claudia. Desarrollo de la fórmula para un producto de higiene personal tipo gel de baño y su mezcla de mercado [en línea]. Trabajo de grado maestría. Antigua Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ciencias químicas y farmacia, 2011. [Consultado en: 6, febrero, 2020]. Disponible en: <https://biblioteca-farmacia.usac.edu.gt/Tesis/MAIES58.pdf>

ANDRITZ Separation. Sludge drying process: Economical, compact, and safe. [en línea]. Holanda: ANDRITZ Gouda. [Consultado en: 21. Junio, 2020]. Disponible en: http://www.andritzgouda.com/uploads/docs/AG_Sludge_drying_brochure_def_web.pdf

ARAUJO, Jesús, *et al.* Aprovechamiento tecnológico de la cera de abeja para la obtención de productos sintéticos orgánicos, no tóxicos para el ser humano [en línea]. Proyecto RAIS. Mérida: Universidad de Los andes. Facultad de ingeniería, escuela de ingeniería química. Departamento de química industrial y aplicada, 2015. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en:

<http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/marquezronald/wp-content/uploads/PROYECTO-FINAL-LISTO-Laboratorio-de-Qu%C3%ADmica-Industrial1.pdf>

ARQUIMI: EL ARTE DE LA QUÍMICA [sitio web]. Propilenglicol [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.arquimi.com/blog/p13410-propilenglicol-que-es-y-cuales-son-sus-usos.html>

ASSES, Nora. et al. Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or Green residues: Process monitoring and agriculture value of the resulting compost [en línea]. En: *Process Safety and Environment Protection*. 2018, vol. 114, pp. 25-35. ISSN 0957-5820. [Consultado en: 1, agosto, 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957582017304093>

AYILARA, Modupe Stella, et. al. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. [en línea]. En: Sustainability MDPI. Mayo, 2020. Vol. 12 nro. 4456. pp. 1-23 [Consultado en: 05, agosto, 2020]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/11/4456/htm>

BARRIOS PÉREZ, José Antonio. ASPECTOS GENERALES DEL MANEJO DE LODOS. [en línea]. En: Curso sobre manejo y aprovechamiento de lodos provenientes de pantas de tratamiento (3-4, diciembre, 2009). Evento. México D.F.: 2009 [Consultado en: 23, enero, 2020]. Disponible en: <http://www.ai.org.mx/ai/archivos/talleres/aprovechamiento-lodos/Aspectos%20Generales%20del%20Manejo%20de%20Lodos.pdf>

BATHAM, Manish; GUPTA, Richa y TRWARI, Archana. Implementation of Bulking Agents in Composting: A Review. [en línea]. En: Journal of Bioremediation & Biodegradation, septiembre, 2013. Vol. 4; nro. 7. ISSN: 2155-6199. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: https://www.omicsonline.org/implementation-of-bulking-agents-in-composting-a-review-2155-6199.1000205.php?aid=19176#tables_figures

BETELGEUX. Las Arqueas: un mundo microbiológico por descubrir. [sitio web]. Valencia, España: BETERLGEUX, 2020. [Consultado en: 05, mayo, 2020]. Disponible en: <https://www.betelgeux.es/blog/quienes-somos/>

BIOEM. Tecnología EM®. ¿Qué es la tecnología EM®? [sitio web]. Pueblo libre, Perú: BIOEM. [Consultado en: 12, agosto, 2020]. Disponible en: <http://bioem.com.pe/tecnologiaem.html>

BOLAÑOS, Gloria Lucero. Diseño técnico y elaboración de un “kit” de cosméticos para la higiene de la piel sensible [en línea]. Quito: Universidad Iberoamericana del Ecuador, 2013. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: https://www.unibe.edu.ec/wp-content/uploads/2017/08/6.2_KitCosmetico.pdf

BORRERO GONZÁLES, Gina Paola. Estudio comparativo del uso de dos sustratos con inóculos microbiales para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos en

compostaje doméstico [en línea]. Trabajo de grado magister. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica. Área Académica Agroforestal. Programa de Maestría en Gestión de Recursos Naturales y Tecnologías de Producción, 2014. [Consultado en: 2, agosto, 2020]. Disponible en: <http://163.178.205.27:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/67/TFG%20Gina%20Borrero%20Final%20aprobado%20firmas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

BUENO MÁRQUEZ, Pedro, DÍAZ BLANCO, Manuel y CABRERA CAPITÁN, Francisco. *Factores que afectan al proceso de compostaje*. [en línea]. En: Compostaje. Madrid: España, 2007. P. 93-110. [Consultado en: 10, marzo, 2020]. Disponible en: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

BUENO, Mariano. *Cómo hacer un buen compost: Manual para horticultores ecológicos*. 3ra ed. Madrid: La fertilidad de la tierra, Ediciones Navarra, 2007. 170p. ISBN 9788493277987. [Consultado en: 25, febrero, 2020]. Disponible en: <https://ecocosas.com/wp-content/uploads/Biblioteca/perma/Como%20Hacer%20un%20Buen%20Compost.pdf>

BUITRAGO AMÓRTEGUI, Daniela y GARZÓN FORERO, Estefanía. 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. [en línea]. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2019. [Consultado en: 5, mayo, 2020]. disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7716/1/6122882-2019-2-IQ.pdf>

BURÉS PROFESIONAL S.A. BIOFILTRO DE CORTEZA DE VEGETAL TRATADA. [en línea]. Girona. BURÉS PROFESIONAL S.A [Consultado en: 21, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.burespro.com/wp-content/uploads/2020/03/582-5.pdf>

CABEZAS ROJAS, Iván Orlando. *BIOFILTRACIÓN DE COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES UTILIZANDO DIFERENTES TIPOS DE LECHO BASADOS EN MEZCLAS DE COMPOST DE RSU-PODA: MONITORIZACIÓN MEDIANTE DIVERSAS TÉCNICAS*. [en línea]. Memoria Doctor. Sevilla: Universidad de Sevilla. Departamento de Protección del Sistema Suelo, Planta, Agua, 2013.249 p. [Consultado en: 20, junio, 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/36121935.pdf>

CAMACHO, A. et al. Método para la determinación de bacterias coliformes, coliformes fecales y *Escherichia coli* por la técnica de diluciones en tubo múltiple (Número más Probable o NMP). [en línea]. En: 2009. Técnicas para el Análisis

Microbiológico de Alimentos. 2 ed. Facultad de Química, UNAM. México. 1-17 p. [Consultado en: 10, mayo, 2020]. Disponible en: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/TecnicBasicas-Colif-tot-fecales-Ecoli-NMP_6529.pdf

CAMPOS, María Claudia, et. al. Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos. [en línea]. En: 2008. *Biomédica*, 38(1), 42-53 p. [Consultado en: 10, marzo, 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.7705/biomedica.v38i0.3352>

CARREÑO, Andrea y CHAPARRO GIRALDO, Alejandro. Tolerancia al aluminio en especies vegetales: Mecanismos y genes [en línea]. En: *Universitas Scientiarum*.2013, nro. 3, Vol. 18, pp. 283-210. ISSN 0122-7483. [Consultado en: 14, junio, 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/unsc/v18n3/v18n3a04.pdf>

CARPIO ARTEAGA, Carlos Rafael; MARTÍNEZ OSORTO, Alexander Vladimir y RUÍZ BARRIETOS, Ramiro Oswaldo. Diseño de un proceso químico para la recuperación de aluminio contenido en los lodos provenientes de la planta potabilizadora de aguas las pavas [en línea]. Trabajo de grado. San Salvador: Universidad de el Salvador. Facultad de ingeniería y arquitectura. Escuela de ingeniería química e ingeniería de alimentos, 2016. [Consultado en: 26, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/10354/1/Dise%C3%B1o%20de%20un%20proceso%20qu%C3%ADmico%20para%20la%20recuperaci%C3%B3n%20de%20aluminio%20contenido%20en%20los%20lodos%20provenientes%20de%20la%20Planta%20Potabilizadora%20de%20Agua%20Las%20Pavas.pdf>

CEDIM CAT. Centro de Información de Medicamentos de Cataluña. ¿Qué son los excipientes? [sitio web]. Cataluña, España. [Consultado en: 10, junio, 2020] Disponible en: https://www.cedimcat.info/index.php?option=com_content&view=article&id=211:que-son-los-excipientes&catid=40&Itemid=472&lang=es

CESPEDES SÁNCHEZ, Sharon Stefany y JIMENEZ FARIETA, María Camila. Desarrollo de un proceso de compostaje para el aprovechamiento de lodos resultantes de la planta de tratamientos de agua potable Francisco Wiesner EAAB-ESP [en línea]. Proyecto integral de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programas de Ingeniería Química, 2018. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6852/1/6132192-2018-2IQ.pdf>

CEVALLOS MEDINA, María Verónica. Elaboración y control de calidad de una crema corporal hidratante a base de mucilagos y aromas naturales [en línea]. Tesis de grado. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de

ciencias, 2013. [Consultado en: 10, marzo, 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2923/1/56T00415.pdf>

CHEMICALSAFETYFACTS [sitio web]. Alcohol cetílico. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/alcohol-cetilico/>
CHEMICAL SAFETY FACTS [sitio web]. Laurilsulfato de sodio. [Consultado en: 15, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.chemicalsafetyfacts.org/es/laurilsulfato-de-sodio/#:~:text=Usos%20y%20beneficios,-Productos%20de%20cuidado&text=Funciona%20como%20surfactante%2C%20que%20atrapa,manos%2C%20limpiadores%20faciales%20y%20burbujas.>

CHILE. INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). Norma Chilena NCh 2880/2004. Compost Clasificación y requisitos. [en línea]. Temuco: Servicio agrícola y ganadero. Departamento de protección de recursos naturales. Proyecto de Agricultura Orgánico, 2004. [Consultado en: 11, agosto, 2020]. Disponible en: <https://vdocuments.site/nch-2880.html>

CLÍNICA MARLY. Cuida su salud. Crema Marly y Crema Marly Bebés. [sitio web]. Bogotá, Colombia: Clínica Marly. [Consultado en: 3, marzo, 2020]. Disponible en: <https://marly.com.co/crema-marly/>

CLÍNICA UNIVERSIDAD DE NAVARRA. Eubacteria. [sitio web]. Pamplona. CLÍNICA UNIVERSIDAD DE NAVARRA, 2020. [Consultado en: 01, agosto, 2020]. Disponible en: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/eubacteria>

COGOLLO FLÓREZ, Juan Miguel. Clarificación de aguas usando coagulantes polimerizados: Caso del Hidroxicloruro de aluminio [en línea]. *DYNA*. 2011, vol. 78. nro. 165. pp. 18-27. ISSN 2346-2183. [Consultado en: 25, marzo, 2020]. Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/27747/1/25636-90006-1-PB.pdf>

COLINA IREZABAL, María Luisa. EMULSIFICACIÓN Y HOMOGENIZACIÓN [diapositivas]. México D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, 2016. 38 diapositivas, color. [Consultado en: 16, enero, 2020]. Disponible en: http://sgpwe.izt.uam.mx/files/users/uami/mlci/red_tam_liquidos_emuls.pdf

COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Diseño de plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Tratamiento y disposición de Lodos [en línea]. México D.F.: Secretaria de Medio ambiente y Recursos Naturales, 2019. Libro 32, ISBN: 978-607-8246-88-5. [Consultado en: 17, junio, 2020]. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro32.pdf>

COOPERBAND, Leslie. The Art and Science of Composting: A resource for farmers and compost producers. [en línea] University of Wisconsin-Madison; Center for Integrated Agricultural System. Wisconsin: 2002. 17 p. [Consultado en: 1, abril,

2020]. Disponible en: <https://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf>

COSMETICS INFO. Beeswax. [en línea]. Washington, D.C: Cosmetics info, 2016. [Consultado en: 9, marzo, 2020]. Disponible en: <https://cosmeticsinfo.org/ingredient/beeswax>

DAVID BORDER COMPOSTING CONSULTANCY. *The principles of open composting systems*. [en línea]. En: Processes and Plant for Waste Composting and other Aerobic Treatment. Cambridgeshire, Environment Agency, 2002. P. 25-38. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. Disponible en: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/290347/sp1-311-tr-e-e.pdf

DEFINICIÓN. DE. Oligoelemento. [sitio web]. Definición.de, 2020 [Consultado en: 10, junio, 2020]. Disponible en: <https://definicion.de/oligoelemento/>

DÍAZ MONGE, María E. Proceso de secado de lodos y fangos contaminantes utilizando efecto invernadero. [en línea]. Trabajo de grado: Ingeniero civil. Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 2016. [Consultado en: 13, agosto, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/6638/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-169.pdf> pp. 41-42

DASSANAYAKE, Kithsiri Bandara, *et al.* A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges [en línea]. En: *Waste Management*. 2015, Vol. 38, pp. 321-335. ISSN 0956-053X. [Consultado en: 10, septiembre, 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X14005753>

EUROPEAN MEDECINES AGENCY. Boric acid and borate used as excipients. [en línea]. Londres, UK. European Medicines Agency, 2017. EMA/CHMP/765436/2012. 1-19 p. [Consultado en: 15, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.ema.europa.eu/en/documents/scientific-guideline/questions-answers-boric-acid-borates-used-excipients-medicinal-products-human-use_en.pdf

FORO Cremas y Emulsiones [en línea]. Sevilla: Mendru, 2015 [Consultado en: 16, enero, 2020]. Disponible en: <https://www.mendru.com/cremas/fases>.

FRANCISCO, Ana y FONSECA, Ana Paula. Parabens paradoxes in cosmetic formulations: a review. [en línea]. En: agosto, 2016. Vol. 3. nro. 8. pp. 1-11. ISSN: 2394-9414. [Consultado en: 15, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307856008_PARABENS_PARADOXES_IN_COSMETIC_FORMULATIONS_A_REVIEW

FUNDASES. Resoluciones [sitio web]. Bogotá: FUNDASES, 2020. [Consultado en: 12, agosto, 2020]. Disponible en: https://1325694d-4429-5f85-a382-5ad81bf1a0b3.filesusr.com/ugd/133dba_358f841ddc644d68a39a0574de8c7667.pdf

GAGNETEN, Ana María et. al. Biología conceptos básicos. [en línea]. Universidad Nacional del Litoral, 2015. ISBN en trámite pp.1-27. [Consultado en: 25, junio, 2020]. Disponible en: https://www.unl.edu.ar/ingreso/cursos/biologia/wp-content/uploads/sites/9/2016/11/BIO_04.pdf.pdf

GENERALITAT DE CATALUNYA: DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT. Guía práctica para el diseño y la explotación de plantas de compostaje. Cataluña: Agencia de Residuos de Cataluña, 2016. p. 91. ISSN. [Consultado en: 26, marzo, 2020]. Disponible en: http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf.

GÓMEZ MOLINA, Laura Lizeth y MERCHAN BERMUDEZ, Ángela María. Caracterización fisicoquímica de los lodos provenientes de una planta de tratamiento de agua residual industrial de una empresa de café del departamento de Caldas [en línea]. Trabajo de grado. Universidad Católica de Manizales, Manizales: 2016. [Consultado 16, enero, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucm.edu.co:8080/jspui/bitstream/handle/10839/1305/Laura%20Lizeth%20Gomez%20Molina.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

GUERRERO GONZÁLEZ, Carmen. Diseño de una planta de fabricación de jabón a partir de aceites vegetales usados [en línea]. Proyecto fin de carrera. Almería: Universidad de Almería. Facultad de Ciencias Experimentales y Escuela Politécnica superior, 2014. [Consultado en: 25, febrero, 2020]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/143454997.pdf>

GUTIRREZ MARTÍN, María del Carmen. Determinación y control de olores en la gestión de residuos orgánicos. [en línea]. Tesis doctoral: Universidad de Córdoba, Departamento de Química inorgánica e ingeniería química. Córdoba, 2014. [Consultado en: 15, julio, 2020]. Disponible en: <https://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/11811/201400000912.pdf?sequence=1>

HAUG, Roger T. *Composting systems*. [en línea]. En: HAUG, Roger T. The Practical Handbook of COMPOST ENGINEERING. 2 ed. Florida, US: Lewis Publishers, 1993. [Consultado en: 09, mayo, 2020]. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=MX_jbemODmAC&pg=PA32&lpg=PA32&dq=vertical+flow+composting&source=bl&ots=We3Dnjev7&sig=ACfU3U3lXqe6DPk6up-9ayueV5T9dT9QNNQ&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiolsLervXpAhUPd98KHe4SDZEQ6AEwEHoECAoQAQ#v=onepage&q=vertical%20flow%20composting&f=false

HUAYLLANI HILARIO, Kael Omar. Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016. [en línea]. Tesis: Título Profesional de Ingeniero Ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Continental, 2017. 144 p. [Consultado en: 11, agosto, 2020]. Disponible en: https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/3823/1/INV_FIN_107_TE_Huayllani_Hilario_2017.pdf

HUBER TECHNOLOGY. HUBER Secado a baja y media temperatura BT. [en línea] Chile: Hyber Latin America y Cia. Ltda, ESQUEMA.[Consultado en: 22, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.huber-technology.cl/es/productos/tratamiento-de-fangos/secado/huber-secado-a-baja-y-media-temperatura-bt.html>

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

_____. Productos para la industria agrícola: Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. NTC 5167. Bogotá D.C.: El Instituto, 2004

INSTITUTO NACIONAL DEL CANCER. Emoliente [sitio web]. Estados Unidos. INSTITUTO NACIONAL DEL CANCER, septiembre, 2018. [Consultado en: 25, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionario/def/emoliente>

LABORATORIOS ESKO LTDA. Manual de procedimientos: Procedimiento operación planta de tratamiento. Código: P-GC-060. Bogotá, D.C [Consultado en: 25, marzo, 2020]

LACHENMEIR, Dirk. Safety evaluation of topical applications of ethanol on the skin and inside the oral cavity [en línea]. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*. 2008, vol. 3, nro. 26, pp. 1-16. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1186/1745-6673-3-26.pdf>

LÓPEZ HERRERA, José Luis y ALARCÓN, M. Sulfato de calcio: propiedades y aplicaciones clínicas [en línea]. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación Oral*. 2011, vol. 4, pp. 138-143. ISSN 0719-0107. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/piro/v4n3/art12.pdf>

LÓPEZ, Beatriz. Rotíferos: características, hábitat, reproducción, alimentación. [sitio web]. Liefer, 2019. [Consultado en: 10, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.lifeder.com/rotiferos/>

MASON, I. G. y MILKE, M. W. Physical modelling of the composting environment: A review. Part 1: Reactor systems. [en línea]. En: Waste management. March, 2005. vol. 25, no. 5, p. 484. [Consultado en: 27, junio, 2020]. Disponible en: <http://www.dl.mozh.org/up/compost1.pdf>

MCSWEENEY, James. Aerated Stratic Pile Composting Systems [en línea]. En: Community-Scale Composting systems: A Comprehensive Practical Guida for Closing the Food System Loop and Solving Our Waste Crisis. White River Junction, Estados Unidos, Chelsea Green Publishing Co, 2019. P. 203-271. [Consultado en: 10, junio, 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.co/books?id=nCOADwAAQBAJ&pg=PA222&dq=aeration+composting+systems+requirements&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjO79SXmPjpAhXynuAKHccKDNIQ6AEIJzAA#v=onepage&q=aeration%20composting%20systems%20requirements&f=false>

MEDINA LARA, Socorro *et al.* Generación de un inoculante acelerador de compostaje [en línea]. *Revista argentina de Microbiología*, 2017. Vol. 50. nro. 2. pp. 206-210. [Consultado en: 5, julio, 2020]. Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0325754117301050?token=41B9CF72DBA4F6B358CABF01722F8FBBC372E1C2B719BEBF0A3BCDF794FEDEB6AFE19AB7512776C369704DD3600B917D>.

MELLO LEITE MORETTI, Sarah; IVANI BERTONCINI, Edna y HAMILTON ABREU, Cassio. Composting sewage sludge with green waste from tree pruning [en línea]. En: *Scientia Agricola*. 2015, vol. 72, nro. 5, pp. 432-439. ISSN 1678-992X. [Consultado en: 21, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.scielo.br/pdf/sa/v72n5/0103-9016-sa-72-5-0432.pdf>

MENDOZA, Manuel Vicente y VIGÍL SANCHEZ, Jairo Aarón. Evaluación físico-química y microbiológica de cuatro niveles de lodos ordinarios en la elaboración de compost [en línea]. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. El Salvador: Universidad de el Salvador. Facultad de Ciencias Agronómicas, 2012. [Consultado en: 16, enero, 2020]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3080/1/13101359.pdf>

METTLER TOLEDO. Floculación. [sitio web]. México: METTLER TOLEDO. [Consultado en: 05, junio, 2020]. Disponible en: https://www.mt.com/mx/es/home/applications/L1_AutoChem_Applications/L2_ParticleProcessing/Formulation_Flocculation.html

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). “Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales”; [en línea] Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014. [Consultado en: 15, enero, 2020]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf>

MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO. Norma Técnica OS.090 Plantas de tratamiento de Aguas Residuales. NORMA OS.090. [en línea] Lima.: El Ministerio, 2009. [Consultado en: 26, febrero, 2020]. Disponible en: http://ww3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf

MISRA, R.V; ROY, R.N e HIRAOKA, H. On- farm composting methods. [en línea]. Roma: FAO, 2003. ISSN 1729-0554 [Consultado en: 28, febrero, 2020]. Disponible en: http://www.fao.org/organicag/doc/on_farm_comp_methods.pdf

MIYATAKE, Fumihito e IWABUCHI, Kazunori. Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure [en línea]. *Bioresourse Technology*. 2006, vol. 97. nro. 7. pp. 961-965. [Consultado en: 25, marzo, 2020]. Disponible en: <https://ezproxy.uamerica.edu.co:2052/science/article/abs/pii/S0960852405002385>

MORENO FLOREZ, Álvaro y PEÑARANDA R, María Isabel. FITOTOXICIDAD: Más que un culpable, una mirada a los múltiples factores en interacción. [sitio web]. METROFLOR, La actualidad técnica de la floricultura colombiana, 11, febrero, 2019. [Consultado en: 05, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.metroflorcolombia.com/fitotoxicidad-mas-que-un-culpable-una-mirada-a-los-multiples-factores-en-interaccion/>

MUNDO NATURAL. BIOFILTRO- TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL. [en línea]. El proyecto Biomasa y la Universidad Nacional de Ingeniería de Nicaragua. 2019. [Consultado en: 20, julio, 2020]. Disponible en: https://www.youtube.com/watch?v=U-s47X_dk1c&t=11s

NUÑEZ ZARUR, Juan Ricardo y PEÑA CASTRO, Margareth. Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa Aguas de Cartagena S.A E.S.P. y estudio de la viabilidad económica de su reutilización como coagulante [en línea]. Trabajo de grado. Cartagena de Indias D. T. y C.: Universidad de Cartagena. Facultad de Ingeniería química, 2011. [Consultado en: 19, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/RECUPERACI%C3%93N%20DE%20SULFATO%20DE%20ALUMINIO%20A%20PARTIR%20DE%20LODOS%20GENERADOS%20EN%20LA%20PLANTA%20DE%20POTABILIZACI%C3%93N%20DE%20LA%20EMPRESA%20AGUAS%20DE%20CARTAGENA%20S.pdf>

OIRSA. Manual de producción de sustratos para viveros [en línea]. OIRSA. Costa rica, 2002. [Consultado en: 1, julio, 2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/22832416-Produccion-de-sustratos-para-viveros.html>

ORUS, Pilar. Higiene corporal: Geles de baño [en línea]. Revista Offarm: Farmacia y Sociedad.2002, vol. 21. nro. 1. pp. 74-81. SSN 0212-047X. [Consultado en: 21, febrero, 2020]. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-pdf-13025048>

PÉREZ FERNÁNDEZ, Alfredo Ricardo *et al.* Sustrato biofísico para agricultura protegida y urbana a partir de compost y agregados provenientes de los residuos sólidos urbanos [en línea]. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 2018, Vol. 34. nro. 3. pp. 383-394. ISSN 0188-4999. [Consultado en: 05, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v34n3/0188-4999-rica-34-03-383.pdf>

POCHTECA [sitio web]. Monoestearato de gliceril. [Consultado en: 17, junio, 2020]. Disponible en: <https://www.pochteca.com.mx/productosmp/monoestearato-de-glicerilo/>

PRODEX. Catálogo de productos. Aislamiento térmico reflectivo AD [en línea]. Chile. 14 pp. [Consultado en: 01, julio, 2020]. Disponible en: http://www.macopa.com/sites/default/files/adjuntos-productos/10_catalogo_prodex.pdf

PUNÍN CRESPO, Eva. *et. al.* Aspectos Prácticos de la Farmacotecnia en un Servicio de Farmacia. Situación actual. [en línea]. Madrid. Astellas Pharma S.A 2011. 232 p. ISBN: 978-84-938177-3-2 [Consultado en: 9, marzo, 2020]. Disponible en: <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/FARMACOTECNIA/AspectosPracticos.pdf>

QARANI AZIZ, Shuokr; ALI OMAR, Imad y SABAH MUSTAFA, Jwan. Design and study for composting process site.[en línea] *International Journal of Engineering Inventions*. Septiembre, 2018. Volumen 7, Issue 9 pp. 08-18ISSN: 2278-7461. [Consultado en: 15, febrero, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329000060_Design_and_Study_for_Composting_Process_Site

QUIMIPUR, S.L.U. [sitio web]. Sodio hidróxido 30% QP. Madrid: Productos químicos y materiales de laboratorio. [Consultado en: 17, junio, 2020]. Disponible en: <http://quimipur.com/pdf/sodio-hidroxido-30.pdf>

QUIMSA: QUÍMICAS INTEGRADA S.A. [sitio web]. Mosquera: Química integrada S.A. [Consultado en: 5, marzo, 2020]. Disponible en: <http://quinsa.com.co/modulos/pagina/vista/producto/index.php?id=9>

QUINTANA VALENCIA, Judith Marcela. Estudio para la viabilidad técnica de compostaje a partir de biosólido seco proveniente de la planta de aguas residuales PTAR- Cañaveralejo Cali [en línea]. Trabajo de grado Ingeniería agroindustrial. Universidad San Buenaventura, Cali: 2012 [Consultado 23, enero, 2020]. Disponible en: http://bibliotecadigital.usb.edu.co/bitstream/10819/1112/1/Estudio_Ptar_Ca%C3%B1averalejo_Quintana_2012.pdf

RAMOS, Jessica. *Qué es el jabón y cómo se hace*. En: *Cómo hacer jabones: Aprende a formular recetas de jabón por saponificación* [en línea]. Ebook. España:

Jessica Ramos, 2016. pp. 7-28. ISBN: 9781310910326. [Consultado en: 12, marzo, 2020]. Disponible en: https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=IxOBDAQAQBAJ&oi=fnd&pg=PT28&dq=formulaci%C3%B3n+de+jabones+&ots=dl-5RYuEbx&sig=ptaYnV7OdTgUPtbPq-el6V7Ffow&redir_esc=y#v=onepage&q&f=true

RAO Y, Surampalli, et al. COMPOSTING. [en línea]. En: Handbook of Environmental Engineering. McGraw-Hill Education: New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, 2018. ISBN 9781259860225. [Consultado en: 1, marzo, 2020] Disponible en: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9781259860225/toc-chapter/chapter21/section/section8>

RIVERA MÉNDEZ, Yurany, *et al.* La toxicidad por aluminio (Al 3+) como limitante del crecimiento y productividad agrícola: el caso de la palma de aceite [en línea]. *En: Revista Palmas, Bogotá.* 2016, nro. 1, Vol. 37, pp. 11-23. ISSN 0121-2923. [Consultado en: 22, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309763813_La_toxicidad_por_aluminio_Al_3_como_limitante_del_crecimiento_y_la_productividad_agricola_el_caso_de_la_palma_de_aceite_Aluminum_Al_3_Toxicity_as_a_Limiting_Factor_for_Growth_and_Agricultural_Producti

RODRÍGUEZ MEDINA, Álvaro José. Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio Rochester [en línea]. Proyecto de grado Ingeniería química. Bogotá: Fundación universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2017. [Consultado en: 2, febrero, 2020]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6574/1/6121830-2017-02-IQ.pdf>

ROJAS, Ricardo. SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. [en línea]. *En: Curso internacional "GESTIÓN INTEGRAL DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES" (25-27, septiembre, 2002). Evento.* [Consultado en: 26, enero, 2020]. Disponible en: <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>

ROJAS G, Orlando. Introducción a la reología. [en línea]. Mérida, Venezuela: UNIVERSIDAD DE LOS ANDES, Laboratorio de formulación, interfaces, reología y procesos, 1999. Versión: #2. [Consultado en: 01, julio, 2020]. Disponible en: <http://www.firp.ula.ve/archivos/cuadernos/S520B.pdf>

ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina. [en línea]. FAO. Santiago de Chile: 2013 [Consultado en: 4, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

ROSALES CASTRO, Martha; PÉREZ LÓPEZ, María Elena y PONCE RODRÍGUEZ, María del Carmen. Propiedades antirradicales libres y antibacterianas de extracto de corteza de pino. [en línea]. En: *Madera y Bosques*, 2006. Vol: 12. nro.1, pp. 37-49. [Consultado en: 23, junio, 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/mb/v12n1/2448-7597-mb-12-01-37.pdf>

SANCHEZ GUERRERO, Gabriel de Las Nieves. Capítulo 18: Matrices para la evaluación y selección de alternativas. [en línea]. En: *Técnicas participativas para la planeación*. ISBN 968552009-9. México, 2003. pp. 197-223 [Consultado en: 1, junio, 2020]. Disponible en: <https://eloisacademas.files.wordpress.com/2017/03/sc3a1nchez-guerrero-tecnicas-participativas-para-la-planeacion.pdf> p. 204

SANDOVAL, Luciano, *et al.* Estudio piloto para reducir el volumen de lodos de plantas potabilizadoras [en línea]. *Revista Paseo Cuauhnáhuac*. 2016, nro. 8532, pp. 1-13. [Consultado en: 13, noviembre, 2019]. Disponible en: <http://www.elaguapotable.com/ESTUDIO%20PILOTO%20PARA%20REDUCIR%20EL%20VOLUMEN%20DE%20LODOS%20DE%20PLANTAS%20POTABILIZADORAS.doc.pdf>

SCHUCHARDT, Frank. *Composting of Organic Waste*. [en línea]. En: JÖRDENING, Hans-Joachim; WINTER, Josef. *Comp. Environmental Biotechnology Concepts and Applications*. Alemania, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, 2005. [Consultado en: 09, julio, 2020]. Disponible en: http://www.khoamoitruonghue.edu.vn/courses/EnvTech/Composting_of_organic_waste.pdf

SECRETARÍA DISTRITAL DE AMBIENTE. ALCALDÍA DE BOGOTÁ. Informe anual de calidad del aire. [en línea] Bogotá, 2019. 126PM04-PR84-M-2 V4.0. 114 pp. [Consultado en: 16, septiembre, 2020]. Disponible en: https://oab.ambientebogota.gov.co/?post_type=dlm_download&p=13003
SENGUPTA, Amit; BEHERA, Jagadananda. Comprehensive 151ie won chemistry, manufacturing & applications of lanolin extracted from wool pretreatment. [en línea]. En: 2014. Vol. 03. nro. 07. pp. 33-43 [Consultado en: 16, marzo, 2020]. Disponible en: [http://ajer.org/papers/v3\(7\)/F0373343.pdf](http://ajer.org/papers/v3(7)/F0373343.pdf)

SEPÚLVEDA VILLADA, Luisa Aníbal y ALVARADO TORRES, John Alexander. MANUAL DE COMPOSTAJE: Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá. [en línea]. ACODAL PURA VIDA. Medellín: 2013. [Consultado en: 3, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/manual-compostaje.pdf>

SERRET-GUASCH, Nurian; GIRALT-ORTEGA, Giselle y QUINTERO-RIOS, Mairet. Caracterización de aserrín de diferentes maderas. *RTQ* [en línea]. En: 2016, vol.36, n.3 pp.395-405. [Consultado en: 2, junio, 2020] Disponible en:

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852016000300012&lng=es&nrm=iso. ISSN 2224-6185

SIDDIQI, Khwaja Salahuddin. et. al. Properties of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Activity Against Microbes. [en línea]. En: 2018. 13:141. [Consultado en: 20, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/325032172_Properties_of_Zinc_Oxide_Nanoparticles_and_Their_Activity_Against_Microbes

SIEIRO PEREIRA, Borja, et. al. Capítulo XI: Manual de Cálculo. [en línea]. En: Planta de producción de ácido fórmico. Universitat Autònoma de Barcelona. p. 4-76. [Consultado en: 11, julio, 2020]. Disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2016/168452/TFG_AFOR_v11.pdf

Soler & Palau. CAPITULO 6: ¿Qué es un ventilador? Características y clasificación. [en línea]. España: Soler & Palau, 2019. [Consultado en: 14, septiembre, 2020]. Disponible en: <https://www.solerpalau.mx/ASW/recursos/mven/Capitulo%206%20Manual%20de%20Ventilacion.pdf>

SOLEDISPA SUÁREZ, Denisse Jazmín. Plan para la elaboración y comercialización de una crema corporal aclaradora, que contenga dióxido de titanio y extracto de limón, para mujeres que presenten hiperpigmentación, en la ciudad de Guayaquil [en línea]. Trabajo de titulación. Guayaquil: Universidad de Guayaquil. Facultad de ciencias químicas. Unidad de titulación, modalidad emprendimiento, 2015. [Consultado en: 16, junio, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/8160/1/BCIEQ-T-0090%20Soledispa%20Su%c3%a1rez%20Denisse%20Jazmin.pdf>

SORIANO VILCAHUAMA, Jakelin Analy. Tiempo y calidad del compost con aplicación de tres dosis de “microorganismos eficaces”- Concepción. [en línea]. Tesis: Ingeniero forestal y ambiental. Huancayo, Perú. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016. 99 p. [Consultado en: 10, agosto, 2020]. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3487/Soriano%20Vilcahuaman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

SUNDBERG, Cecilia. Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH [en línea]. Tesis Doctoral. Uppsala: Swedish University of Agricultural Sciences. Facultad de recursos naturales y ciencias agrícolas. Departamento de biometría e ingeniería, 2005. [Consultado en: 15, junio, 2020]. Disponible en: <https://pub.epsilon.slu.se/950/1/CeSu103fin0.pdf>

TDMA. [en línea]. Bruselas, Bélgica: TDMA. [Consultado en: 18, marzo, 2020]. Disponible en: <https://tdma.info/titanium-dioxide-the-cosmetic-industrys-best-kept-secret/>

TORRES, PATRICIA. et. al. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. [en línea]. En: enero/abril, 2007. Vol. 27. Nro. 1. Universidad del Valle, Cali. P. 267-275 [Consultado en: 02, abril, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/250983004_Compostaje_de_biosolidos_de_plantas_de_tratamiento_de_aguas_residuales_Plant_biosolids_composting_of_wastewater_treatment

_____. Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales – PTAR [en línea]. *Revista Ingeniería e Investigación*. 2005, vol. 25. nro. 2. pp. 53-61. ISSN 0120-5609. [Consultado en: 1, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/643/64325208.pdf>

TRAUMMAN, Nancy M. y KRANSY, Marianne E. The science of composting. [en línea]. En: Composting in the classroom. Scientific inquiry for high school students. National Science Foundation, Cornell Waste Management Institute, Cornell Center for the Environment, 1997. [Consultado en: 24, julio, 2020]. Disponible en: <http://cwmi.css.cornell.edu/chapter1.pdf> p. 1-26

TREYBAL, Robert E. Operaciones de transferencia de masa. [en línea]. 2 ed. ISBN: 9781615028191. McGraw-Hill, 2000. 723 p [Consultado en: 12, septiembre, 2020]. Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/operaciones-de-transferencia-de-masa-robert-e-treybal.pdf>

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA. Laboratorio de parásitos humanos. [sitio web]. Medellín: UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2020. [Consultado en: 15, junio, 2020]. Disponible en: http://medicina.udea.edu.co/parasitologia/Gral_Protozoo.html

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA. SECADOR DE SÓLIDOS. [sitio web]. Cataluña, España. 2. Fundamentos teóricos. 2.1. Conceptos de secado. [Consultado en: 14, septiembre, 2020]. Disponible en: <http://epsem.upc.edu/~assecadordesolids/castella/fonaments%20materia.html>

UÇAROĞLU, Selnur y ALKAN, Ufuk. Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents [en línea]. En: Journal of the Air & Waste Management Association, Vol. 66. Nro. 3, 288-295. [Consultado en: 12, agosto, 2020]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/10962247.2015.1131205?needAccess=true>

US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. COMPOSTING [en línea]. En: National Engineering Handbook. Washington: US, 2000. P. 2-1-2-67. [Consultado en: 12, diciembre, 2019]. Disponible en: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=28910.wba>

VALDEZ CONTRERAS, Flor Azucena. Implementación y desarrollo en procesos de fabricación de cremas de uso corporal, obtenidas usando como base emulsión fabricada en frío, dirigida a la venta por catálogo de cosméticos en centro américa en la empresa Lancasco, S.A., planta atlántico [en línea]. Trabajo de grado. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2015. [Consultado en: 16, enero, 2020]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/3395/1/Flor%20Azucena%20Valdez%20Contreras.pdf>

VALENZUELA, Clara. Manual cremas y formas cosméticas [en línea]. Consultora Farmacéutica y Cosmética Natural. Versión gratuita. [Consultado en: 9, febrero, 2020]. Disponible en: <https://es.calameo.com/read/00425885693c0b299192b>

VELASCO VELASCO, Joel *et al.* Co2 y dinámica de poblaciones microbianas en compostaje de estiércol y paja con aireación [en línea]. *Terra Latinoamericana*, 2004. Vol. 22. nro. 3. pp. 307-316. ISSN 2395-8030. [Consultado en: 5, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57322307.pdf>

VEOLIA. Biocon: Secado térmico de lodos a bajas temperaturas. [en línea]. España: Veolia Water Technologies. 2017 [Consultado en: 23, Junio, 2020]. Disponible en: http://www.veoliawatertechnologies.es/tecnologias/secado_termico/

VICTORES MONROY, Alejandra. Estudio de una formulación fitoterapéutica para aplicación tópica con aceite esencial del Árbol del Té (*Melaleuca alternifolia*). [en línea]. Trabajo de grado Químico farmacéutico biológico. México. Universidad Autónoma de México. 32 p. [Consultado en: 15, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/qfb/tesis/tesis_victores_monroy.pdf

YUGATHA JAYASINGHE, Guttilla y TOKASHIKO, Yoshihiro. Synthetic aggregates produced by different wastes as soil ameliorant, a potting media component and waste management option [en línea]. *En: Waste Management*. Okinawa: 2010. p. 199-232. [Consultado en: 3, julio, 2020]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/waste-management/synthetic-aggregates-produced-by-different-wastes-as-a-soil-ameliorant-a-potting-media-component-and>

ZAPATA AGUILAR, Mercedes. Estudio técnico para el desarrollo de apósitos con nano partículas de plata y microcápsulas de aceite de caléndula para el tratamiento de heridas. [en línea]. Trabajo de grado Ingeniería Textil y Confecciones. Lima, Perú Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 2017. 84 p. [Consultado en: 11, marzo, 2020]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/b845/c2456cccbcc77facd06f08e0e66f421cef33.pdf>

ANEXOS

ANEXO A.

GUÍA DE OPERACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Para el desarrollo del proceso de compostaje se deben realizar los siguientes controles al proceso:

Concepto	Especificación	
Medición de temperatura	Diaria y a distintas alturas	
Medición de pH	Diaria	
Volteo	Cada 24 horas durante 5 minutos, 4 vueltas por minuto	
Microorganismos Eficaces	Inicial	24 ml ME/ 216 ml agua
	Durante proceso	36 ml ME/ 324 ml agua

Métodos de rectificación funcionamiento del compost (pruebas cortas). En esta sección se describen algunos métodos y técnicas que facilitan el reconocimiento de la etapa final del proceso de estabilización, en conjunto a su calidad.

- 1. Olor.** Es una prueba organoléptica en la que se debe verificar que el compost huelga a tierra húmeda (actinomicetos), si cumple este requerimiento significa que el proceso fue exitoso y puede utilizarse sin generar problemas. Caso contrario, si la mezcla desprende olores ácidos, sulfurosos o amoniacales, se supone que la fermentación no se completó o existieron zonas anaerobias que arruinaron el producto final; en este caso, el compost debe volver a iniciar con el proceso de degradación, mejorando la aireación de la pila.²⁴⁰
- 2. Prueba de la mano o puño.** Permite una rápida y sencilla evaluación sobre el proceso de fermentación, puede realizar en cualquiera de las etapas, examinando la humedad y textura de la mezcla. Esta prueba se realiza de la siguiente forma: Como primer paso se toma una muestra de material con la mano (utilizar guantes), se cierra en un puño y se presiona la porción con fuerza; mediante esta operación se verifica la salida de agua del material, si es en pequeñas cantidades la humedad es idónea en la mezcla (50 – 60%), por el contrario, si expulsa una gran cantidad es necesario aumentar los volteos y los métodos de aireación.²⁴¹ Si el compost no gotea y al abrir la mano permanece

²⁴⁰ BUENO, Mariano. Cómo hacer un buen compost: Manual para horticultores ecológicos. 3ra ed. Madrid: La fertilidad de la tierra, Ediciones Navarra, 2007. p. 93.

²⁴¹ NINCO CARDOZO, Cristian Felipe y SÁNCHEZ GONZÁLEZ, Jennifer Johana. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio el Rosal,

moldeado, la humedad se encuentra entre 20 - 30%, el proceso de estabilización ha finalizado.²⁴² Otro posible escenario que podría presentarse, es en el que al abrir el puño la muestra no sea capaz de permanecer compacta y se desmorone, por lo que es necesario humedecer la mezcla.²⁴³

3. **Color y aspecto.** Cuando la etapa de estabilización finalice el compost debe presentar una coloración oscura, los elementos que lo conforman no deben reconocerse y debe poseer una textura suelta y granulosa. Una coloración blanquecina acompañada por una textura polvorienta, indica sequedad en el compost.²⁴⁴
4. **Germinación de berros.** Es una prueba rápida, en la cual se evalúa la calidad del compost elaborado. El método consiste en llenar un recipiente con una cantidad considerable de compost y sembrar semillas de berro (cresson alénois o mastuerzo) en el mismo.²⁴⁵ Si la germinación surge a los 2 o 3 días, su crecimiento es regular y del desarrollo del brote se produce con normalidad en las semanas subsiguientes, el compost está bien fermentado y estabilizado, es de buena calidad y sus elementos nutritivos están en equilibrio. En el escenario en el que el crecimiento de los berros sea irregular, es probable que el proceso de maduración aún no ha terminado, es demasiado fresco y habrá que esperar un poco más de tiempo para que esté estabilizado.²⁴⁶ En caso de que la germinación tarde más de 8 días, existe la posibilidad de que el compost es demasiado rico en nitrógeno o desprende sustancias tóxicas volátiles (ácidos orgánicos, concentraciones altas de sales, entre otros).²⁴⁷ Si al momento de desarrollarse las hojas del berro, se observa una coloración amarilla o una baja intensidad de verde, el desarrollo de podredumbres, una textura rizada, necrosis o telarañas, es posible que el compost posea hongos patógenos y sustancias tóxicas, lo que implica que el compost no pasó por la fase termófila y no tuvo una higienización completa.²⁴⁸

Son pruebas empíricas que durante los años en los que se han estudiado el proceso de compostaje han servido como indicio de qué tan bien está transcurriendo el proceso.

Cundinamarca [en línea]. Trabajo de grado Ingeniería Química. Bogotá: Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Programa de Ingeniería Química, 2017. [Consultado en: 22, noviembre, 2019]. Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6036/1/6121848-2017-1-IQ.pdf>. p. 57.

²⁴² BUENO. Op. cit., p. 94.

²⁴³ NINCO y SÁNCHEZ. Op. cit., p. 94.

²⁴⁴ BUENO, Mariano. Cómo hacer un buen compost: Manual para horticultores ecológicos. 3ra ed. Madrid: La fertilidad de la tierra, Ediciones Navarra, 2007. p. 94.

²⁴⁵ *Ibíd.*, p. 94.

²⁴⁶ *Ibíd.*, p. 94.

²⁴⁷ *Ibíd.*, p. 95.

²⁴⁸ *Ibíd.*, p. 95.

ANEXO B

NORMATIVIDAD Y USOS AGRÍCOLAS PARA EL COMPOSTAJE PROVENIENTE DE LODOS RESIDUALES DE ALUMINIO.

Los biosólidos generados a partir de los lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales poseen varias aplicaciones, pero siguiendo el enfoque del proyecto, solo nos centraremos en sus aplicaciones agrícolas para el saneamiento de suelos y potencializador de cultivos.

Si el producto final no cumple con uno o más de los requisitos indicados en la tabla, será rechazado el lote y no se podrá utilizar para el saneamiento de suelos y cultivos.²⁴⁹

Aplicación	Parámetros limitantes
Abono orgánico mineral sólido	Contenido de humedad: Máximo 15%
	Contenido de Carbono orgánico oxidable total: mayor a 5% e inferior a 15%
	Contenido de NP_2O_5 , K_2O , CaO , MgO debe ser mínimo 2% para cada elemento
	Contenido de cenizas: Máximo 50%
	Contenido de Arsénico (AS): Máximo 41 ppm
	Contenido de Cadmio (Cd): Máximo 39 ppm
	Contenido de Cromo (Cr): Máximo 1200 ppm
	Contenido de Mercurio (Hg): Máximo 17 ppm
	Contenido de Niquel (Ni): Máximo 420 ppm
	Contenido de Plomo (Pb): Máximo 300 ppm
	Contenido de Cobre (Cu): Máximo 1000 ppm
	Contenido de Molibdeno (Mb): Máximo 18 ppm
	Contenido de Selenio (Se): Máximo 36 ppm
	Contenido de Zinc (Zn): Máximo 2000 ppm
	Contenido Coliformes fecales: <1000 UFC/g
	Contenido Salmonella spp.: Ausente en 25 g de producto
	Contenido Huevos viables Helminto: Ausente en 1 g de producto
Contenido Hongos fitopatogenos: Ausente según especie vegetal.	

²⁴⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Productos para la industria agrícola: Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. NTC 5167. Bogotá D.C.: El Instituto, 2004. p. 5.

(Continuación cuadro)

Enmienda orgánica no húmica	Contenido de carbón orgánico oxidable total: Mínimo 15%
	Al disolverse en agua, el producto no debe desarrollar un pH alcalino
	Capacidad de intercambio catiónico: Mínimo 30meq/100g
	Contenido de Arsénico (AS): Máximo 41 ppm
	Contenido de Cadmio (Cd): Máximo 39 ppm
	Contenido de Cromo (Cr): Máximo 1200 ppm
	Contenido de Mercurio (Hg): Máximo 17 ppm
	Contenido de Níquel (Ni): Máximo 420 ppm
	Contenido de Plomo (Pb): Máximo 300 ppm
	Contenido de Cobre (Cu): Máximo 1000 ppm
	Contenido de Molibdeno (Mb): Máximo 18 ppm
	Contenido de Selenio (Se): Máximo 36 ppm
	Contenido de Zinc (Zn): Máximo 2000 ppm
	Contenido Coliformes fecales: <1000 UFC/g
	Contenido Salmonella spp.: Ausente en 25 g de producto
Contenido Huevos viables Helminto: Ausente en 1 g de producto	
Contenido Hongos fitopatogenos: Ausente según especie vegetal.	

Fuente: elaboración propia basado en INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Productos para la industria agrícola: Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. NTC 5167. Bogotá D.C.: El Instituto, 2004. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 1287 (10, julio, 2014). "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales"; [en línea] Bogotá D.C.: El Ministerio, 2014. [Consultado en: 15, enero, 2020]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Decretos%20Vivienda/1287%20-%202014.pdf> y ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María M. y PANTOJA, Alberto. MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR: Experiencias en América Latina. [en línea]. FAO. Santiago de Chile: 2013 [Consultado en: 4, febrero, 2020]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Debido a que el lodo base utilizado posee una cantidad considerada de aluminio, se recomienda utilizarlos en cultivos de especies que desarrollaron mecanismos de tolerancia a este compuesto como lo son plantas Aluminio-Excluseras²⁵⁰ que excluyen el aluminio para prevenir su penetración al interior de las células mediante barreras físicas (permeabilidad selectiva de la membrana plasmática formación de barrera de pH en la rizofera o apoplasma de la raíz) o exudación de compuestos a través de la raíz (fenoles y ligandos quelantes), algunas especies que presentan

²⁵⁰ RIVERA MÉNDEZ, Yurany, *et al.* La toxicidad por aluminio (Al 3+) como limitante del crecimiento y productividad agrícola: el caso de la palma de aceite [en línea]. En: *Revista Palmas, Bogotá*. 2016, nro. 1, Vol. 37, pp. 11-23. ISSN 0121-2923. [Consultado en: 22, marzo, 2020]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309763813_La_toxicidad_por_aluminio_Al_3_como_limitante_ante_del_crecimiento_y_la_productividad_agricola_el_caso_de_la_palma_de_aceite_Aluminum_Al_3_Toxicity_as_a_Limiting_Factor_for_Growth_and_Agricultural_Producti. p. 16.

este mecanismo son brachiaria, B. decumbens, B. brizantha, B. ruziziensis, arabidopsis thaliana, triticum aestivum L, sorghum bicolor y zea mays.²⁵¹ Por otro lado, las especies Aluminio-Acumuladoras²⁵² detoxifican internamente el aluminio, sucede cuando el compuesto ha llegado al simplasma de las células y es quelado por los aniones de carboxilatos que son secuestrados en las vacuolas, esta capacidad también depende del tipo de ácido orgánico (citrato, malato y oxalato) y estabilidad del complejo que forma con aluminio, algunas especies que presentan este mecanismo son el arroz, arabidopsis thaliana, maíz, sorgo, trigo y oriza sativa.²⁵³

También se recomienda utilizar estos biosólidos en la remediación de suelos con un pH superior a 5,2 unidades, debido a que el uso de lodos de aluminio puede ocasionar fitotoxicidad y la movilización de moléculas en suelos y cuerpos de agua cercanos, deteriorando el ecosistema.²⁵⁴

²⁵¹ CARREÑO, Andrea y CHAPARRO GIRALDO, Alejandro. Tolerancia al aluminio en especies vegetales: Mecanismos y genes [en línea]. En: *Universitas Scientiarum*.2013, nro. 3, Vol. 18, pp. 283-210. ISSN 0122-7483. [Consultado en: 14, junio, 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/unsc/v18n3/v18n3a04.pdf>. pp. 294-295.

²⁵² RIVERA MÉNDEZ, Yurany, *et al.* La toxicidad por aluminio (Al 3+) como limitante del crecimiento y productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. En: *Revista Palmas, Bogotá*. 2016. p. 16.

²⁵³ CARREÑO, Andrea y CHAPARRO GIRALDO, Alejandro. Tolerancia al aluminio en especies vegetales: Mecanismos y genes. En: *Universitas Scientiarum*.2013. p. 295-296.

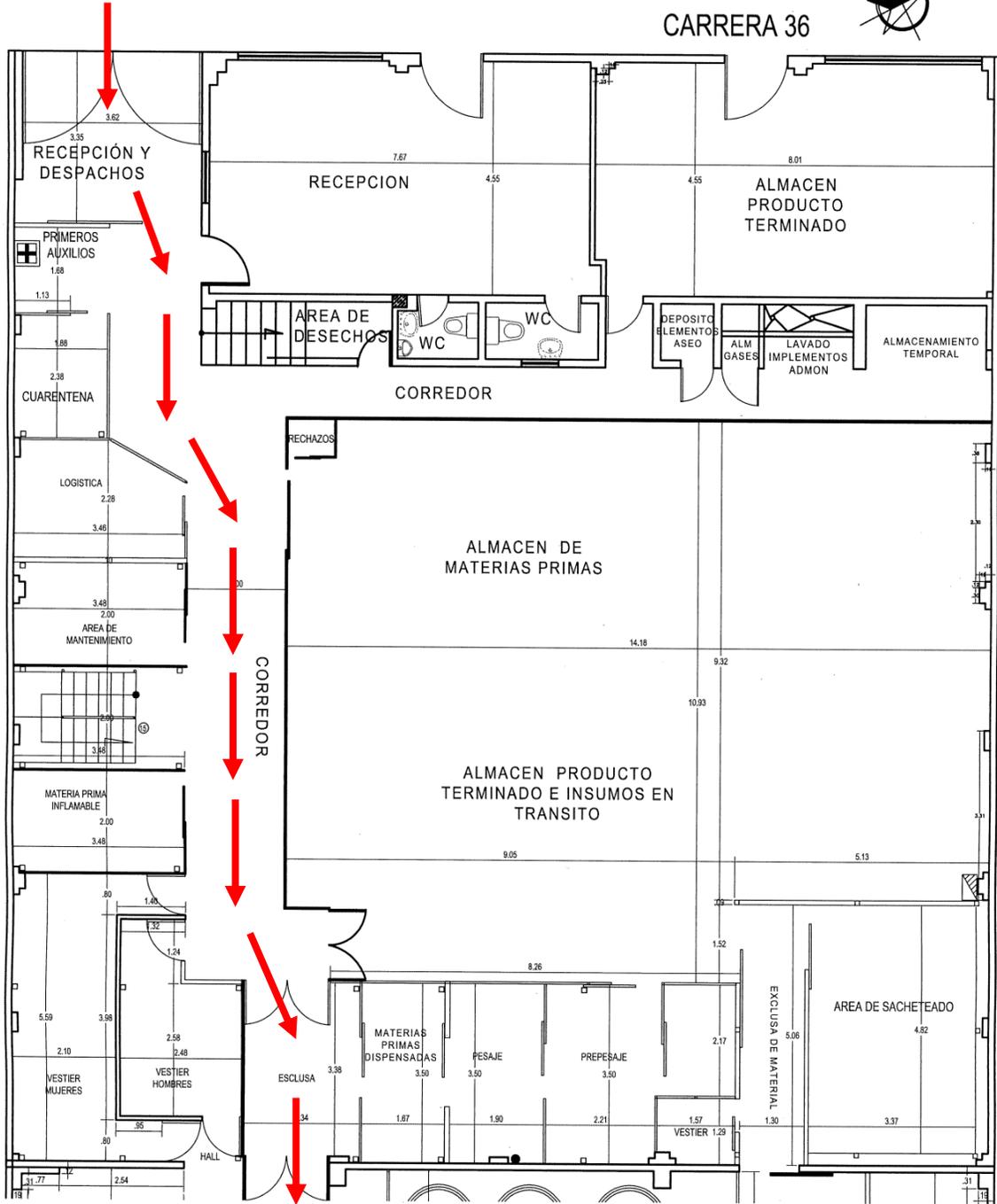
²⁵⁴ DASSANAYAKE, Kithsiri Bandara, *et al.* A review on alum sludge reuse with special reference to agricultural applications and future challenges [en línea]. En: *Waste Management*. 2015, Vol. 38, pp. 321-335. ISSN 0956-053X. [Consultado en: 10, septiembre, 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X14005753>. pp. 328-329.

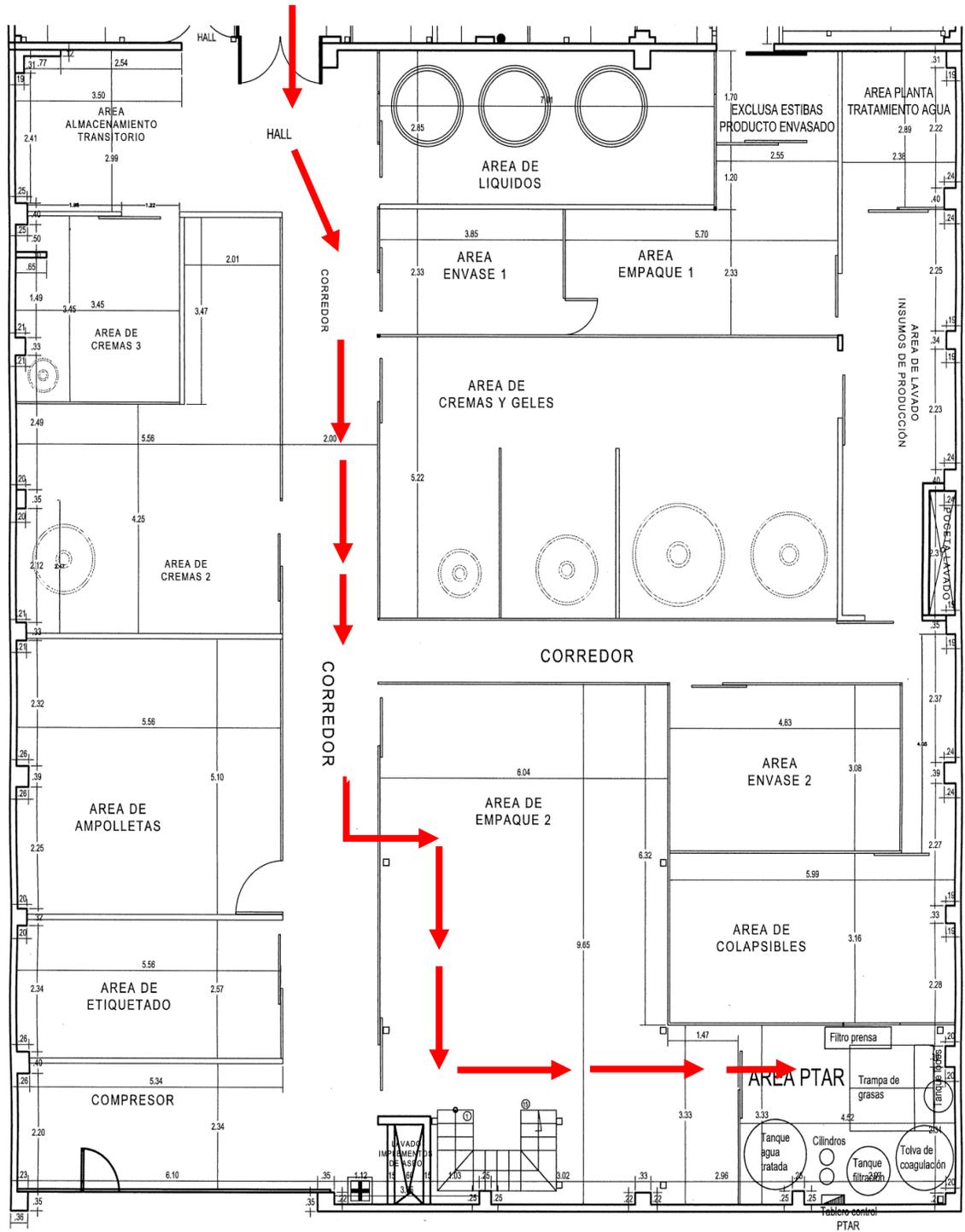
ANEXO C

RECORRIDO DE INGRESO DE MATERIALES A LA PTAR

PLANO PRIMER PISO

CARRERA 36





CARRERA 35

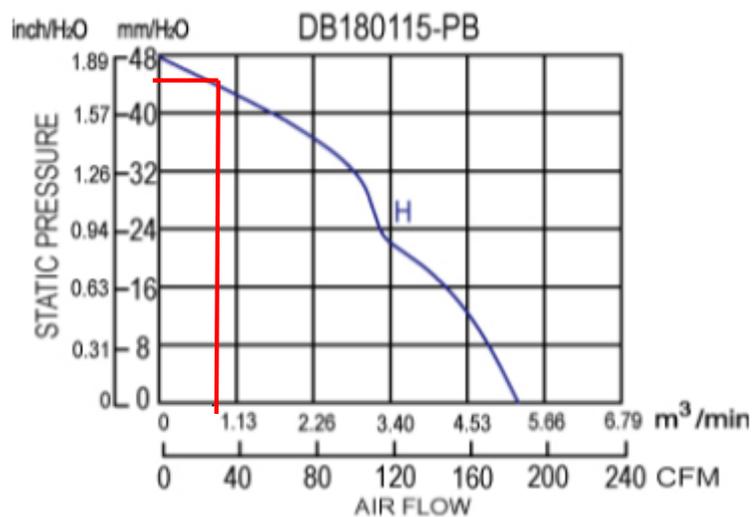
ANEXO D
CÁLCULOS SISTEMA DE SECADO

- **Balance de energía**

$$Q = \dot{m} * C_p * \Delta T$$

$$\dot{m} = \frac{74 \text{ W}}{1007 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} * (25 - 18,5)^\circ\text{C}} = 0,00919 \text{ m}^3/\text{s}$$

- **Curva del ventilador**



- **Balance de masa**

$$m_i = m_L + m_f + m_a$$

Donde:

m_i =masa inicial total de lodos (kg)

m_L =masa total de lixiviados (kg)

m_f =masa final total de lodos (kg)

m_a =masa total de agua retirada por corriente de aire (kg)

$$m_a = m_i - (m_L + m_f) = 6,5 \text{ kg} - (0,3 \text{ kg} + 3,14 \text{ kg}) = \mathbf{3,06 \text{ kg}}$$

ANEXO E

MANUAL DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE SECADO

1. **Preparación el sistema de secado:** con la tapa del barril ajustada con la abrazadera metálica, poner en funcionamiento el ventilador y la resistencia, 5 minutos antes de colocar la bandeja. Adicionalmente, conectar la manguera de los lixiviados al recipiente para su recolección.
2. **Determinación de las condiciones iniciales (P_I) y finales (P_f):**
 - 2.1 Pesar los lodos (P_I) sobre la bandeja y su base filtrante con la balanza tarada.
 - 2.2 Determinar el peso final (P_f) al que se debe llegar con la siguiente ecuación para obtener lodos con 58% de humedad:

$$P_f = 0,4762 * P_I$$

3. **Operación del sistema:** para la operación del sistema se deben realizar dos acciones de manera regular (volteo de lodos y cambio de lado de la bandeja de acuerdo a la etapa en la que se encuentre operando el sistema, de la siguiente manera:

Día	Capacidades de 4,8 a 6,5 kg		Capacidades menores a 4,8 kg	
	Acción	Regularidad (hora)	Acción	Regularidad (hora)
1	Volteos	4° y 8°	Volteos	4°, 6° y 8°
	C. L. B	3° y 6°	C. L. B	3° y 6°
2	Volteos	I.J, 2° a 7°	Volteos	I.J, 2°, 4° y 6°
	C. L. B	1°, 6° y 7°	C. L. B	3°, 6° y 7°
3	Volteos	I.J, 1°, 3°, 5°, 7° y 8°	Volteos	I.J, 2°, 3°, 4°, 5°, 7° y 8°
	C. L. B	3° y 6°	C. L. B	3°, 5° y 7°
4	Volteos	2°, 4°, 6° y 7°	Volteos	I.J, 2°, 4°, 6° y 7°
	C. L. B	I.J, 2°, 4°, 6° y 7°	C. L. B	I.J, 2°, 4°, 6° y 7°
5	Volteos	2° a 7°	Volteos	-
	C. L. B	1° a 7°	C. L. B	-
6	Volteos	1° y 2°	Volteos	-
	C. L. B	2°	C. L. B	-

C.L.B: Cambio de lado de bandeja - I.J: Inicio de jornada

4. **Pesajes de lodo:** haciendo uso de una balanza con capacidad mínima de 20 kg, se deben realizar pesajes del conjunto bandeja-filtro-lodos en las mismas

ANEXO F

FACTURAS Y COTIZACIONES RELACIONADAS CON LOS COSTOS ASOCIADOS A LA PROPUESTA DE COMPOST.

1. Cotización caracterización final



ANALQUIM LTDA.
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS Y CALIDAD DEL AIRE



NIT 830.055.841-5
Carrera 25 No. 73 - 60
3291873 - 2503701 - 315 7718638 - 320 3168350
Bogotá D.C - Colombia

COTIZACIÓN ANQ-3704-20

Página 1 de 2

Bogotá, 2020 Septiembre 15

MODIFICADA

DATOS EMPRESA CONTRATANTE	
EMPRESA	
NIT	
ATENCIÓN	
DIRECCIÓN	
TELÉFONO	
EMAIL	
CIUDAD	

DATOS DEL LUGAR DEL MONITOREO	
EMPRESA	
PERSONA DE CONTACTO	
TELÉFONO	
EMAIL	
DIRECCIÓN	
MUNICIPIO	
CIUDAD	

Referencia: Análisis de Suelos

Atendiendo su amable solicitud, me permito cotizarles el costo de la referencia.

ANÁLISIS DE SUELO									
	PARÁMETRO	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	EXPRESADO COMO	CANTIDAD	Nº. PRUEBAS	VALOR UNIT	VALOR TOTAL
a.	Humedad	Gravimétrico	IGAC 2006	N.A.	%	1	NA	15.000	15.000
a.	pH	Electrométrico	EPA 9045 D Versión 2004	N.A.	unidades	1	NA	5.000	5.000
1	Cálculo Relación Carbono - Nitrógeno	Cálculo	-----	N.A.	Adimensional	1	NA	200.000	200.000
a.	Conductividad	Conductimetría	NTC 5596	NA	µS/cm	1	NA	10.000	10.000
1	Nitrógeno Total Kjeldahl	Volumétrico	NTC 5889	257	mg N/kg	1	NA	68.000	68.000
a.	Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	Volumétrico	NTC 5268	1,3	meq/100g	1	NA	35.000	35.000
1	Aluminio Intercambiable	Volumétrico	NTC 5263	0,5	meq/100g	1	NA	18.000	18.000
Subtotal									351.000
Descuento del Mes									35.100
Subtotal con Descuento									315.900

a. Parámetro acreditado ante el IDEAM, Resolución 0822 del 6 de Agosto de 2019

* Parámetro No Acreditado Realizado en ANALQUIM LTDA.

∨ Esta columna y/o ítem solo aplica a la Matriz Calidad de Aire y Fuentes Fijas

REF.: Referencia Standard Methods for the examination of water and wastewater The AWWA Ed.22/2012

COSTO TOTAL	
ANÁLISIS DE SUELO	315.900
SUBTOTAL	315.900
Mas IVA (19%)	60.021
COSTO TOTAL DE LA COTIZACIÓN	\$ 375.921

2. Sistema de secado



P & P S. A. S.

FACTURA CAMBIARIA
DE VENTA No 385

NIT: 830.185.316-1 I. V. A. REGIMEN COMUN
Empresa Metal mecánica, diseño y construcción, Corte CNC.
Calle 7 # 29-20 Bogotá D. C., Colombia
Celular: 57- 313 8462419
Teléfono: 57-1-5238975
hierrospvg@gmail.com

Fecha: 15/04/2020
RESOLUCION DIAN
3200000053245

FACTURAR A:

MARIA FERNANDA ALBA PINTO
CC:
Bogotá D. C.

DESCRIPCIÓN	TOTAL										
Elaboración de bandejas para barril de compostaje que incluye Soportes internos y drenajes. Soportes de barril plástico a columna cuadrada. Suministro de Ventilador	\$ 344.538										
<table border="0"> <tr> <td>SUBTOTAL</td> <td>\$ 344.538</td> </tr> <tr> <td>TASA DE IMPUESTO</td> <td>19 %</td> </tr> <tr> <td>IMPUESTO</td> <td>\$ 65.462</td> </tr> <tr> <td>OTRO</td> <td>\$</td> </tr> <tr> <td>TOTAL</td> <td>\$ 410.000</td> </tr> </table>		SUBTOTAL	\$ 344.538	TASA DE IMPUESTO	19 %	IMPUESTO	\$ 65.462	OTRO	\$	TOTAL	\$ 410.000
SUBTOTAL	\$ 344.538										
TASA DE IMPUESTO	19 %										
IMPUESTO	\$ 65.462										
OTRO	\$										
TOTAL	\$ 410.000										
<p>COMENTARIOS</p> <p>1. Pago de contado y en el momento de la entrega. 2. Todos los materiales e insumos están incluidos en el precio y fueron suministrados por P & P S. A. S.</p>											

3. Compostera



P & P S. A. S.

FACTURA CAMBIARIA
DE VENTA No 410

NIT: 830.185.316-1 I. V. A. REGIMEN COMUN
Empresa Metal mecánica, diseño y construcción, Corte CNC.
Calle 7 # 29-20 Bogotá D. C., Colombia
Celular: 57- 313 8462419
Teléfono: 57-1-5238975
hierrospyg@gmail.com

Fecha: 15/05/2020
RESOLUCION DIAN
3200000053245

FACTURAR A:

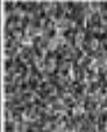
CC: 1.010.236.181
Bogotá D. C.

DESCRIPCIÓN	TOTAL
Mecanizado de eje de agitación. Aspas de agitación. Tapa con buje polímero. Compuerta superior con bisagras y cierres tipo clamp. Instalación del aislante térmico.	\$ 430.252
	[42] SUBTOTAL \$ 430.252
	TASA DE IMPUESTO 19 %
	IMPUESTO \$ 81.748
	OTRO \$
	TOTAL \$ 512.000

COMENTARIOS

- Pago de contado y en el momento de la entrega.
- Todos los materiales e insumos están incluidos en el precio y fueron suministrados por P & P S. A. S.

4. Balanza

SEÑOR(ES)		FECHA EXPEDICION	FECHA VENCE	FACTURA ELECTRONICA DE VENTA			
		20200316	20200331	BGE247			
		NIT o C.C.	ORDEN DE COMPRA	CONTADO			
BOGOTÁ, D.C.		Col. Vendedor (Vend. Asignado) ACOSTA ROJAS ELIANA PAOLA (v7x 1)					
REFERENCIA	CANT.	DESCRIPCION	VUNITARIO	DES1	DES2	IVA	VALOR TOTAL
LM-33	1	LM-33 Lm33 Balanza liquidadora 40kg fund MUNDIAL BASCULAS ELECTRONICAS. Señales.: 9090718 SOMOS AUTORRETENEDORES RES. No.: 0013248 - 25/02/2015. (*) Bienes exentos decreto 417 del 17/03/2020, aplica a los artículos definidos en el decreto 551 de 2020. No.Remisiones: 1000110908 Forma de Pago: EFECTIVO	\$134,454	0.0%	0.0%	19	\$134,454
							
1) ESTA FACTURA DE VENTA SE ASIMILA EN TODOS SUS EFECTOS LEGALES A UNA LETRA DE CAMBIO, SEGUN EL ARTICULO 719 DEL CODIGO DE COMERCIO Y CAUSARA INTERESES MORATORIOS A LA TASA MAXIMA LEGAL AUTORIZADA DESPUES DEL VENCIMIENTO. 2) NOS RESERVAMOS EL DERECHO DE DOMINIO DE LA MERCANCIA HASTA SU CANCELACION TOTAL. 3) LA GARANTIA APLICARA SOBRE DEFECTOS DE FABRICACION Y SE DARA EN LAS INSTALACIONES DE BSG COLUMBIA SAS NO INCLUYE FLETES O CARGOS DE MANEJO 4) NO TIENE GARANTIA BATERIAS, CONSUMIBLES, PARTES Y PIEZAS SUJETAS ADESGASTE, MANEJO INADECUADO DEL EQUIPO Y/O MALTRATO, CONDICIONES DE OPERACION INCOMPATIBLES CON EL DISEÑO DEL EQUIPO/PARTES/REPUESTO, DAÑO OCASIONADO POR SERVICIO TECNICO NO CALIFICADO, SELLOS DE GARANTIA ROTOS O MANIPULADOS, DAÑOS OCASIONADOS POR ASESORIA Y/O INSTALACION INADECUADAS POR PARTE DEL CLIENTE, MODIFICACIONES DEL DISEÑO DEL EQUIPO, EVENTUALES DAÑOS DE PRODUCCION Y/O DAÑOS A TERCEROS. 5) BSG COLUMBIA SAS EXIGIRA EN CUALQUIER SITUACION COPIA DE LA FACTURA DE COMPRA PARA APLICAR LA GARANTIA. 6) A DEMÁS DE LO ANTERIOR SE HACE ENFASIS Y ACLARACIÓN QUE ES RESPONSABILIDAD DEL USUARIO FINAL, QUE PARA EL USO DE EQUIPOS DE PESAJE SUJETOS A CONTROL METROLOGICO Y QUE VAYAN A SER UTILIZADOS EN TRANSACCIONES COMERCIALES DEBE ACOGERSE A PPLICARLO COMPRENDIDO EN LA RESOLUCIÓN 1704 DEL 2005 REGLAMENTO TECNICO METROLOGICO APLICABLE A LOS INSTRUMENTOS DE PESAJE DE FUNCIONAMIENTO NO AUTOMATICO (BALANZAS)							
OBSERVACIONES			SUB - TOTAL		\$134,454		
garantia de tres meses por defectos de fabrica			DESCUENTO		\$0		
			TOTAL ANTES DE IVA		\$134,454		
MON: CIENTO SESENTA MIL PESOS CON CERO CENTAVOS MCTE. ***** *****			IVA		\$26,546		
			RETE FUENTE		\$0		
			RETE CREE		\$0		
			RETEICA		\$0		
			RETEIVA		\$0		
			TOTAL		\$160,000		
Nombre: _____		Nombre: _____					
C.C.: _____		C.C.: _____					
RECIBIDO POR:		ENTREGADO POR:					

993-2261031-01 No. 81 c03e 303181 f0a4e4 56-07 ab 9c4033 7331 05 ad 0442 0a-c0f5 f003e e0 46 c04201 4b-05 a716 dc a3b c40 ae 16 est.22 4961 43

5. Termómetro

 INDUSTRIAS ASOCIADAS S.A.S. NIT 860.451.201-9 CRA 27 13 95 Bogotá D.C., Colombia PBX: 3712999 www.IndustriasAsociadas.com	FACTURA ELECTRÓNICA DE VENTA No: IPVE322	Autorización Numeración de Facturación DIAN No. 18703002256176 Autoriza de PVE7501 a PVE10000 Fecha 2019/12/02 Vigencia 24 Meses Régimen Común 03-0100-13 Actividad Económica 4774 Tarifa ICA 11.04X1000				
	AUTORRETENEDORES DE RENTA RESOLUCIÓN 010894 24/10/2018					
SEÑORES: NIT: DIRECCIÓN: CIUDAD: BOGOTÁ ASESOR: MOS MICHELLE DIAZ VILLARRAGA		FECHA: 09/03/20 CONDIC. PAGO: 0 DIAS VENCIMIENTO: 09/03/20 TELÉFONOS: - REMIÓN : 0 PEDIDO : 0				
ITEM	DESCRIPCIÓN	BOU	CANT	DESC	YIR UNITARIO	YIR TOTAL
TR18830	ROCK TERMOMETRO DIAL 2" BULBO 4" Ø150FC	01	1	30%	44,200	44,200
INFORMACIÓN IMPORTANTE: AUTORRETENEDORES DE RENTA - RESOLUCIÓN 01-0894 24/10/2018						
 Representación gráfica de la Factura de venta electrónica		SÓN: CUARENTA Y DOS MIL SETENTA Y OCHO PESOS CON CUARENTA (CvS) MCTE. OBSERVACIONES: 0			TOTAL BRUTO: 44,200.00 DESCUENTO: 8,840.00 TOTAL NETO: 35,360.00 I.V.A.: 6,718.40 RETEIVA: 0.00 RETE ICA: 0.00 NETO A PAGAR: 42,078.40	
Recibí conforme: C.C. ó NIT y Sello		<ul style="list-style-type: none"> - Revise cuidadosamente los productos al recibir, no se aceptan reclamos ni devoluciones. - Atención: No lavarlos, ni retirar sello de seguridad, es causal de pérdida de Garantía. - Garantía por defecto de fábrica válida por (3) meses a partir de la Fecha de Facturación. - Favor generar cheque cruzado a Industrias Asociadas S.A.S. con sello restrictivo, o consignar en las siguientes cuentas corrientes Banco de Bogotá 054-05993-0 Bancolombia 2197-315003-8. - Enviar reporte de pagos al correo rhumanos@industriasasociadas.com 				

6. Mezcla de microorganismos eficientes (FUNDASES).



FUNDACION DE ASESORÍAS PARA EL SECTOR RURAL - FUNDASES

OFERTA TÉCNICA Y ECONÓMICA BIOINSUMOS

1. DATOS GENERALES			
FECHA:	15/09/2020 0:00	OFERTA No.	BIO - 085 - 2020
EMPRESA:		NIT Y/O CEDULA:	
MAIL:		TELEFONO:	
SOLICITUD DE:	Sra Maria Fernanda	CIUDAD:	BOGOTA

ELABORÓ:	LAURA SAMPER SERVICIO AL CLIENTE
----------	-------------------------------------

2. ALCANCE	
BIOTECNOLOGIAS	

3. DETALLE						
ITEM	CODIGO	PRODUCTO	DESCRIPCION	CANTIDAD	Vr. UNITARIO	Vr. TOTAL
1	100-0101-000001	EM TRANSF X 1 LITRO	MicroOrganismos Eficaces	1	\$ 9,800	\$ 9,800.00
		TOTAL A PAGAR				\$ 9,800.00

4. FORMA DE PAGO: CONTADO ANTICIPADO

Consignar a nombre de Fundases en la Cuenta Corriente No. 20395754192 del Banco Bancolombia en formato de recaudo empresarial código convenio 17353. La copia de la consignación debe enviarse vía correo electrónico a servicioalcliente@fundases.com, referenciando el número de cotización o realizar el pago directamente en las oficinas de FUNDASES, a través de los diferentes medios: Efectivo, Tarjeta débito o crédito.

5. VIGENCIA DE LA OFERTA

60 días

6. OBSERVACIONES

7. Venta de compost



Forza
Sustracoco Bulto x 20Kg

Modelo 3250075 | Código 421750

★★★★★ 4.0 (1)

\$89.900 UND

- 1 +

Agregar al carro



Satisfacción Garantizada

[ver más](#)

Si este producto no cumple con tus necesidades tienes 30 días para acercarte a cualquiera de nuestros almacenes o comunicarte con la línea de atención al cliente en Bogotá: 3077115 o a la línea Nacional: 320 88 999 33

Opciones de entrega para --



Ecofertil

Fertilizante 10-30-10 Caja X 1 KI

Código 130698

★★★★★ 0.0 (0)

\$10.900 UND

\$11

Hecho en Colombia

- 1 +

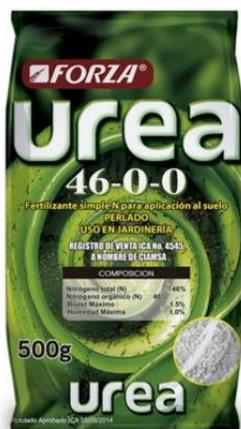
Agregar al carro



Satisfacción Garantizada

[ver más](#)

Si este producto no cumple con tus necesidades tienes 30 días para acercarte a cualquiera de nuestros almacenes o comunicarte con la línea de atención al cliente en Bogotá: 3077115 o a la línea Nacional: 320 88 999 33



Forza

Fertilizante Urea Bolsa X 500Grs

Código 361110

★★★★★ 0.0 (0)

\$5.900 UND

\$12

Hecho en Colombia

- 1 +

Agregar al carro



Satisfacción Garantizada

[ver más](#)

Si este producto no cumple con tus necesidades tienes 30 días para acercarte a cualquiera de nuestros almacenes o comunicarte con la línea de atención al cliente en Bogotá: 3077115 o a la línea Nacional: 320 88 999 33



Anasac

Tierra biológica compost 3 kilos

Código 132611

★★★★★ 5.0 (1)

\$10.900 UND

 Hecho en Colombia

- 1 +

Agregar al carro



Satisfacción Garantizada

[ver más](#)

Si este producto no cumple con tus necesidades tienes 30 días para acercarte a cualquiera de nuestros almacenes o comunicarte con la línea de atención al cliente en Bogotá: 3077115 o a la línea Nacional: 320 88 999 33