

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE FABRICACIÓN Y LODOS DE LA PTAR DE
UNA EMPRESA DE HELADOS PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO.

MARIA PAULA ROCHA DONCEL
KAREN VALENTINA RODRIGUEZ DELGADO

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
LUIS ALBERTO FIGUEROA CASALLAS
Ingeniero Químico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.
2022

Nota de aceptación

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá D.C. Febrero 2022

DIRECTIVOS 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 Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez.

Decana de la Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Director Programa Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestros agradecimientos a:

La empresa ODA GELATO por brindarnos la oportunidad de desarrollar nuestro proyecto de grado y a la ingeniería del área de calidad por el apoyo brindado.

A nuestro director Luis Alberto Figueroa Casallas por sus aportes y su gran conocimiento para realizar este proyecto.

A nuestras familias por tenernos en sus oraciones y en sus planes de vida.

DEDICATORIA

Dedicamos este trabajo a Dios y a la virgen por ayudarnos a culminarlo, por ser nuestro guía y acompañarnos en cada paso para lograr nuestras metas propuestas, por sus bendiciones y amor dándonos una gran fortaleza.

A nuestros padres y familiares por sus consejos, paciencia, sacrificios y motivación no solo en el desarrollo del proyecto sino a lo largo de toda la carrera ya que sin ellos no hubiésemos podido cumplir parte de nuestras metas propuestas.

María Paula Rocha Doncel.

Karen Valentina Rodríguez Delgado.

Las directivas de la universidad de América, como 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.

CONTENIDO

	pág
RESUMEN	11
INTRODUCCIÓN	12
OBJETIVOS	14
1. GENERALIDADES	15
1.1. Marco Teórico	15
1.1.1. Residuo	15
<i>1.1.2. Residuos orgánicos</i>	18
<i>1.1.3. Abono orgánico</i>	19
<i>1.1.4. Compostaje</i>	20
<i>1.1.5. Vermicompostaje</i>	27
<i>1.1.6. Lombricultura</i>	27
<i>1.1.7. Biodigestión anaerobia</i>	30
<i>1.1.8. Fertilización</i>	31
2. DIAGNÓSTICO	34
2.1. Procesos de fabricación del helado	34
<i>2.1.1. Fabricación del mix</i>	34
<i>2.1.2. Envasado o acondicionamiento del helado</i>	35
<i>2.1.3. Residuos de fabricación del helado</i>	37
2.2. Planta de tratamiento de aguas	37
<i>2.2.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales en ODA GELATO</i>	38
2.3. Caracterización fisicoquímica y microbiológica	40
3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL COMPOSTAJE	48
3.1. Matriz de selección	48
3.2. Microorganismos y grasas en el compostaje aerobio	54
3.3. Metodología del proceso.	55
<i>3.3.1 Selección del material de carga</i>	55
<i>3.3.2. Acondicionamiento de los lodos con factores de carga</i>	57
<i>3.3.3. Balances de sustratos</i>	58
3.4. Dimensionamiento de los equipos	60
3.4.1. Dimensionamiento filtro prensa	61
3.4.2. Dimensionamiento triturador	63

3.4.3. <i>Dimensionamiento reactor</i>	66
3.4.4. <i>Dimensionamiento secador</i>	69
3.5. Acondicionamiento del terreno.	71
3.6. Análisis del proceso.	74
3.6.1. <i>Parámetros organolépticos</i>	74
3.6.2. <i>Parámetros físicos</i>	75
4. FACTIBILIDAD FINANCIERA DEL PROCESO	78
4.1 Costos	78
4.1.1. <i>Costos de maquinaria</i>	78
4.1.2. <i>Costo de mano de obra</i>	79
4.1.3. <i>Costo de servicios industriales</i>	81
4.1.4. <i>Costo de caracterizaciones e insumos para empaque del compostaje.</i>	82
4.1.5. <i>Depreciación de equipos.</i>	83
4.1.6. <i>Mantenimiento de los equipos</i>	84
4.1.7. <i>Costos de deserción.</i>	85
4.1.8. <i>Costos de la disposición final</i>	86
4.2. Flujo de caja	87
4.3. Indicadores	88
4.3.1. <i>VPN</i>	88
4.3.2. <i>TIR</i>	89
4.3.3. <i>Relación costo beneficio</i>	89
5. PROPUESTA COMPLEMENTARIA	91
5.1. Tecnologías del proceso.	92
5.2. Metodología del proceso de digestión	98
5.2.1. <i>Diseño del biodigestor.</i>	100
5.2.2. <i>Balance de sustratos</i>	101
5.2.3. <i>Enriquecimiento del biofertilizante</i>	104
5.3. Suelos vacunos.	105
5.4. Costos propuesta complementaria	108
6. CONCLUSIONES	110
BIBLIOGRAFIA	112
ANEXOS	131

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. <i>Fabricación del mix del helado</i>	36
Figura 2. <i>Tratamiento de aguas residuales.</i>	39
Figura 3. <i>Muestreo de marmita.</i>	40
Figura 4. <i>Capas de lodos en las trampas de grasa</i>	41
Figura 5. <i>Lodo dispuesto para el muestreo.</i>	42
Figura 6. <i>Diagrama BFD de la producción de compostaje</i>	58
Figura 7. <i>Diagrama del balance de sustratos</i>	59
Figura 8. <i>Filtro prensa</i>	63
Figura 9. <i>Triturador TRAPP</i>	64
Figura 10. <i>Dimensionamiento reactor</i>	67
Figura 11. <i>Reactor rotatorio a escala industrial</i>	68
Figura 12. <i>Secador de tambor</i>	70
Figura 13. <i>Planos de las zonas de ODA GELATO</i>	72
Figura 14. <i>Biodigestores bacth</i>	94
Figura 15. <i>Biodigestor de domo fijo</i>	95
Figura 16. <i>Biodigestor tipo hindú</i>	96
Figura 17. <i>Biodigestor USAB</i>	97
Figura 18. <i>Biodigestor USAB</i>	100
Figura 19. <i>Diagrama BFD de la producción de biogás.</i>	102
Figura 20. <i>Balance de sustratos para el biogas</i>	103
Figura 21. <i>Producción de biogás</i>	104

LISTA DE TABLAS

	pág
Tabla 1. <i>Clasificación de residuos</i>	16
Tabla 2. <i>Clasificación de los residuos según el sector productivo que los origina</i>	18
Tabla 3. <i>Parámetros de un sistema de compostaje</i>	24
Tabla 4. <i>Clases de lombriz de tierra</i>	28
Tabla 5. <i>Resolución 0631 y 4147</i>	45
Tabla 6. <i>Categorización de biosólidos del decreto 1287 y aguas de ODA GELATO</i>	46
Tabla 7. <i>Parámetros fisicoquímicos del lodo</i>	47
Tabla 8. <i>Ventajas y desventajas del proceso de obtención del abono orgánico</i>	49
Tabla 9. <i>Matriz de selección del proceso de obtención de abono orgánico</i>	53
Tabla 10. <i>Caracterización teórica de materiales de soporte</i>	56
Tabla 11. <i>Dimensionamiento del filtro prensa</i>	62
Tabla 12. <i>Dimensionamiento del triturador</i>	65
Tabla 13. <i>Dimensionamiento del reactor escalado</i>	69
Tabla 14. <i>Dimensionamiento del secador</i>	71
Tabla 15. <i>Identificación de zonas</i>	73
Tabla 16. <i>Costos de inversión maquinaria</i>	79
Tabla 17. <i>Costos anuales de mano de obra</i>	80
Tabla 18. <i>Costos de proyección</i>	81
Tabla 19. <i>Costos de servicios industriales</i>	82
Tabla 20. <i>Costos de caracterización</i>	83
Tabla 21. <i>Costos de depreciación</i>	84
Tabla 22. <i>Costos de mantenimiento</i>	85
Tabla 23. <i>Costos de deserción</i>	86
Tabla 24. <i>Costos de ingresos</i>	87
Tabla 25. <i>Tipos de digestores</i>	93
Tabla 26. <i>Recomendaciones de fertilización</i>	107
Tabla 27. <i>Producción de biogás a partir del material orgánico</i>	108

RESUMEN

Inicialmente el proyecto se enfocó hacia la producción de un abono orgánico, donde se realiza la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los residuos usados como materia prima, siendo aprovechados para minimizar el impacto ambiental. El objetivo principal es la obtención de un compost que parta de los 540 kg de lodos generados en el tratamiento de aguas, residuos de la producción del helado y otros residuos de las zonas aledañas obtenidos todos mensualmente en la empresa ODA GELATO.

En dichas caracterizaciones se tienen en cuenta diferentes parámetros que son comparados dentro de normatividad que clasifica a los residuos aptos para ser reutilizados, luego pasa a un proceso de selección donde se evalúa y opta por producir el compost en un reactor horizontal con aireación. El proyecto se fundamenta en teoría, por lo cual en la metodología que se llevaría a cabo se realiza su respectivo balance con una cantidad estimada en 540 kg de lodos, 30 kg de fruta, 300 kg de césped y 2 kg de aserrín los cuales ayudan a generar un equilibrio en la relación C/N de 35/1. Para finalizar el proceso del compost se desarrolla un dimensionamiento con las correspondientes capacidades que necesitan los equipos y el acondicionamiento del terreno.

Adicionalmente, para todo el diseño se elabora un análisis financiero que evalúa todos los costos de operación e inversión necesarios para el planteamiento del proyecto a partir de la evaluación de criterios como el flujo de caja neto, el VPN, la TIR y la relación costo/beneficio.

Finalmente se establece una propuesta complementaria la cual debería ser estudiada más adelante donde se propone el uso de un biodigestor para evaluar la obtención de un fertilizante enriquecido para ser usado en los suelos vacunas, además de la producción de biogás que permitiría optimizar costos a la empresa.

PALABRAS CLAVE: Residuos, PTAR, lodos, agentes de carga, abono orgánico, compost, dimensionamientos, reactor horizontal, medio ambiente.

INTRODUCCIÓN

ODA GELATO S.A.S es una empresa colombiana perteneciente al grupo ODAGEL, dedicada a la producción, comercialización y distribución de helados entre las cadenas pequeñas y grandes de supermercados en todo el país. De momento se encuentra ubicada en la zona industrial Intexzona kilómetro 1 vía Siberia-Funza Bodega 10.

Actualmente se usan grandes volúmenes de agua en la producción de helados provocando altas cantidades de efluentes originadas en procesos como la fabricación y elaboración del producto, el enfriamiento y la generación de vapor y el más importante la limpieza de equipos, utensilios y sectores de la planta; las cuales van a una disposición final donde se lleva a cabo un tratamiento de aguas.

«La operación para el tratamiento de aguas (PTAR) que se lleva a cabo en la planta, consiste en un ciclo continuo con una capacidad de acumulación de $50 m^3/día$; durante el proceso se emplea un tratamiento físico químico con cloruro férrico y polímeros evitando la acumulación o generación de metales pesados, además se aplica un tratamiento biológico con bacterias de Biomerck que ayuda a degradar altos contenidos de grasas que contienen los lácteos. » [1]

Cuando se realiza el tratamiento del agua en la PTAR se obtiene una cantidad estimada de lodos de 20 kilogramos diarios [1], estos se generan en pequeñas cantidades al igual que los residuos procedentes de planta, como la empresa tiene un desconocimiento del manejo adecuado como también de sus posibilidades de tratamiento o reúso, tiene que incurrir en gastos adicionales para la búsqueda de una disposición final a partir de un tercero. [2]

Los costos adicionales generados en la planta pueden variar dependiendo de las cantidades que salen de producción, por lo tanto, se requiere buscar una alternativa para reutilizar dichos residuos y biosólidos para ser comercializados, buscando una oportunidad de mejora en su economía circular.

En vista de lo anterior nace la necesidad de plantear y evaluar la obtención de un producto generado por sus mismos residuos, considerando que estos contienen una variedad de propiedades nutricionales además de un alto contenido biológico para el desarrollo de un diseño productivo de abono orgánico, que permita generar ganancias y beneficie a la empresa respecto a sus falencias.

Para lograr una rentabilidad económica en la producción de abono orgánico se requiere implantar una serie de equipos que impulsen dicho proceso; el abono originado será utilizado y vendido al proveedor de leche de la empresa, el cual lo consumirá para beneficiar el suelo vacuno.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un proceso para la obtención de abono orgánico como alternativa para el manejo y aprovechamiento de los residuos de producción y lodos generados en el tratamiento de aguas de la empresa de helados.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Caracterizar los lodos procedentes de las aguas residuales y los residuos generados en la producción de helados de la empresa ODA GELATO.
- Determinar las especificaciones técnicas del proceso de producción de abono orgánico teniendo en cuenta la caracterización de los residuos.
- Determinar un diseño conceptual a nivel industrial de abono orgánico partiendo de la cantidad de residuos y lodos producidos en la empresa.
- Evaluar la factibilidad financiera de la producción del abono orgánico partiendo de los residuos y lodo producidos en la empresa ODA GELATO.

1. GENERALIDADES

1.1. Marco Teórico

1.1.1. Residuo

Según el decreto 4741 de 2005 un residuo es “cualquier objeto, material, sustancia, elemento o producto que se encuentre en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, cuyo generador descarta, rechaza o entrega porque sus propiedades no permiten usarlo nuevamente en la actividad que lo generó o porque la legislación o la normatividad vigente así lo estipula.” [3]

1.1.1.a Clasificación de residuos. Los residuos sólidos se clasifican en residuos aprovechables:

1.1.1.a.i. Residuos no peligrosos. Es aquel residuo que no experimenta transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas; los residuos NO peligrosos o inertes no son combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto de forma que puedan dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar a la salud humana” [4]

1.1. 1.a.ii. Residuos peligrosos. Son considerados fuentes de riesgo para el medio ambiente y la salud debido al creciente desarrollo económico el cual genera grandes volúmenes de desperdicios. “Su problemática se asocia a diversas causas como, por ejemplo, la presencia de impurezas de los materiales, la baja tecnología de proceso, las deficiencias de las prácticas operacionales o las características de los productos y sustancias al final de su vida útil, entre otras.” [5]. El decreto 4741 de 2005 los define como aquellas sustancias corrosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas, explosivas y reactivas, considerando también como residuo peligroso los empaques, envases y embalajes que tuvieron contacto con estos.

1.1.1.a.iii. Residuos especiales. Son residuos que por su cantidad, volumen o peso requieren de un manejo especial.

En la *tabla 1* se presentan los tipos de residuos que se generan, si es un residuo no peligroso su clasificación, ejemplos de residuos y el tratamiento, aprovechamiento o disposición final de cada

uno de ellos.

Tabla 1.

Clasificación de residuos

Tipo de residuo	Clasificación	Residuo	Tratamiento, aprovechamiento o disposición final
	Aprovechables	Papel archivo. Vasos y platos desechables. Bolsas y cubiertas plásticas de diferentes tipos. Cajas de cartón. Frascos de vidrio. Tarros plásticos.	Acuerdo con proveedores para ser usados como materia prima o reutilizar el material que se pueda.
Residuos no peligrosos		Materia inerte proveniente del barrido. Pellets de icopor. Materia orgánica mezclada.	Entregar a empresas de aseo para la disposición en un relleno sanitario.
	No aprovechables	Materia orgánica separada.	Tratar el residuo mediante la técnica de compostaje para generar un producto que se pueda utilizar como abono o mejorador de suelos. En su defecto entregar a una persona natural o empresa que lo aproveche debidamente.

Tabla 1. Continuación.

	Sustancias químicas en desuso.	Tratar mediante neutralización si son ácidos o bases fuertes, para posteriormente incinerarlos o enterrarlos en rellenos de seguridad. Estudiar la devolución a los proveedores para una posible refinación y reutilización.
Residuos peligrosos	Recipientes, empaques y envases que contenían sustancias químicas y están contaminados.	
	Papeles de filtro, soluciones acuosas, medio de cultivos.	Neutralización, desactivación o incineración, según sea la necesidad.
Residuos especiales	Escombros. Llantas usadas. Colchones. Residuos de gran volumen como, por ejemplo: Muebles, estanterías, electrodomésticos.	Tratamiento térmico, tratamiento fisicoquímico, relleno sanitario, escombros reciclaje, compostaje y lombricultura.

Nota. Tipos, clasificación y tratamientos para los residuos. Tomado de: Universidad Pontificia Bolivariana. “Guía para el manejo integral de residuos.” [En línea], Disponible en:https://www.sabaneta.gov.co/files/doc_varios/Gu%C3%ADa%20para%20el%20Manejo%20Integral%20de%20Residuos-%20Subsector%20instituciones%20educativas.pdf. [Acceso: Agos.16,2021]

La identificación de los residuos generados permite realizar una correcta disposición la cual debe ser consignada por la organización que genere los residuos, siendo así, a partir de las características físicas, químicas y microbiológicas, se establece un plan de cumplimiento con la normatividad ambiental y sanitaria teniendo en cuenta las cantidades producidas y su correcto almacenamiento.

1.1.2. Residuos orgánicos

Son “aquellos que provienen de organismos vivos como plantas y animales, quienes contienen compuestos orgánicos producidos por la naturaleza y que se descomponen biológicamente por la acción de microorganismos o agentes fisicoquímicos a condiciones normales.” [6]. Estos residuos presentan sustancias ricas en carbono y oxígeno y en menor proporción nitrógeno y fósforo, así como otros compuestos.

Los residuos orgánicos pueden provenir de diferentes sectores industriales. En la *tabla 2*, se presenta una descripción de los posibles residuos que se pueden generar dependiendo del sector que los produce.

Tabla 2.

Clasificación de los residuos según el sector productivo que los origina

	Residuos agrícolas	Restos de cosechas y derivados.
Sector primario	Residuos de actividades ganaderas	Excrementos de crías, industrias cárnicas (huesos, sangre, pellejos)
	Residuos forestales	Restos de poda y silvicultura.
Sector secundario	Residuos urbanos	lodos de depuradoras de aguas residuales, residuos domésticos con presencia de papel, cartón, plásticos, textiles, madera

Nota. Cuadro de clasificación de residuos según el lugar que se genera adaptado de Residuos Orgánicos y agricultura. Tomado de: Universidad de Alicante. “Residuos orgánicos y agricultura”.

<http://www.ingenieroambiental.com/2040/Residuos%20organicos%20y%20agricultura.pdf>.

[Acceso: Agos.17,2021]

Los residuos producidos por estos sectores catalogados como orgánicos abarcan cerca del 60% de los residuos totales producidos por otros sectores, “como se aprecia, el abanico de actividades que generan materiales con mayor o menor carácter orgánico es grande, lo que provocará que también sea amplia la variedad de residuos y las características que presentan.” [7]

1.1.3. Abono orgánico

“Producto debidamente compostado y estabilizado que al ser aplicado al suelo activa principalmente los procesos microbiales, fomentando simultáneamente su estructura, aireación y capacidad de retención de humedad y aportando pequeñas cantidades de nutrientes. Incluye subproductos animales, estiércoles, residuos vegetales y lombricompostos.” [8]

1.1. 3.a. Propiedades de los abonos orgánicos

1.1. 3.a.i. Propiedades físicas.

- “El abono orgánico por su color oscuro, absorbe más las radiaciones solares, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes.” [9]
- Mejora de la estructura y la permeabilidad y disminuye la erosión de los suelos.
- “El tamaño de partícula en el compost contribuye a generar espacios que permiten aumentar la retención de agua en el suelo y el intercambio de aire ayuda a preservar el equilibrio fisicoquímico y microbiológico del suelo” [10]

1.1. 3.a.ii. Propiedades químicas.

- Los abonos orgánicos aumentan el poder tampón del suelo y, en consecuencia, reducen las oscilaciones de pH de éste. [9]
- Aumento de fertilidad por el aumento de cationes.
- Generación de precursores de sustancias húmicas.
- Estabilización y mineralización de materia orgánica.

1.1.3.a.iii. Propiedades biológicas.

- Favorecen la aireación, oxigenación y aumento de energía en el suelo lo que permite aumentar la actividad microbiana.

- Biorremediación por microorganismos que contribuyen a la degradación de agentes tóxicos [10]

1.1.4. Compostaje

La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes [11]. El compostaje es un proceso que se realiza a partir de diferentes microorganismos en condiciones aerobias, en donde la materia orgánica, no peligrosa (aprovechable) se transforma en un producto de valor agregado (compost) aprovechando el carbono y nitrógeno presentes. A partir de ello se establecen las fases del compostaje en donde se encuentra una alta actividad microbiana descrita por la temperatura que rige cada ciclo:

1.1.4.a.i. Fase mesófila. “Es la primera fase y se caracteriza por la presencia de bacterias y hongos, siendo las primeras quienes inician el proceso por su tamaño; ellas se multiplican y consumen los carbohidratos más fácilmente degradables, produciendo un aumento en la temperatura desde la del ambiente a más o menos 40 grados centígrados.” [12] la cual se produce por la degradación de azúcares a ácidos orgánicos.

1.1.4.a.ii. Fase termófila o de higienización. Cuando los residuos son mayores a los 40°C, los microorganismos que se encontraban en la fase mesófila son reemplazados por microorganismos termófilos ya que estos permiten la degradación de fuentes complejas de carbono y transforman el nitrógeno en amoníaco aumentando el pH. En esta fase se produce la higienización ya que como se trabaja a temperaturas altas, esto permite destruir bacterias patógenas que afectan considerablemente la calidad del compost. [12]. Se desarrollan bacterias formadoras de esporas y actinomicetos.

1.1.4.a.iii. Fase de enfriamiento. Cuando se acaban las fuentes de C/N la temperatura baja a 40°C. Continúa la degradación a partir de organismos esporulados y actinomicetos.

1.1.4.a.iv. Fase de maduración. “Se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.” [11] Puede durar varios meses.

1.1.4. b. Métodos de compostaje. El compostaje puede clasificarse en sistemas abiertos (tecnología más antigua), y cerrados (tecnología más nueva).

1.1.4.b.i. Sistemas de hileras. “Los materiales orgánicos sólidos se apilan en forma triangular, rectangulares o trapezoidal y se girarán con frecuencia para proporcionar aireación para la descomposición y la regulación de la temperatura de la pila en el rango óptimo de 55 a 65 ° C” [13]. Este sistema genera gases de efecto invernadero y olores fuertes, por lo tanto, se opta por construirse en complejos cerrados para tratar los gases a partir de biofiltros.

1.1.4.b. ii. Sistema de pila estática aireada. Pilas encerradas con una capa de compost tamizado para regular los malos olores y mantener alta la temperatura central; se le suministra aire a través de difusores y/o ventiladores los cuales se encuentran debajo de aquella. “La pila se construye de 2 a 4 m de profundidad y se recubre con una con una capa de 150 a 300 mm La mezcla permanece durante 21 a 28 días. Posterior a esto el compost se cura en un lapso de 30 días”. [14]

1.1.4.b.iii. Sistema cerrado. Permite el control de la concentración de oxígeno, temperatura y olores. Se caracteriza por ser un reactor, una zanja revestida de concreto o un silo, que permite por medio de la gravedad o por paletas internas mover el contenido orgánico que se está transformando en biomasa para su respectiva oxigenación. La mezcla debe permanecer aproximadamente de 10 a 21 días y después de ser descargada del reactor de 30 a 60 [14] para lograr una estabilización del producto. Este sistema se considera rápido, pero trae consigo mayor inversión que el compostaje abierto.

1.1.4.b.iv.Reactores verticales de flujo pistón. Hechos de acero, hormigón o paneles de vidrio reforzado.

«La mezcla ingresa por la parte superior del reactor a través de una cinta de alimentación. Los residuos que ingresan van bajando por el estanque y salen según el tiempo de residencia del equipo en cuestión. El producto final es extraído desde el fondo del estanque por un sistema de descarga, el que consiste en un gran tornillo sin fin que capta el compost ya producido, este se encuentra ubicado sobre las tuberías de aireación las cuales entregan el aire al proceso. » [15]

1.1.4.b.v. Reactores horizontales de flujo pistón. Son similares a los verticales solo que la mezcla se mueve lateralmente.

1.1.4.c Variables en un sistema de abono orgánico. Son los parámetros que permiten conocer si la mezcla es apta o no para el proceso de compostaje. A continuación, se presentan las principales variables que se deben evaluar:

1.1.4.c.i. Relación carbono-nitrógeno. El carbono y el nitrógeno son dos nutrientes indispensables en el crecimiento microbiano, sin embargo, se debe tener un equilibrio de estas dos relaciones ya que al tener una alta proporción de carbono el proceso de compostaje se hace más lento, mientras que si se tiene una “alta proporción de nitrógeno el proceso liberará amoníaco. El carbono proporcionado a los microorganismos en la materia prima se utiliza para el crecimiento celular. Durante el metabolismo microbiano, el dióxido de carbono se desprende y se libera a la atmosfera. Los microorganismos requieren nitrógeno para la síntesis de células y proteínas.” [16]

1.1.4.c. ii. Temperatura. Es una variable fundamental en el proceso, que afecta al pH, actividad microbiana, humedad, relación C/N, siendo estos factores los que ayudan a controlar la degradación del material orgánico. “Deben evitarse las altas temperaturas, ya que ralentizan la actividad biológica y provocan modificaciones químicas indeseables de la materia orgánica. Las bajas temperaturas tampoco son deseables porque no logran los objetivos de remediación.” [17] La temperatura ideal oscila entre 45-65 °C, teniendo en cuenta que por encima de los 52°C ocurre la higienización de la masa contra microorganismos patógenos. [11]

1.1.4.c.iii. Aireación. Es un factor muy importante en el proceso del compostaje debido a que los microorganismos requieren concentraciones de oxígeno para sintetizar la materia orgánica.

«Cuando la aireación no cubre la necesidad del compost pasa de un estado aeróbico a anaeróbico desprendiendo nutrientes, principalmente Nitrógeno, en forma de amoníaco, forma otros productos como ácidos orgánicos y genera olores desagradables. Cuando la aireación es limitada genera una tasa de biodegradación muy lenta por lo que se recomienda un 15% a un 20% de oxigenación del volumen de los poros» [18]

1.1.4.c. iv. Humedad. La presencia de agua permite disponer de nutrientes microbianos para el proceso reproductivo, metabólico y asimilativo. “La humedad entre el 45 y el 50% es un rango óptimo para el proceso de compostaje. Cuando la humedad es menor al 30%, las actividades bacterianas serán limitadas y por encima del 65% disminuirá la porosidad del compost resultando en un crecimiento anaeróbico y emisiones de olores desagradables.” [19]. Cuando se lleva a cabo el proceso de compostaje la humedad tiende a aumentar y también está relacionada con los materiales a compostar su tamaño de partícula.

1.1.4.c.v. pH. La acidez o alcalinidad de la materia residual afecta al crecimiento de los microorganismos. Un valor entre 6,0 y 7,5 es apropiado para los descomponedores mientras que un pH de 4.5 a 8.5 es ideal para los hongos. Por encima de 7,5 es muy probable que ocurran pérdidas gaseosas de amoníaco. [20]

1.1.4.c.vi. Tamaño de partícula. Para el tamaño de partícula el sustrato puede facilitar o dificultar la actividad bacteriana. Entre más pequeña sea la partícula, mayor será la superficie específica y, por lo tanto, la interacción. Es una variable estrechamente relacionada con la aireación y la humedad. Los tamaños ideales de los materiales en el inicio del proceso son de 5 a 20 cm.

En la *tabla 3* se presentan los parámetros anteriormente expuestos, los rangos ideales, las causas asociadas y soluciones cuando los sustratos del compostaje no llegan a los valores requeridos o los sobrepasan.

Tabla 3.*Parámetros de un sistema de compostaje*

		Causas asociadas	Soluciones
C: N			
>35:1	Exceso de carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C: N.
15:1 - 35:1 Rango ideal			
<15:1	Exceso de nitrógeno.	En la mezcla hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín).
Temperatura (°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 tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad.
Bajas temperaturas (T ambiente < 35°C)	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 y, 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.

Tabla 3. Continuación

Altas temperaturas (T ambiente > 70°C)	Ventilación y humedad insuficiente.	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 la humedad. Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera o pasto seco) para que ralentice el proceso.
Porcentaje de aireación			
< 5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación.
5% - 15% Rango ideal			
> 15%	Exceso de aireación.	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado del material a fin de reducir el tamaño del poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, bien proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua.
Porcentaje de humedad			
< 45%	Humedad insuficiente.	Puede detener el proceso de producción de abono orgánico por falta de agua para los microorganismos.	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua.

Tabla 3. Continuación

45% - 65% (Compost) Rango ideal			
> 65%	Humedad en exceso y oxígeno insuficiente.	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de la mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor de carbono, como serrines, paja u hojas secas.
pH			
<4,5	Exceso de ácidos orgánicos.	Los materiales vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos y tienden a acidificar el medio.	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C: N.
4,5 - 8,5 Rango ideal			
>8,5	Exceso de nitrógeno.	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C: N, asociado a la humedad y altas temperaturas, se produce amoniaco alcalinizado del medio.	Adición de material más seco y con mayor contenido en carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín).
Tamaño de las partículas (cm)			
>30 cm	Exceso de aireación.	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso.	Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10 - 20 cm.
5 - 30 cm Rango ideal			
<5 cm	Compactación.	Las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire, produciéndose anaerobiosis.	Voltear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar.

Nota. Cuadro de parámetros de pH óptimos. Tomado de: La FAO. “Manual del compostaje del agricultor”. [En línea], Disponible en: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>. [Acceso: Agos.21,2021]

A partir de los anteriores parámetros expuestos, se deberá tener en cuenta que los residuos presentan diferentes características físicas y químicas que deberán ser evaluadas antes de empezar los procesos de compostaje, sin embargo, como los rangos pueden variar significativamente se podrán incluir materiales de soporte, que permitan regular los requerimientos nutricionales de los microorganismos y así obtener un compost de alta calidad.

1.1.5. Vermicompostaje

«El vermicompostaje es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediada por la acción combinada de lombrices y microorganismos bajo condiciones aerobias y mesófilas, con el que se obtiene un producto final estabilizado. Los microorganismos son responsables de la degradación bioquímica de la materia orgánica, mientras que las lombrices actúan como conductores del proceso mediante la fragmentación y el acondicionamiento del sustrato para la actividad microbiana. » [21]

1.1.6. Lombricultura

La lombricultura es la crianza y manejo de lombrices de tierra en condiciones de cautiverio, con la finalidad de obtener un fertilizante de uso agrícola. Es una actividad agropecuaria y biotecnología que utiliza a una lombriz doméstica que recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus. La técnica consiste en utilizar los residuos a compostar y la lombriz coqueta roja o lombriz californiana lo transforma mediante su aparato digestivo en una fuente fertilizadora.

Estos cultivos son una alternativa que tiene como finalidad la producción de materia orgánica, rica en nutrientes y en microorganismos que mejoran la fertilidad del suelo y por lo tanto mejora la productividad de las plantas. La lombricultura es un negocio en expansión, y en un futuro será el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos de las zonas rurales, tiene además un enfoque tecnológico por los fenómenos microbiana y bioquímicos que ocurren en el proceso de fermentación de la alimentación de las lombrices.

Las lombrices utilizadas en el proceso pertenecen a la clase oligochaeta en la *tabla 4* se pueden distinguir las categorías más frecuentes de las lombrices de tierra

Tabla 4.

Clases de lombriz de tierra

Epigeic (gusano del estiércol)	Vive y consume materia orgánica descompuesta, es de tamaño pequeño, y esta pigmentado uniformemente, apto para vermicompostaje Especie: <i>Eisenia foetia</i>
Endogeic (habitante del suelo)	De tamaño pequeño a grande, pigmentado semanalmente, vive en madrigueras, en complejos minerales orgánicos del suelo, consume suelo. Especie: <i>Aporrectodea caliginosa, octolasion cyaneum</i>
Anecic (habitante de la capa superior del suelo)	De tamaño grande, tiene pigmento marrón en la parte anterior y dorsal, vive en una profunda madriguera vertical en el suelo y se proyecta en la superficie. Especie: <i>Lumbricus terrestris, allolobophora longa</i>

Nota. Clases de lombriz de tierra, características y especies. Tomado de “Biosystems engineering”. [En línea], Disponible en: <https://www-accessengineeringlibrary-com.ezproxy.uamerica.edu.co/content/book/9780071606288/chapter/chapter17#p20018cf69820498001>. [Acceso: Agos.23,2021]

De las lombrices presentadas anteriormente la lombriz que más se encuentra y más se utiliza en un vermicompostaje es la clase Epigeic especie *Eisenia foetia*

1.1. 6.a. Características de la lombriz californiana. Los raios ultravioletas son perjudiciales para su crecimiento y si se exponen durante un tiempo prolongado se puede provocar su muerte.

- “Su cuerpo es cilíndrico, anillado y presenta de 120 a 175 segmentos, y está recubierta de una fina cutícula, con una longitud en estado adulto de 6 a 8 cm. y un diámetro de 3 a 5 mm, su color va de blanco rosa y ya adulta color rojo oscuro.” [22]
- Su sistema circulatorio consta de 5 pares de corazones y 3 pares de riñones.
- Es hermafrodita, para llevar a cabo la fecundación se necesita de otra especie llevándose a cabo en posición paralela en donde se produce el intercambio de espermatozoide encargado de la fecundación.
- La lombriz secreta capullos donde se encuentran los huevos fecundados, los capullos tienen una forma ovala de 2-3mm de diámetro, cuando adquiere un color verde rojizo se espera de 14 a 21 días para que salgan las lombrices. Su alimentación se basa en 100% de materia orgánica por la cual secretan el 60 % en abono orgánico y el 40% se convierte en biomasa de lombriz.
- La madurez sexual después del nacimiento se adquiere después de 3 meses. 2 a 21 lombrices se estima pueden dar a luz 1500 lombrices/año.
- Una lombriz es 80% agua y 20% materia seca, posee el 65% de proteína [22]

1.1.6.b. Parámetros

“La especie más utilizada en vermicompostaje es la especie *Eisenia foetia*, la cual puede crecer en temperaturas alrededor de 4 a 30°C, humedades del 30 al 60% y pH de 6 a 8. Las lombrices se alimentan de casi cualquier residuo orgánico.” [23]

1.1.6.b.i. Iluminación. la lombriz es muy susceptible a los rayos de luz, por lo cual es necesario ubicarlas en sitios oscuros o con poca luminiscencia debido a que puede causar la muerte o retardar los procesos de producción del humus.

1.1.7. Biodigestión anaerobia

La biodigestión anaerobia “es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores” [24]. A partir de este proceso es posible convertir residuos orgánicos provenientes de los efluentes de la industria alimentaria en subproductos de alto valor agregado. En este tipo de digestión trabajan microorganismos metanogénicos anaeróbicos estrictos o facultativos llevando a cabo reacciones de oxidación-reducción en condiciones netamente oscuras a través de una fermentación. Luego en la respiración anaerobia participa una cadena de electrones y aceptores que permiten la degradación de la materia orgánica y se produce una gran cantidad de energía superior que en la etapa de fermentación. Aquí se obtiene un bioabono y biogás.

1.1.7.a Fermentación metanogénica.

«Los microorganismos metanogénicos son los responsables de la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente: acetato, H₂, CO₂, formiato, metanol, y algunas metilaminas. Los organismos metanogénicos se clasifican dentro del dominio Archaea, y, morfológicamente pueden ser bacilos cortos y largos, células en forma de placas y metanógenos filamentosos, tanto Gram positivos como Gram negativos. » [25]

1.1.7.b. Etapas de la fermentación metanogénica. Los estudios llevados a cabo de acuerdo con los aspectos microbiológicos y bioquímicos dividen el proceso en cuatro fases importantes en donde los microorganismos llevan a cabo una serie de reacciones simultáneas:

1.1.7.b.i. Hidrólisis. Es la etapa que proporciona sustratos orgánicos para que se lleve a cabo la digestión en donde los microorganismos hidrolíticos producen enzimas para utilizar la materia orgánica polimérica. El hidrólisis está limitada a partir de los factores como temperatura del proceso, tiempo de retención, composición de los sustratos, tamaño de partícula, pH, concentración de NH₄⁺ y de la concentración de los productos. Las proteínas son una parte del sustrato muy importante en la digestión debido a que son fuentes de carbono, energía y aminoácidos de un alto

valor nutricional lo cual permite obtener por medio de la degradación ácidos volátiles, amonio, dióxido de carbono, hidrógeno y sulfuro. Los lípidos cuando se degradan producen ácidos largos de cadena larga y glicerol. Si hay presencia de compuestos lignocelulósicos pueden retardar la velocidad de degradación siendo una limitante en el proceso debido a que la lignina es muy resistente afectando la biodegradabilidad de la celulosa y otros hidratos de carbono. [26] Cuando se realizan tratamientos basados en la disminución del tamaño de partícula aumenta la tasa de hidrólisis reduciendo tiempos de retención y tamaños del reactor.

1.1.7.b.ii. Etapa fermentativa o acidogénica. Se fermentan las moléculas orgánicas en compuestos basados en acético, fórmico, hidrógeno, propiónico, valérico, butírico y etanoles utilizados por las bacterias metanogénicas (facultativas y anaeróbicas obligadas) además de eliminar las trazas de oxígeno disueltas. [27]

1.1.7.b.iii. Etapa acetogénica. Aquí se lleva la transformación de etanol, ácidos grasos volátiles y algunos compuestos aromáticos en productos más sencillos como acetato e hidrogeno por microorganismos acetogénicos como *Syntrophomonas wolfei* y *Syntrophobacter wolini*. Los microorganismos homoacetogénicos crecen en presencia de azúcares o compuestos monocarbonados produciendo el acetato además de permitir bajas presiones permitiendo la actividad de bacterias acidogénicas y acetogénicas. [24]

1.1.7.b.iv. Etapa metanogénica: Las bacterias anaerobias estrictas actúan sobre los productos resultantes. Aquí se produce la formación de metano a partir de compuestos de sustratos monocarbonados, acetato, hidrogeno, dióxido de carbono, formato, metanol y metilaminas. Los microorganismos pertenecientes se dividen en hidrogenotróficos (consumen hidrogeno y dióxido de carbono) y acetoclásticos (consumen acetato, metanol y aminas). [28]

1.1.8. Fertilización

“Consiste en la aplicación de productos orgánicos o inorgánicos, naturales o sintéticos, comúnmente llamados abonos o fertilizantes para devolverle al suelo los elementos perdidos por cosechas anteriores o por el lavado y erosión del suelo.” [29]

1.1. 8.a. Fertilizantes. “Se define el fertilizante o abono como cualquier materia orgánica o inorgánica natural o sintética que suministra a las plantas uno o más elementos necesarios para su normal crecimiento o desarrollo.” [29]

1.1.8.b. Macronutrientes. Se necesitan en grandes cantidades, usualmente los suelos son pobres en nutrientes debido a su naturaleza o la extracción de nutrientes por parte de las plantaciones masivas. Siendo así, se clasifican los nutrientes en primarios (Nitrógeno, fósforo y potasio), secundarios (magnesio, azufre y calcio).

- Nitrógeno. Permite el crecimiento de la planta. “Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO_3^-) o de amonio (NH_4^+). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento.” [30]
- Fósforo. Permite el desarrollo de tejidos. Transfiere energía para el proceso de la fotosíntesis. Se encuentra deficiente en suelos.
- Potasio. Sintetiza carbohidratos y proteínas, mejora el régimen hídrico y sufren de menos enfermedades.
- Magnesio. Principal constituyente de la clorofila y transfiere energía a la planta.
- Azufre. Constituyente principal de las proteínas y también forma la clorofila al igual que el magnesio.
- Calcio. Está involucrado en el crecimiento de las raíces y en los tejidos membranales. Suele presentarse deficiencia en suelos tropicales.

1.1.8.c. Micronutrientes

Son sustancias que permiten el crecimiento de la planta. Se absorben en pocas cantidades. Depende de la reacción con el suelo para su disponibilidad. Se clasifican en Hierro, Manganeso, Cobre, Molibdeno, Cloro y Boro.

El aluminio y el manganeso suelen ser tóxicos para las plantas cuando los niveles de pH se encuentran ácidos.

2. DIAGNÓSTICO

En este capítulo se evaluará la caracterización físico – química y microbiológica de los residuos de la fruta durante la fabricación del helado y los lodos provenientes de la PTAR de la empresa ODA GELATATO S.A.S, para esto es necesario realizar una descripción detallada acerca de los procesos previos a la obtención de los residuos orgánicos con el fin de determinar las cantidades producidas en la empresa y como llevarlo a un proceso de producción de abono orgánico.

2.1. Procesos de fabricación del helado

Se hablará de los helados elaborados a base de crema de leche o nata con un alto contenido de grasa vegetal, azúcar como fuente de energía, sólidos no grasos lácteos que ayudan en la contextura del helado para que este sea cremoso y esponjoso; agua y aire, estabilizantes o agentes espesantes como gelatina, alginato sódico, pectina, carragenanos, goma guar, goma xantan, goma locust, goma karaya, goma salep, goma de semillas de albahaca, carboximetilcelulosa, goma de algarrobo los cuales mejoran la estructura y consistencia durante la congelación; emulsionantes como el huevo, monoglicéridos, sorbetón, ésteres de poli y ácido cítrico necesarios para la formación de espuma evitando un exceso de proteínas durante la homogenización.

En la *figura 1* se determinan los pasos para el proceso y elaboración del helado, donde se tienen en cuenta los siguientes procesos unitarios.

2.1.1. Fabricación del mix

- Recepción de materias primas. Es la proporción de todas las materias primas usadas en el proceso de fabricación que ya han sido evaluadas de forma sensorial, físico – química y microbiológica.
- Dosimetría de materias primas. Ocurre el fraccionamiento y pesado de las materias primas para evitar cualquier tipo de error en la producción para que se encuentren listas en el proceso de mezclado.
- Mezclado. Se realiza en un tanque de agitación con un tratamiento continuo o discontinuo que ayude a dispersar los ingredientes; se debe tener en cuenta el orden de adición para una buena solubilidad de los componentes (agua caliente, azúcar, estabilizantes y emulsiones, lácteos y grasas) con una temperatura menor a 70°C.
- Homogenizado. Este proceso pasa por presiones aproximadas de 105-250 kg/cm² y

temperaturas de 70-85°C que favorecen la estabilidad de la emulsión gracias a las grasas vegetales y sólidos lácteos no grasos evitando una acidez en la mezcla dependiendo del mix a realizar. En esta etapa se desintegran los glóbulos de las grasas en la mezcla mejorando así la textura del helado para que sea un producto uniforme y de igual forma reducir el periodo de maduración. [31]

- **Pasteurizado:** Lo más importante en este proceso es la inactivación de microorganismos patógenos como la *Mycobacterium tuberculosis* que se presentan con bajas temperaturas, por lo mismo se realiza un tratamiento térmico a temperaturas mayores de 85°C durante 30 segundos aproximadamente dejando la mezcla libre de patógenos y mejorando el sabor y la conservación del helado. [31]
- **Madurado:** El mix se mantiene en un proceso de refrigeración con aire en un freezer con agitación controlada proporcionando el inicio de la cristalización de hielo y grasa; esto mejora la absorción del batido para estabilizar las proteínas, aumentar la viscosidad y mejorar la suavidad del helado por un tiempo de 4 horas a temperaturas de 4-5°C. [31]
- **Enfriado.** Para esta etapa se necesitan alcanzar temperaturas alrededor de los -25 a -28°C para retardar el crecimiento de nuevos microorganismos, realizado a partir de túneles de congelación con una circulación forzada de aire, esto reparte de forma uniforme el aire frío por toda la cámara y de igual forma la grasa se cristaliza dando una consistencia final del helado. [32]

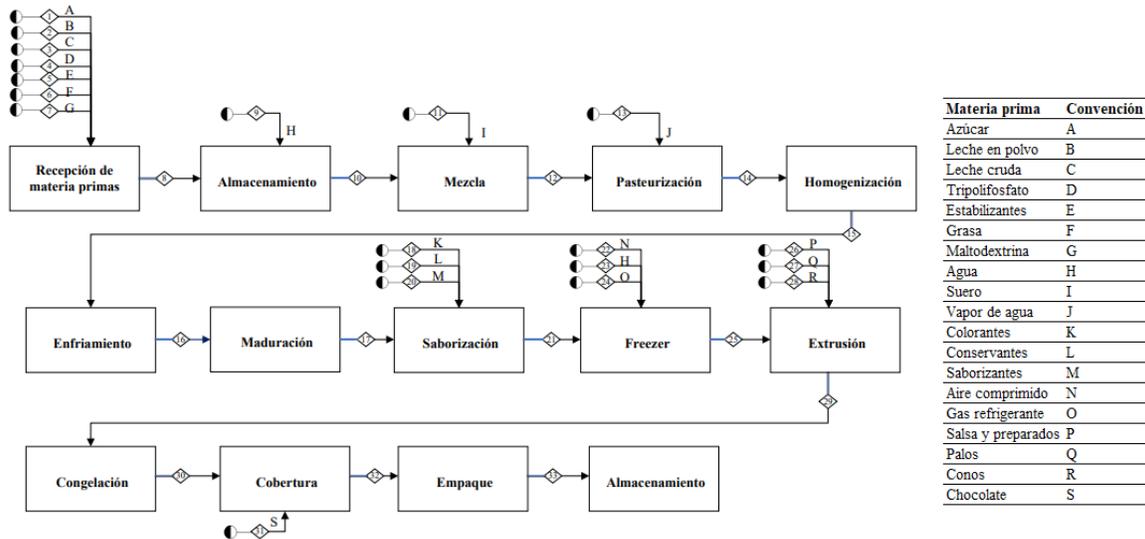
2.1.2. Envasado o acondicionamiento del helado

- **Batido.** Se forma una mezcla cristalina donde ingresa a 4°C y sale a -5°C, donde el mix se congela en un intercambiador de calor.
- **Envasado y codificado.** Se realiza en máquinas rotatorias de forma continua que permite envasar potes de helados y empaquetar las paletas de crema donde se incluyen el lote, día juliano, turno, hora y la fecha de vencimiento.
- **Congelado.** Se realiza una congelación profunda por medio de cavas donde el producto tiene un tiempo de residencia a -40°C mínimo de 5 horas con la finalidad de que no quede ningún contenido acuoso. [32]
- **Almacenamiento y comercialización.** Mantener la cadena de frío para la conservación de las características sensoriales, físico – químicas y microbiológicas del helado evitando reclamos de

innocuidad al momento de ser distribuida la producción.

Figura 1.

Fabricación del mix del helado



Nota. Diagrama de procesos para la fabricación del mix de crema. Tomado de la empresa ODA GELATO.

Para la norma técnica colombiana 1239 y la resolución 02310 de 1986 se establecen los requisitos para elaboración y producción del helado, donde se aplica una clasificación conforme sean sus ingredientes o sus requisitos fisicoquímicos y microbiológicos, de esta forma su preparación es regulada y manipulada para cumplir con la normativa de higiene.

De acuerdo a lo anterior se destaca que se usa fruta para el relleno, sabor y color de los helados, pero en ellos se detectan errores en la estandarización, fermentación, vencimiento de lotes y ocasionalmente crecimientos microbianos por deficiencias durante su almacenamiento o traslado del producto, todos estos defectos son vistos por el área de calidad la cual determina si la fruta cumple con los requerimientos establecidos en la normatividad, en casos de inocuidad este deberá ser catalogado como residuo orgánico no peligroso.

2.1.3. Residuos de fabricación del helado

Actualmente en Oda Gelato acumula aproximadamente 30 kg mensuales de residuos procedentes de la fruta. La empresa cuenta con tres líneas de fabricación, la primera es la extrusora la cual se encarga de elaborar los conos y las paletas; la segunda es la lineal la cual elabora los bocatos y los vasos pequeños; la manual que se encarga de elaborar cajas de 10 litros, bandejas y potes manuales.

2.1. 3.a. Clasificación de las mezclas de residuo según su origen.

- Por operación. “Esta mezcla de desecho se produce al momento de la calibración del equipo y la estabilización del proceso, dicha merma es necesaria e inevitable”. [33]
- Por proceso. Cuando se genera un problema técnico en la planta por algún equipo y el proceso se detiene por completo, la mezcla es descartada.
- Por cocimiento. Cuando las temperaturas de pasteurización no cumplen con los parámetros del proceso se pierde la mezcla.
- Por empaque. Son los daños ocasionados al producto ya terminado que no son aptos para el consumo como averías en los empaques y fechas de vencimiento no acordes al lote.

2.2. Planta de tratamiento de aguas

ODA GELATO cuenta con una planta de tratamiento de aguas que tiene como objetivo remover cargas orgánicas, donde las inorgánicas afectan los parámetros de calidad del agua durante el vertimiento, para este caso en las redes de agua de la sabana de Bogotá; para estos tratamientos se debe cumplir con el decreto nacional 0631 el cual será nombrado posteriormente, estableciendo los parámetros máximos permisibles para el sector de los alimentos. La planta está diseñada para un tratamiento de $50 \frac{m^3}{Día}$, con una jornada de operación de 10 horas continuas. La operación consta de una secuencia de procesos unitarios y principios físicos, químicos y biológicos que se evidencian en la *figura 3* donde se realiza el tratamiento de aguas residuales.

2.2.1. Proceso de tratamiento de las aguas residuales en ODA GELATO

En la *figura 2* se determinan los pasos para el proceso de tratamiento de aguas, donde se tienen en cuenta los siguientes procesos unitarios.

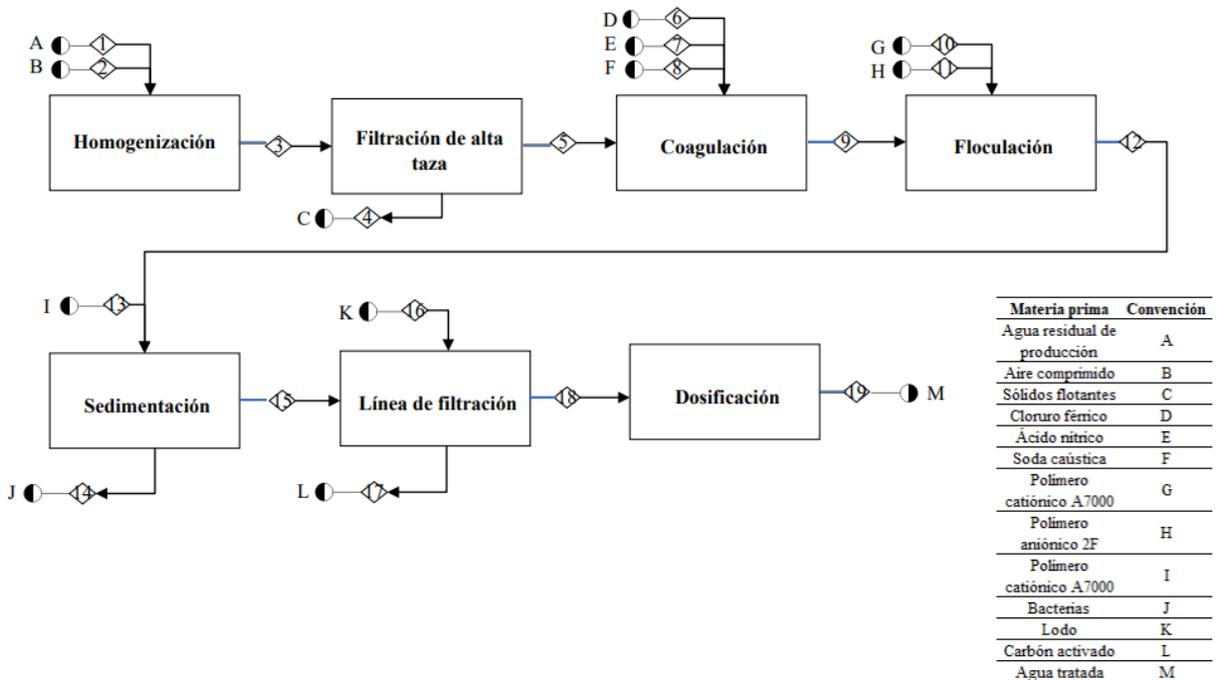
- **Homogenización.** Las aguas provenientes de producción contienen una gran cantidad de cargas contaminantes generadas en cada proceso, operaciones de limpieza de equipos, utensilios y sectores de planta, las cuales llegan al tanque de homogenización en donde se efectúa un proceso de aireación que permite agitar el agua y activar los micronutrientes que contienen las aguas residuales.
- **Filtración de alta tasa.** Remueven los sólidos flotantes o suspendidos que contiene el agua.
- **Coagulación.** Se basa en añadir al agua un electrolito, llamado coagulante, el cual es cloruro férrico que actúa como la liberación de iones positivos capaces de atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga o mediante la formación de productos de baja solubilidad que precipitan arrastrando los coloides. Cuando el rendimiento del proceso disminuye es porque hay un margen de error del pH o de la agitación, para corregirlo se realiza una dosificación de ácido nítrico y soda caústica para ajustar dichos errores para el óptimo funcionamiento del químico coagulante.
- **Floculación.** La floculación pretende unificar los coágulos formados en grandes partículas. Para ello, se introduce un agente floculante y se somete el agua a tratar a una agitación muy lenta, que asegure la mezcla de los reactivos a la vez que no rompe los flóculos formados. Los floculantes empleados son polímeros de cadena larga y alto peso molecular. [34] Son equipo construidos en tubería principalmente, permitiendo la inyección de polímeros aniónico y catiónico de referencia 2F y A7000 respectivamente. Allí inicia el proceso fisicoquímico para remover las cargas orgánicas e inorgánicas que aun contiene el agua.
- **Sedimentación de alta tasa.** Se realiza una sedimentación para separar componentes orgánicos e inorgánicos aun presentes del agua clarificada. Esta sedimentación contiene un manto de bacterias biomerck que van a consumir toda la carga orgánica restante que no se ha eliminado en los procesos anteriores. Las aguas estabilizadas con el agente biológico llegan a las trampas de grasa las cuales retardan el flujo de agua por la adición del polímero en la etapa anterior, lo que permite que se separen las aguas de las grasas y componentes sólidos, siendo así las grasas permanecen en la superficie y los sólidos en el fondo a partir de principios físicos de

sedimentación.

- Línea de Filtración. Compuesto por un tren de filtración, centrado en 4 filtros de zeolita, carbón activado y dos de graba convencional de diferentes granulometrías permitiendo remover los sólidos más pequeños, eliminación del color y olor aun presentes.
- Sistema de dosificación. Realizado a partir de hipoclorito de sodio o cloro en diferentes porcentajes, el cual permite inhibir la carga biológica en exceso que contiene el agua.

Figura 2.

Tratamiento de aguas residuales.



Nota. Diagrama de procesos de la planta de tratamiento de aguas. Tomado de la empresa ODA GELATO.

Una vez realizado el tratamiento de forma dosificada estas aguas pasan a la planta de tratamiento y vertimiento de aguas de la zona franca permanente y de allí son dirigidas a las redes de agua de la sabana de Bogotá. Finalmente, los lodos generados en la PTAR son conducidos a un proceso de purga manteniendo la concentración de biosólidos llevados a un sistema de isotanques para su almacenamiento y posteriormente una desecación certificada por la corporación autónoma regional (CAR).

2.3. Caracterización fisicoquímica y microbiológica

En la determinación de los principales parámetros que permitirán realizar el estudio de las propiedades que presentan los lodos y los residuos de fruta de la fabricación del helado, es necesario realizar una caracterización fisicoquímica y microbiológica que permitirá establecer su aplicabilidad. Esto se realizó basado en la norma NTC 5667-13, la cual instruye las técnicas de muestreo para lodos provenientes de aguas residuales y plantas de tratamiento de aguas y el manual de control de calidad de los alimentos estipulado por la FAO.

Se tomó la muestra para los residuos de fruta a partir de un muestreo selectivo evidenciado en la *figura 3*, en donde “La toma de muestras se puede realizar en cualquier punto de la cadena de producción, durante una inspección, en el almacén, en el establecimiento mayorista o en el mercado o establecimiento minorista.” [35]. Este procedimiento de muestreo se lleva a cabo con el fin de detectar productos que no cumplen con la norma técnica colombiana 1239 y la resolución 02310 de 1986. El laboratorio ALS LIFE SCIENCES sugirió realizar una recolección de aproximadamente 100 g.

Figura 3.

Muestreo de marmita.



Nota. Proceso de muestreo en la marmita donde se concentra la fruta para ser mezclada en el proceso de fabricación del helado. Tomado de la empresa ODA GELATO.

Para el lodo se identifica que el tipo de muestra tomada corresponde a una muestra aleatoria o puntual, en donde solo se toma de un punto en una pila durante su proceso. El lodo obtenido en el tratamiento de aguas aplicado por la empresa es un lodo líquido, el cual debe ser tomado en grandes volúmenes por su carencia en sólidos, el laboratorio BIOPOLAB sugirió realizar una recolección de aproximadamente 500g permitiendo que la muestra a analizar sea lo más representativa posible. En la *figura 4* se observa la trampa de grasa, la cual mediante el manto de bacterias de biomerck se sedimentan los lodos, estas absorben las grasas haciendo que el lodo se seque y sea llevado a los tanques de desecación.

Figura 4.

Capas de lodos en las trampas de grasa



(a)

(b)

(c)

Nota. Formación de capas del lodo luego del tratamiento de aguas. Tomado de la empresa ODA GELATO.

Luego de la formación de las capas del lodo se toman muestras para su caracterización, se espera a que sedimente ya que se necesita un bajo porcentaje de humedad y concentración completa de los componentes que forman dichos lodos, estas muestras pueden ser tomadas directamente desde la trampa de grasa o también en los tanques de desecación como se puede apreciar en la *figura 5*.

Figura 5.

Lodo dispuesto para el muestreo.



(a)

(b)

Nota. Lodo dispuesto para el muestreo para llevar a cabo su caracterización. Tomado de la empresa ODA GELATO.

Para la muestra en este caso se toma directamente de los tanques de desecación luego de ser sedimentados en las trampas de grasas. Después de recolectar las muestras, estas se almacenan en bolsas ziploc fabricadas de material polietileno, son transparentes desechables y herméticas, en donde la muestra recolectada no se verá afectada por factores externos como la contaminación de constituyentes orgánicos o metales, por fugas del material o pérdida de humedad por evaporación. Estas se usan dobles, siendo así la primera al ser sellada debe contener la información de la fecha, ubicación de la planta, el tamaño e identificación de la muestra y el nombre de quien la realiza, adicionalmente se tiene en cuenta fecha de elaboración y fecha de caducidad y el número de lote para la marmita.

Seguido de tomar las muestras y ser llevadas a su respectivo laboratorio, se obtiene una caracterización guiada por la NTC 5167 para los residuos de fabricación y lodos de la PTAR donde se determinan parámetros de humedad, pH, cenizas, carbono orgánico total, nitrógeno total, grasas, metales pesados y un análisis microbiológico regido por la NTC 4092 mostrando un diagnóstico sobre microorganismos aerobios mesófilos, E.Coli, coliformes totales, Salmonella, Staphylococcus aureus.

A partir de esto se consideran todas las normativas legales y vigentes sobre el manejo de la disposición de los biosólidos, realizando una comparación de los niveles máximos permisibles con los resultados obtenidos de dichas caracterizaciones.

En consecuencia, en los resultados se observa que el contenido de metales pesados en los lodos es mínimo debido al tratamiento de aguas realizado, el cual cumple con el reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS) que establece el desarrollo y diseño de todos los componentes de un sistema de potabilización del agua, en sus etapas de conceptualización, diseño, puesta en marcha, operación y mantenimiento que se desarrolle en la República de Colombia, con el fin de garantizar su seguridad, durabilidad, funcionalidad, calidad, eficiencia, sostenibilidad y redundancia dentro de un nivel de complejidad determinado. [36]

Para los resultados del proceso de la fruta en la fabricación del helado no se disponen de altos niveles de microorganismos y por ser un alimento se efectúa la ley 9 de 1979 donde se dictan las medidas sanitarias para los procedimientos adoptados en la disposición y descargas de dichos residuos que afectan al medio ambiental y deben ajustarse al reglamento sanitario y de higiene conforme a lo establecido por la ley.

Al ser una planta que elabora con productos lácteos tendrá secciones independientes para la elaboración de los diferentes productos. El ministerio de salud podrá autorizar la utilización de la leche para la fabricación de varios productos teniendo en cuenta que no haya peligro de contaminación. Estas plantas deben disponer de sistemas de enfriamiento y pasteurización para cumplir con los requisitos sanitarios y de conservación establecidos para cada una de ellas.

En vista del cumplimiento sanitario y de la RAS se descarta la ley 1252 de 2008 la cual identifica el grado de peligrosidad de los residuos, así mismo, en la *tabla 11* se describen los resultados analizados con su respectivo método analítico.

Inicialmente para el proceso del tratamiento de aguas se realiza una comparación del decreto 4741 sobre el manejo de los residuos peligrosos donde la calidad de peligroso es conferida sobre el residuo que puede tener características tóxicas, se considera residuo o desecho tóxico aquel que en

virtud de su capacidad de provocar efectos biológicos indeseables o adversos puede causar daño a la salud humana y/o al ambiente. Para este efecto se consideran tóxicos los residuos o desechos que se clasifican de acuerdo con los criterios de toxicidad.

Además, se considera residuo o desecho tóxico aquel que, al realizársele una prueba de lixiviación para característica de toxicidad (conocida como prueba TCLP), se presentan en concentraciones superiores a los niveles máximos permisibles en el lixiviado establecidos en el decreto. [37]

De la misma forma se evalúa el cumplimiento de la resolución 0631 sobre los valores límites permisibles en los vertimientos en el proceso que se lleva a cabo en la PTAR, los cuales son clasificados como aguas residuales no domésticas – ARDn, los cuales proceden de actividades industrial-alimenticia.

El cumplimiento de esta norma se deberá tener en cuenta cuando la captación y descarga se realice sobre los mismos cuerpos de aguas en donde se deben realizar tratamientos de aguas residuales para garantizar una calidad del vertimiento óptima, sustrayendo metales y metaloides y otras sustancias que puedan afectar la calidad de la misma. Para analizar lo anterior, es necesario realizar balances de masa, caracterizaciones del agua captada y del vertimiento. [38]

En la *tabla 5*, se muestran los resultados obtenidos de los compuestos generados en el tratamiento de aguas que son comparados con la normativa 4147 y 0631 con respecto a sus niveles máximos permisibles.

Tabla 5.

Resolución 0631 y 4147

COMPUESTOS	RESULTADO OBTENIDO	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE 631	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE (mg/L) 4147
<i>Metales y metaloides</i>			
Cromo	<0,045 mg/L	0,50 mg/L	5,0
Mercurio	<0,001 mg/L	0,01 mg/L	0,2
Plomo	<0,068 mg/L	0,20 mg/L	5,0
Cadmio	<0,0090 mg/L	0,05 mg/L	1,0
Cinc	0,226 mg/L	3,00 mg/L	
Cobre	<0,058 mg/L	1 mg/L	
Níquel	<0,051 mg/L	0,50 mg/L	
<i>Generales</i>			
pH	6,6 a 8,45	6 a 9	
Demanda química de oxígeno (DQO)	548 mg/L	600 [32] mg/L	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBOs)	277 mg/L	400 mg/L	
Sólidos suspendidos totales (SST)	140 mg/L	200 mg/L	
Sólidos sedimentales (SSED)	4 mg/L	2 mg/L	
Grasas y aceites	<9,97 mg/L	20 mg/L	
<i>Iones</i>			
Cianuro total	<0,02 mg/L	0,50 mg/L	
Cloruros	215 mg/L	250 mg/L	
Sulfatos	236 mg/L	250 mg/L	

Nota. Parámetros y valores permisibles límites máximos permisibles y prevención y manejo de los residuos o desechos peligrosos. [Acceso: sept.9,2021]

En la *tabla 6* se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos originados en los residuos de fabricación del helado, son clasificados según el decreto 1287 que establece los criterios para el uso de los biosólidos, los cuales deben ser sometidos a procesos donde se estabilizan para hacer una reducción de la carga del contaminante en caso de no cumplir los valores máximos permisibles para que tengan una provechosa disposición. [39] Esta caracterización se desarrolla con los residuos de fabricación y con ellos se hace una relación que permite constatar que al realizar los lavados de los equipos esa agua que por consecuencia será tratada no se encuentra contaminada.

Tabla 6.

Categorización de biosólidos del decreto 1287 y aguas de ODA GELATO

Criterio	Variable	Unidad de medida	Categoría Biosólido		
			Valores máximos permisibles		
			A	B	
Químicos- Metales Concentraciones máximas	Cadmio (Cd)	mg/Kg de biosólido (base seca)	8	40	<0,009
	Cobre (Cu)		1.000,00	1750	<0,058
	Cromo (Cr)		1.000,00	1500	<0,045
	Mercurio (Hg)		10	20	<0,001
	Níquel (A)		80	420	<0,051
	Plomo (A)		300	400	<0,068
	Zinc (Zn)		2.000,00	2800	0,226
Microbiológicos	Salmonella	Unidades formadoras de colonias UFC/g de biosólido (base seca)	Ausencia	<1,00E (+3)	Ausencia

Nota. Valores máximos permisibles de categorización de biosólidos para su uso y su comparación con los resultados de caracterización en ODA GELATO. [Acceso: sept.9,2021]

Con los resultados de la caracterización de los residuos de fabricación del helado se obtiene que los contaminantes microbiológicos y fisicoquímicos se encuentran en bajas cantidades o ausencia de estos, por lo tanto, se descarta que en el proceso del tratamiento de aguas y la generación de

lodos tengan microorganismos patógenos que origine algún problema en la producción del abono orgánico. De igual forma como se mencionó para la caracterización del agua esta muestra bajos contenidos de metales de modo que no tiene impactos negativos en el lodo resultante del este proceso.

En la *tabla 7* se muestran los resultados de los parámetros fisicoquímicos originados en los lodos que se van a disponer para la producción de un abono orgánico.

Tabla 7.

Parámetros fisicoquímicos del lodo

Parámetro	Resultado	Unidades
Humedad	82,3	g/100g
pH	4,93	
Carbono orgánico total	65,3	g/100g
Nitrógeno total	0,63	mg/kg

Nota. Caracterización fisicoquímica de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas de la empresa ODA GELATO.

Según la caracterización del lodo, este tiene un alto contenido de humedad correspondiente al 82,3%, este parámetro es el más importante durante el proceso del abono orgánico ya que los porcentajes permisibles para una producción de abono sólido deben encontrarse menores al 75%, por tal motivo se llevará a cabo un proceso inicial para la elaboración de un abono que se adapte a las condiciones del lodo.

Por parte del pH se observa que tiene un carácter ácido de 4,93 y una relación C/N baja en nitrógeno lo que significa que hay más unidades de carbono por cada unidad de nitrógeno, esta relación tiene un efecto significativo en nutrientes para la elaboración de dicho abono en la cobertura del suelo, por lo tanto, se deberá equilibrar esta relación por medio de agentes de carga.

3. PROCESO DE PRODUCCIÓN DEL COMPOSTAJE

En este capítulo se realiza la selección del tipo de abono orgánico que se adecua a los residuos y lodos generados en la empresa ODA GELATO. Inicialmente se plantea una matriz de selección del proceso basado en criterios de eficiencia, disponibilidad del espacio y materias primas, facilidad de control y mantenimiento, tiempos, costos, recursos y peligrosidad.

Aplicando el tipo de abono preseleccionado se ejecuta la descripción específica y detallada para llevar a cabo la metodología, elaboración y seguimiento del proceso teniendo en cuenta las variables y parámetros principales que se deban controlar para enriquecer el sistema, además del tipo de suelo al puede emplearse.

3.1. Matriz de selección

Previamente en el capítulo 1 se mencionan las diferentes técnicas que se pueden emplear para hacer abono orgánico, las cuales se comprende en 3 tipos para este proyecto. El primero de ellos correspondiente al compostaje el cual se divide en sistemas abiertos que constituyen a pilas con volteo o estáticas y sistemas cerrados que incluyen reactores que operan de forma continua o discontinua. El segundo hace referencia a la lombricultura y el último de ellos a un biofertilizante. Finalmente, para su respectiva selección se comparan sus ventajas y desventajas ofrecidas.

En la *tabla 8* se evidencian las ventajas y desventajas de los diferentes procesos para la obtención de abono orgánico.

Tabla 8.*Ventajas y desventajas del proceso de obtención del abono orgánico*

Proceso	Ventajas	Desventajas	Autores
Compostaje con sistema abierto	<p>Pila con volteo (opción 1)</p> <p>Se implementan volteos por lo tanto es un sistema con bajos costos y sencillo, se debe mezclar periódicamente para homogenizar la materia orgánica manteniendo la temperatura y permitiendo el paso de aireación aumentando la porosidad.</p>	<p>Se deberá manejar grandes espacios de tierra para permitir mover la mezcla ya que comprende enormes volúmenes y pérdidas significativas. De la misma forma para mantener constante el nivel de oxígeno se necesita implementar sistemas de aireación generando malos olores, tiene alto contenido de patógenos y los gases obtenidos en el proceso no son controlados.</p>	<p>R. Docampo, M. Alcolea y C.Gonzales</p>
	<p>Pila estática (opción 2)</p> <p>Este proceso no requiere de equipos costosos, permite un alto flujo de masa logrando mantener las condiciones de oxígeno y humedad adecuadas mejorando su actividad metabólica sin moverse de su sitio.</p>	<p>Al tener grandes cantidades de materia orgánica se extienden los tiempos del proceso presentando problemas sanitarios como malos olores o plagas ya que no hay una homogenización de la pila, de la misma forma hay un mayor gasto energético y esto influye en costos del proceso.</p>	<p>R. Docampo, M. Alcolea y C.Gonzales</p>

Tabla 8. Continuación

Compostaje con sistema cerrado	Reactor vertical (Opción 3)	Permite un mayor control del proceso y emisión de gases al medio ambiente sin generar malos olores, además permite controlar variables del proceso como la temperatura, humedad y aireación lo cual ayuda a la mejora continua de la calidad del producto, permite grandes volúmenes y un menor tiempo de procesamiento.	Se necesita de una alta inversión de energía y mantenimiento del reactor ya que necesita de personal capacitado para operarlos, requiere de adecuaciones para evitar desperdicios y acumulaciones en los fondos.	C. A. Molina
	Reactor horizontal (Opción 4)	Se necesita de un menor tiempo de residencia, pocas emisiones de gases al medio ambiente evitando malos olores durante el proceso, requiere menor costo de inversión en comparación con los reactores verticales, se pueden incluir sistemas de medición para que ayuden a controlar el sistema y por ende se evitan los malos olores.	Elevados costos de mantenimiento además requieren de grandes espacios, tiene ciclo de operaciones aún más complicados y para obtener una alta cantidad y calidad del producto se requieren de un tiempo de resistencia mayor.	C. A. Molina

Tabla 8. Continuación.

Vermicompostaje (Opción 5)	Es un abono orgánico que no daña al ecosistema y reduce el uso indiscriminado de fertilizantes químicos, la cría de lombrices no requiere de grandes inversiones e infraestructura, permite controlar el exceso de desechos.	No puede ser utilizado en grandes extensiones de terreno, se recomienda realizar la cría en almácigos o viveros, requiere de una gran demanda de lombrices, puede fomentar infestación de plagas si no se genera el suficiente calor durante la etapa del compostaje, los materiales se pueden volver anaerobios y poco apetecibles para las lombrices en caso de una mala manipulación.	J.L.Cuervo
-------------------------------	--	--	------------

Nota. Comparación de los diferentes procesos en la producción de compostaje y vermicompostaje evaluando sus ventajas y desventajas. [Acceso: Sep.16,2021]

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas que presentan los diferentes procesos según bibliografía, se realiza la matriz de selección para determinar el tipo de abono que mejor se adecua al tipo de residuo que se le empleará y contribuya de manera efectiva a la sostenibilidad ambiental y económica para la empresa. Para realizar la matriz de selección del proceso de compostaje se necesitan establecer aspectos que presenten las características más importantes a considerar donde se tiene en cuenta las ventajas y desventajas de la *tabla 8* para cada una de las opciones.

Estos aspectos se clasifican y evalúan inicialmente los costos del proceso donde se establecen los presupuestos, el segundo equivalente a la mano de obra el cual dependiendo de las cantidades a manejar se instaura un personal capacitado para llevar a cabo el proceso de compost, el tercero mira la eficiencia y disponibilidad del mercado donde se estiman las cantidades de material inicial y dimensionamiento del proceso para una producción a gran escala.

El siguiente aspecto con relación a la facilidad de control e inocuidad del proceso es uno de los

más relevantes ya que al realizar el proceso con residuos de alimentos para una empresa de helados requiere de un buen manejo y control de dichos residuos para evitar problemas de inocuidad, de la misma forma va de la mano con la disponibilidad de materia prima para ser llevado cabo a lo largo de los procesos de producción.

Para elegir el tipo de equipos necesarios durante el proceso de producción del abono orgánico se necesita considerar la facilidad de control donde se pueda disponer y determinar las variables del proceso y de la misma forma detectar posibles fallas que pueda presentar el sistema. Aquí también se evalúa la facilidad con la que se pueda implementar una limpieza de los equipos evitando contaminación cruzada.

Otro factor importante para considerar son los tiempos empleados los cuales aprovechan los recursos en el menor tiempo posible ya que la empresa no cuenta con una infraestructura donde se puedan almacenar y controlar los residuos, con esto en mente se mira la disponibilidad del espacio donde se pueda instaurar un lugar de la recepción de la materia prima que no genere altos costos y a que usarlos sea rápido y eficiente. Finalmente se analiza el rendimiento de cada opción estimando que las condiciones del sistema persistan durante todo el proceso.

En la *tabla 9* se evidencian los criterios de selección para las diferentes opciones para la obtención del abono orgánico.

Tabla 9.*Matriz de selección del proceso de obtención de abono orgánico*

Criterios de selección	Opción 1	Opción 2	Opción 3	Opción 4	Opción 5
Costos del proceso	1	0	-1	-1	-1
Recursos de mano de obra	-1	-1	1	1	1
Eficiencia y disponibilidad del mercado	1	1	-1	1	1
Facilidad de control e inocuidad del proceso	-1	-1	1	1	1
Disponibilidad de materia prima	1	1	1	1	1
Mantenimiento de equipos	1	1	-1	-1	1
Tiempos de residencia	1	-1	0	1	1
Disponibilidad del espacio	-1	-1	1	1	-1
Condiciones del sistema constantes	1	1	1	1	0
Rendimiento	0	0	1	1	-1
SUMA	3	0	3	6	3

Nota. Selección del proceso de obtención del abono orgánico mediante 9 criterios de selección.

[Acceso: Sep.18,2021]

Las puntuaciones usadas en la matriz corresponden a -1 donde no es viable, a 0 neutral y 1 viable, cabe resaltar la elección de un método u otro es una cuestión de adecuación principalmente por el lugar donde se llevará a cabo el proceso ninguno de ellos es categóricamente mejor que el resto. Se escoge con respecto a las cantidades, tipos de residuos a compostar, al espacio del que se dispone, cuestiones económicas o estética. Para ayudar en la elección de un sistema u otro se comparan las ventajas y desventajas en la *tabla 8* anteriormente mencionada.

Para la puntuación de la primera y segunda opción equivalentes a un sistema abierto usado principalmente en procesamiento de residuos agrícolas y estiércol animal contienen malos olores lo cual afecta ya que en una empresa de alimentos habrá contaminación cruzada, los sistemas de pilas por instalación ocupan un mayor espacio y no son estables por lo que el material se tiende a expandir. [40] Las pilas de volteo son más fáciles de controlar sus variables en comparación con las estáticas que requieren de un mayor tiempo de residencia donde por convención natural de aire realizan el proceso de compostaje con un rendimiento del 54%. [41]

Para los estándares en los sistemas cerrados se tiene menores limitaciones, pero por disponibilidad en el mercado y costos ante un reactor vertical se elige la opción del reactor horizontal ya que es el más comúnmente usado y eso hace una mayor factibilidad hacia la cuarta opción además de un rendimiento del proceso de 63%, funcionan en tiempos continuos o discontinuos amoldándose a las pocas cantidades que la empresa produce de residuos a compostar. [42]

La última opción corresponde al proceso de compostaje, donde la puntuación es relativamente la misma que un sistema abierto ya que se maneja la lombricultura, este proceso requiere del mejor manejo ya que las lombrices tienden a ser muy sensibles y cualquier cambio en las variables dañan por completo el proceso, tiene un 50% de rendimiento. [43]

3.2. Microorganismos y grasas en el compostaje aerobio

En el tratamiento de aguas de la empresa ODA GELATO se obtiene una gran cantidad de lodos provenientes de los procesos industriales en donde se involucran las grasas vegetales, y las grasas lácteas, las cuales son uno de los factores más determinantes. Uno de los problemas más característicos de esta clase de residuos es la baja retención de agua y solubilidad, baja biodegradabilidad y muy poca porosidad además de la producción de gases como el amoníaco, el hidrogeno de azufre entre otros y compuestos orgánicos volátiles. Para llevar a cabo una degradación más rápida de los residuos grasos se han utilizado tecnologías basadas en la mezcla de microorganismos previamente seleccionados genéticamente además de influir las variables de temperatura, pH, humedad y las fuentes de nitrógeno y fosforo, por esta razón en las trampas de grasa y en los drenajes se agregan microorganismos Biomerck.

Los microorganismos biomerck son caracterizados por ser cepas facultativas, con diferentes tasas de biodegradación de grasas animales, vegetales, proteínas, almidones y celulosa

«Una vez se realiza la inoculación o aplicación, inicia un proceso de colonización en las diferentes partes del sistema como las paredes de las trampas, las cajas de paso y las superficies de las tuberías, formando un microambiente (como una biopelícula) que evita que las grasas y la materia orgánica se vuelvan a acumular., Los microorganismos presentes en liberan de forma regular enzimas específicas que rompen las cadenas de grasa, proteínas y almidones. Una vez se

ha realizado la acción enzimática, los microorganismos benéficos proceden a alimentarse de estas cadenas de menor tamaño, usándolas dentro de su metabolismo. » [44]

“Las lipasas son capaces de hidrolizar triglicéridos a ácidos grasos y glicerol y bajo ciertas condiciones catalizan la reacción inversa. Son también capaces de catalizar reacciones de transesterificación e hidrolisis.” [45] Se producen por microorganismos de los géneros *Pseudomonas*, *Serratia*, *Bacillus*, *Aspergillus* entre otros. Estos tipos de tratamientos permiten una remoción de contaminantes entre un 70%-100% [46], ya que los microorganismos empleados permiten incorporar las grasas a su metabolismo y convertirlos en CO₂ y agua.

Siendo así, se puede asegurar que los lodos obtenidos en la PTAR de la empresa presentan una leve cantidad de grasas y por lo tanto no va a afectar a los procesos de compostaje que se realizarán posteriormente.

3.3. Metodología del proceso

En esta etapa se realiza la adecuación de los lodos y los residuos de fruta en la fabricación del helado, materiales de soporte y su correspondiente homogenización de la mezcla. Luego se determinará el sistema de compostaje que se empleará para la obtención. Finalizando esto se realizará un enriquecimiento para obtener un abono orgánico aplicable en suelos.

3.3.1 Selección del material de carga

Los lodos obtenidos en la planta de tratamiento de aguas contienen altos porcentajes de humedad al igual que la fruta ya que no cuentan con un proceso previo de deshidratación. Para suplir los valores requeridos por el compostaje, es necesario incluir agentes de carga caracterizados por ser materiales usados para equilibrar los niveles de C/N debido a que “el Carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación adecuada entre estos dos nutrientes favorecerá un buen crecimiento y reproducción.” [47] Además de verse beneficiado por la poca humedad que presentan evitando el uso de tratamientos de secado en tiempos muy extensos.

Se realiza una búsqueda bibliográfica teórica de los posibles materiales que se puedan usar que

cumplan con las características anteriormente expuestas, siendo así, se encontraron artículos de tesis en donde se realiza una caracterización de la composición química de materiales que se usan como agentes de carga en la adecuación de los residuos teniendo en cuenta los porcentajes de carbono y nitrógeno son los más críticos en la producción de compostaje al igual que la humedad. Teniendo en cuenta esta información se extrajeron los datos principalmente el de las podas de una localización similar estableciendo que la empresa se encuentra ubicada muy cerca de Bogotá.

En la tabla 10 se presenta la caracterización teórica de dichos materiales.

Tabla 10.

Caracterización teórica de materiales de soporte

Materiales	C%	N%	C/N	Humedad
Podas	41	2.55	150	59.6
Aserrín	54.2	0.4	135.5	10.3
Frutas	8	1.36	5.88	70

Nota. Porcentaje Carbono, Nitrógeno y humedad para materiales de carga. Tomado de * Fundación Universidad de América, “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], Disponible en: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/6574/1/6121830-2017-02-IQ.pdf>; “Sewage sludge composting in a rotary drum reactor: stability and kinetic análisis”.[En línea], Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-015-0104-4>. [Acceso: Nov.03,2021]

A partir de los resultados de la caracterización fisicoquímica proporcionada por la empresa los lodos producidos por la planta de tratamiento de aguas se logra identificar que los niveles de carbono se encuentran en un porcentaje del 65%, el nitrógeno en un 0,67%, además del alto porcentaje de la humedad correspondiente al 82%. Revisando los requerimientos para realizar un adecuado proceso de compostaje es necesario realizar los ajustes necesarios en el acondicionamiento del sustrato a partir de los materiales de carga expuestos anteriormente, debido

a que el suelo contiene microorganismos partidarios en reacciones físicas, químicas y microbiológicas que permiten el crecimiento de los pastos y cultivos siempre y cuando las condiciones sean óptimas para el desarrollo y la subsistencia, para ello los niveles de carbono y nitrógeno no deben ser altos ni bajos ya que metabolismo de los microorganismos no funcionará.

«Un suelo sano debe contener una relación C/N en 8.5/1 a 11.5/1 y esta relación es diferente a la que debe tener un buen abono para ser adicionado al suelo. Se considera que un valor ideal al inicio del compostaje debe ser de 25/1 hasta 35/1. Valores más altos o bajos en la formulación de cualquier abono natural sólido puede redundar en el inadecuado o muy lento proceso de la descomposición y humificación de dicha materia orgánica. » [48]

Esto sucede cuando se está llegando a la humificación en donde los niveles rondan aproximadamente a una relación de 10/1.

Los materiales investigados se encuentran en la empresa en una disponibilidad mensual, se destaca que hay una zona verde que requiere de una constante poda, este césped se empleará como agente de carga al igual que los palillos de los helados de crema al ser descartados cuando el producto no es inocuo para la venta que serán triturados para formar el aserrín.

3.3.2. Acondicionamiento de los lodos con factores de carga

Los sustratos que acondicionarán los lodos a valores óptimos de Carbono y Nitrógeno son pastos ubicados cerca de PTAR de la empresa y el aserrín proveniente de los palos de los helados que son desechados tras procesos que generan algún efecto de no conformidad del producto.

Los lodos obtenidos fueron recolectados y llevados a análisis el mismo día de su extracción, se especifica que la planta de tratamiento de aguas de la empresa ODA GELATO no somete a procesos de deshidratación a los lodos generados, por esta razón presenta un alto porcentaje de humedad siendo un problema para mantener las temperaturas de la producción del compostaje ya que los microorganismos trabajan en humedades del 45% al 60% máximo una humedad del 70%. Por esta razón se requiere de una incorporación previa de un filtro prensa obteniendo los lodos en las cámaras con un 65% de humedad. [49]

Analizando los parámetros de pH se encuentra dentro establecido de 4.5 a 8 correspondiendo a un valor de 4.93 por lo cual permitirá la supervenía de los microorganismos en el compostaje sin embargo debe tenerse en cuenta el tamaño de partícula teórico que debe encontrarse en el rango de 3-30 cm, por esta razón se ha de considerar el uso de un triturador de estos sustratos.

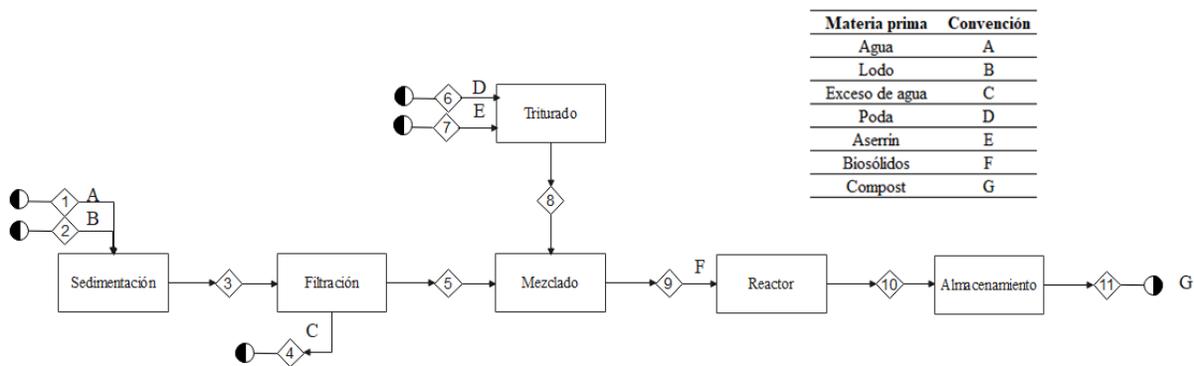
3.3.3. Balances de sustratos

Para realizar un óptimo proceso de compostaje, es necesario acondicionar los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas a partir de materiales o residuos generados en la producción del helado y zonas aledañas a la empresa que permitan equilibrar los niveles de carbono, nitrógeno y humedad por ser los factores más críticos para los microorganismos.

El proceso de producción de compost inicia con una sedimentación donde los lodos provenientes de la PTAR quedarán en el fondo y podrán tener una nueva disposición, el paso a seguir es implementar un filtro prensa el cual ayudará a reducir la humedad con la que viene el lodo. Por consiguiente, se realiza una mezcla de residuos orgánicos con el lodo, la fruta, la poda y el aserrín para equilibrar el porcentaje C/N y generar el biosólido que entrará al reactor para cumplir con su proceso y obtención final de un compost puramente orgánico como se puede observar en la *figura 6*.

Figura 6.

Diagrama BFD de la producción de compostaje

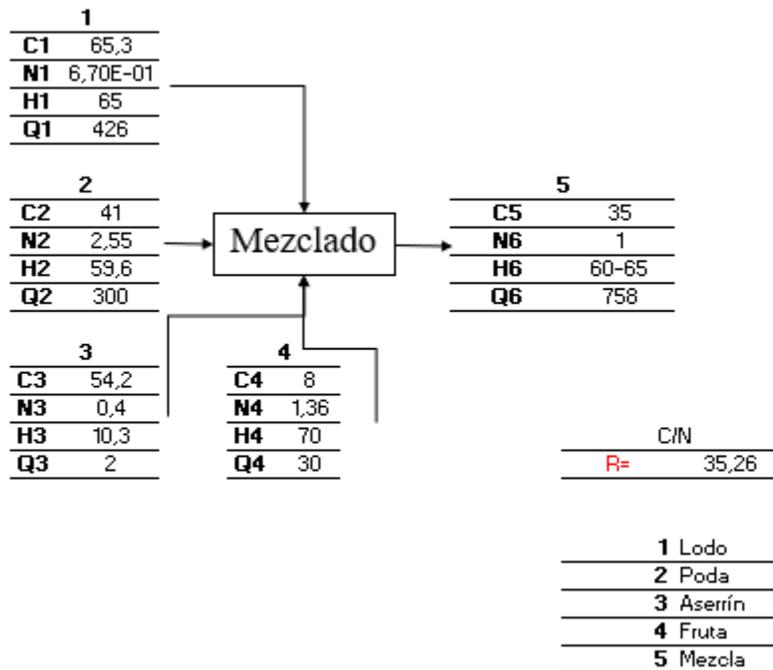


Nota. Diagrama de la producción de compostaje a nivel industrial.

Siendo así, se tuvo en cuenta la generación de lodos diarios por la empresa estimada en 20kg diarios, trabajando aproximadamente 27 días al mes de lunes a sábado, es decir al mes se producen aproximadamente 540 kg de lodos con un porcentaje de humedad del 82.7 %. Para realizar el balance de los sustratos se considera la filtración prensa obteniendo una cantidad de lodos de 426 Kg al separar parte de la cantidad del agua mezclada. Con la base inicial, se realiza el balance de sustratos que permiten acondicionar el lodo fijando como valores deseados una relación de C/N de 35 y una humedad del 65%. Para realizar los balances correspondientes se utilizó el diagrama PFD con el cual se establecen las corrientes del proceso mostradas en la *figura 7*.

Figura 7.

Diagrama del balance de sustratos



Nota. Diagrama del balance de sustratos en la mezcla de lodos y materiales de soporte.

El balance de materia se realiza para la sección de mezclado, debido a que es en la única parte del proceso donde se dispone de materiales de soporte externo diferentes al lodo que afectaran la masa de producción del compostaje.

La *ecuación 1* permite calcular la relación de C/N para los cuatro sustratos (lodo, fruta, poda y aserrín), donde la parte 1 corresponde al lodo, el 2 para la fruta, el 3 para la poda y finalmente para el 4 el aserrín.

Ecuación 1.

$$R = \frac{Q_1 [C_1 (100 - H_1)] + Q_2 [C_2 (100 - H_2)] + Q_3 [C_3 (100 - H_3)] + Q_4 [C_4 (100 - H_4)]}{Q_1 [N_1 (100 - H_1)] + Q_2 [N_2 (100 - H_2)] + Q_3 [N_3 (100 - H_3)] + Q_4 [N_4 (100 - H_4)]}$$

Donde:

- Q = Cantidad de material (kg)
- C = Contenido de carbono (g/L)
- N = Contenido de nitrógeno (g/L)
- H = Porcentaje de humedad.

Por medio de la *ecuación 1* y la *figura 7* se determina en el balance la relación C/N, esto es posible gracias a la poda y al aserrín mezclado obteniendo un equilibrio que aumentó el nivel del nitrógeno generando una relación aproximada de 35:1, con una disminución de humedad y disposición final de 477.54 kg de compost producidos al mes.

3.4. Dimensionamiento de los equipos

Aplicando lo efectuado en el diagrama PFD del proceso de producción de compost se deberá desarrollar un dimensionamiento para un triturador donde se realizará la molienda de los factores de carga, un filtro prensa que ayudará a reducir el porcentaje de humedad de los lodos y según la matriz de selección el proceso se realizaría en un reactor horizontal con volteo conocido como tambor rotario.

Todos estos equipos se realizarán a una escala industrial, es decir que el diseño de estos equipos se adecuará para un mínimo de 800 kg de materia prima donde recolectará los 748 kg que se producen de materia prima que se producen de todos los residuos al mes, dejando un sobredimensionamiento de estos.

3.4.1. Dimensionamiento filtro prensa

Actualmente el proceso de filtrado tiene como función principal llevar a cabo la etapa de separación sólido – líquido; por dos razones muy importantes, la recuperación del agua para una recirculación en el proceso y para la disposición que se requiere para el agua tratada. Para el caso de la disposición de lodos, conlleva a reducir entre un 20% o 30% de la humedad relativa que poseen.

«El filtro prensa es parte de un sistema de filtrado por presión, en la actualidad por su operatividad y grado de automatización que es posible tener, es uno de los filtros más importantes para el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. Estos filtros consisten en un frame principal, con una serie de placas y marcos alternados con una tela filtrante. » [50]

«El mecanismo de este tipo de filtro se basa inicialmente con una presurización de toda la estructura móvil, compuesta por varias placas que se unen para crear cámaras herméticamente cerradas donde se acumularán los lodos a deshidratar. Una vez que las placas están todas cerradas, la bomba de alimentación del filtro prensa comienza a llenar las cámaras. La bomba toma todo lodo del tanque de homogeneización y la bombea a las cámaras formadas por las placas. El control de llenado se realiza siempre a dos velocidades, llenado y deshidratación, a través de un inversor auto programado para alcanzar las presiones deseadas. [51]»

El lodo llena las placas una a una y, gracias a la presión se atrapan partículas sólidas y realiza al mismo tiempo una recuperación de agua. Al momento de obtener los lodos deshidratados el paquete de la placa se abre y aparecen las tortas secas en un 30% terminando un ciclo y evitando que al final del proceso de compost se necesite de un secado adicional. Generalmente el tiempo de residencia para estos equipos es equivalente a una descarga de un filtro con 100 placas en 3 minutos y un filtro de 200 placas en 4 minutos.

«Generalmente la capacidad de producción de un filtro de prensa es de entre 1.5 y 10 kg de sólidos por m² de superficie de filtración, para cada modelo de filtro de prensa el volumen de la cámara y la superficie de filtración depende del número de placas del filtro. En términos

prácticos el tiempo de prensado es menor de cuatro horas. » [52]

La filtración depende del espesamiento de la pasta, la concentración de lodo, la resistencia específica y el coeficiente de compresibilidad, donde el lodo orgánico será acondicionamiento para la conseguir una pasta satisfactoria que no se adhiera a las membranas del filtro. Para lograr este objetivo se consultó a Ekosep, la cual es una empresa que vende filtros prensa de serie LS10B. A continuación, se muestra una tabla de fabricación. En la *tabla 11* y en la figura 8 se presenta el dimensionamiento del filtro prensa.

Tabla 11.

Dimensionamiento del filtro prensa

DATOS TÉCNICOS	
Serie	LS10B06
Ancho de banda (mm)	700
Filtro válido superficie (m ²)	5,6
Volumen del lodo (Carga m ³ /h)	4 a 8
Carga DS (KgDS/h)	250
Agua de descarga Consumo (m ³ /h)	4
Longitud (mm)	3200
Ancho (mm)	1100
Altura (mm)	1500
Potencia (kw)	0,37
Peso (kg)	1000

Nota. Dimensionamiento del filtro prensa: Tomado de Shanghai Dazhang, [En Línea]. Disponible en: <https://n9.cl/q06fc>. [Acceso: nov.03,2021]

Figura 8.

Filtro prensa



Nota. Figura del filtro prensa: Tomado de Ekosep, [En Línea]. Disponible en: <http://www.siwatechnology.com/wp-content/uploads/2019/04/Filtros-de-Banda-Filtros-Prensa-de-Bandas.pdf>[Acceso: Nov.03,2021]

EKOSEP LS10B fue diseñado para deshidratar lodos de 2-6% DS. A lodos bioquímicos municipales no digeridos, que después de espesarse con DS al 2%. El contenido de DS puede alcanzar el 20% después de deshidratado por LS10B, el municipal digerido puede deshidratarse directamente por LS10B. [53]

3.4.2. Dimensionamiento triturador

La trituradora de ramas, troncos y residuos orgánicos es un tipo de equipo que tritura materiales en forma de impacto, triturando el tamaño del material de 200 mm a 25 mm, se adapta a moldes tecnológicos resistentes al desgaste y al impacto siendo fácil de operar y con un funcionamiento estable y de alta eficiencia.

Se caracteriza por tritura ramas de hasta una pulgada de diámetro, se encuentra equipado con cuchillas fijadas directo al eje del motor con tolva removible con traba de seguridad, tiene un tratamiento anticorrosivo y pintura de polvo de poliéster polimerizado en estufa a 230°, ofreciendo mayor durabilidad y mejor acabado y se recomienda para cercas del jardín como ramas de árboles,

cerca vivas, follajes en general, tallos de frijol, restos de vegetales y frutas. [54] En la *figura 9* y en la *tabla 12* se presenta el dimensionamiento del triturador TRAP.

Figura 9.

Triturador TRAPP



Nota. Figura del triturador:
Tomado de SDi, [En Línea].
Disponível en:
<https://solucoesdinamicassdi.com/es/picapastos-molinos-y-trituradores/26-triturador-de-forrajes-trapp.html>[Acceso: Nov. 03,2021]

Tabla 12.

Dimensionamiento del triturador

DATOS TECNICOS	
Modelo	TRAPP
Altura	0,62m
Tamaño máximo de alimentación	200mm
Tamaño de salida	25mm
Potencia (hp)	1,5
Voltaje	110 V
Profundidad	0,52m
Capacidad Kg/h)	300 a 1400
Revoluciones	3600 rpm
Peso	32 kg

Nota. Ficha técnica del triturador:
Tomado de SDi, [En Línea]. Disponible en:

<https://solucionesdinamicassdi.com/es/pi-capastos-molinos-y-trituradores/26-triturador-de-forrajes-trapp.html>

[Acceso: Nov.03,2021]

Para realizar el dimensionamiento de este equipo se tiene en cuenta que la producción a entrar corresponde a los agentes de carga, donde el peso total es de 322 kg y el tamaño de partícula más grande equivalen a los palillos del helado con un tamaño de 15cm que deberá pasar máximo a 3cm. Por ende, se necesita de un triturador de martillo ya que este maneja pocas cantidades de material y se adecua a los tamaños de partícula que se requieren.

3.4.3. Dimensionamiento reactor

Luego de filtrar el lodo y hacer la mezcla para generar el biosólido pasa a un reactor horizontal con volteo donde sucede el proceso de producción del compost, el sistema que manejan estos reactores son sistemas cerrados permitiendo un mayor control de las condiciones del proceso y de las emisiones de gases generados en la primera fase del proceso para posteriormente dejar madurar el material en el exterior del reactor. Pueden presentar mayores costes de inversión, mantenimiento y energéticos, e implican el uso de un reactor o digestor que puede ser vertical u horizontal conocido comúnmente como un tambor rotatorio con sistemas cerrados funcionando por lotes, ventilación controlada y sistemas de medición (temperatura, oxígeno, etc.) que pueden incluir sistemas de mezcla interna.

Teniendo en cuenta el balance de materia la mejor evolución del proceso se da con una relación de C/N mayor a 30:1 donde se consigue una estabilización de los microorganismos biológicos alcanzando la máxima degradación de los residuos en un tiempo aproximado de 20 días, el cual es relativamente rápido y óptimo.

Realizar la producción del abono orgánico por medio de un tambor rotatorio aumenta la eficiencia en sus resultados finales, teniendo un producto consistente y homogéneo gracias a la adición de los agentes de carga ayudando que el proceso final permanezca sin olores molestos o colores extraños ya que las variables de la misma manera son más fáciles de controlar, cabe mencionar que se debe dejar que el proceso madure completamente en los tiempos estimados para evitar obtener un compost inestable que pueda inhibir en los suelos a causa de una biodegradación insuficiente.

Gracias a la *ecuación 1* donde se logra equilibrar la relación de C/N y teniendo las cantidades finales obtenidas mediante el balance se puede hallar la capacidad para un dimensionamiento teórico del tambor rotatorio que se necesita mediante bibliografía, el cual inicialmente se debería realizar con una prueba piloto a escala de 550 L.

«El compostador se compone de 1,22 m de longitud y 0,76 m de diámetro, fabricado con chapa

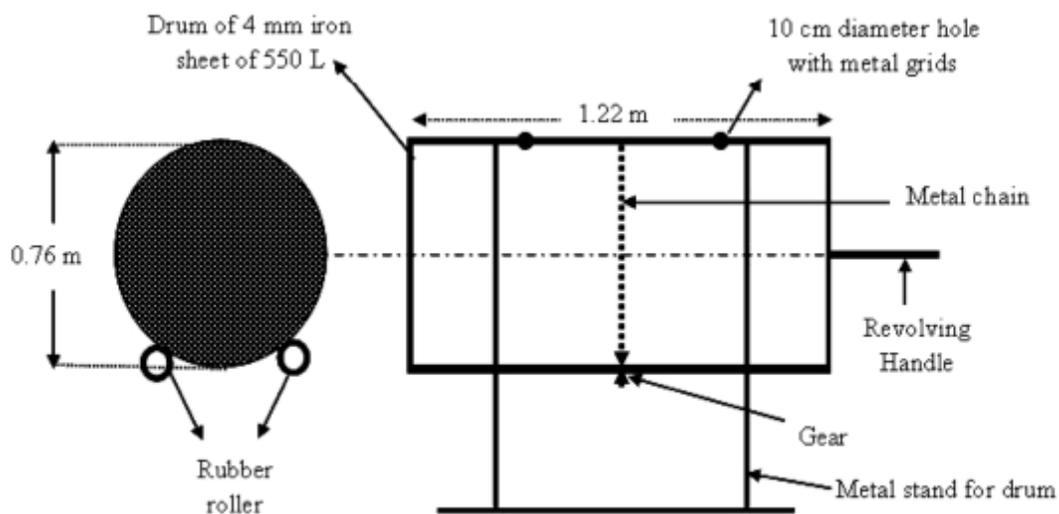
de 4 mm de espesor. El lado interior del tambor está cubierto con un revestimiento anticorrosivo.

El tambor está montado sobre cuatro rodillos de goma unidos a un soporte de metal y se gira manualmente con su mango. Para garantizar una mezcla y agitación adecuadas de los desechos durante la rotación, los ángulos de 40 x 40 mm están soldados longitudinalmente dentro del tambor, lo que da como resultado una acción de volteo dentro del tambor que ayudará a mover el material a través del tambor durante 20 días. Además, se hacen dos orificios adyacentes de 10 cm cada uno en la parte superior del tambor para drenar el exceso de agua. » [55]

Para usar un tambor con estas capacidades y dimensiones se necesita 150 kg de materia prima que será sometida a altas temperaturas donde la condición aeróbica se mantendrá abriendo las medias puertas laterales superiores de las dos caras circulares que contendrá el reactor. *La figura 10* que demuestra lo anterior descrito sobre el dimensionamiento del compostador.

Figura 10.

Dimensionamiento reactor



Nota. Tambor rotatorio a escala piloto: Tomado de Springer Link, "Sewage sludge composting in a rotary drum reactor: stability and kinetic analysis" [En Línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-015-0104-4>[Acceso: Nov.13,2021]

Luego de obtener los resultados de diseño para elaborar el reactor se realizará la construcción del mismo, cabe resaltar que el anterior dimensionamiento es para una escala piloto, pero gracias a este, se basará para la construcción de un tambor rotatorio a gran escala, es decir, que supla la necesidad de los 748 kg de residuos generados al mes, este reactor tendrá una capacidad superior a los 800 kg de material, se eligen los materiales de construcción, donde los procedimientos experimentales emplean contenedores plásticos y para su aislamiento se recomienda espuma de poliuretano. En la *figura 11* y en la *tabla 13* se encuentran los dimensionamientos del reactor rotatorio a escala industrial de la marca Unitex.

Figura 11.

Reactor rotatorio a escala industrial



Nota. Tambor rotatorio: Tomado de Unitex, [En Línea]. Disponible en: <https://www.unitexjordan.com/>[Acceso: Nov.13,2021]

Tabla 13.

Dimensionamiento del reactor escalado

<u>Capacidad (L)</u>	<u>1000</u>
<u>Diámetro (m)</u>	<u>1,10</u>
<u>Altura (m)</u>	<u>1,23</u>
<u>Longitud (m)</u>	<u>1,18</u>

Nota. Dimensionamiento del tambor rotatorio: Tomado de “Unitex”, [En Línea]. Disponible en: <https://www.unitexjordan.com/> [Acceso: Nov.13,2021]

Estos contenedores son elaborados por United Plastic Containers (Unitex) el cual es fabricante líder con certificación ISO 9001 de una amplia gama de productos plásticos para diversos sectores del mercado, incluidos la industria, la seguridad del tráfico, la agricultura y la jardinería. Creados en 1993, Unitex ha estado suministrando al mercado local y regional productos de óptima calidad fabricados con las últimas tecnologías y equipos, los reactores horizontales fabricados van de capacidades menores a 1000L a mayores de 2000L cumpliendo con el dimensionamiento recomendado por Kalamdhad y Kazmi con un 63% de rendimiento del equipo.

3.4.4. Dimensionamiento secador

Para realizar un proceso de secado en el compost se necesita de un secador de tambor, el cual utiliza vapor o aire caliente para calentar y reducir el contenido de humedad presente, la configuración más simple para este equipo es apoyado “sobre un bastidor de manera que puede girar sobre su eje. El vapor es forzado a través del interior. Una capa delgada de material de alimentación se aplica luego a la parte exterior del tambor. Cuando la temperatura aumenta, la humedad en el material de alimentación alcanza el punto de ebullición, empieza a evaporarse, y

sale de la materia prima. La capa seca de la materia prima se retira del tambor con un raspador.” [56]. En la *figura 12* y en la *tabla 14* se encuentra los dimensionamientos de un secador de tambor de la marca EMCC.

Figura 12.

Secador de tambor



Nota. Secador de tambor empresa [En Línea].
Disponble en: EMCC.
<http://es.emccmachinery.com/secador/>. [Acceso:
Nov.13,2021]

El abono tiene un alto contenido de humedad y debe secarse para cumplir con el estándar. Se debe usar un secador rotatorio combinado con enfriador, ya que los gránulos de abono después del secado tienen una temperatura alta, lo que no es bueno para el almacenamiento. [57]

Tabla 14.

Dimensionamiento del secador

DATOS TECNICOS	
Modelo	HG0606
Diámetro del tambor (mm)	600
Largo del tambor (mm)	600
Capacidad kg/h	500-1500
Potencia (kW)	3

Nota. Dimensionamiento del secador tambor: Tomado de EMCC, [En Línea]. Disponible en: <https://es.emccgroup.net/>. [Acceso: Nov.13,2021]

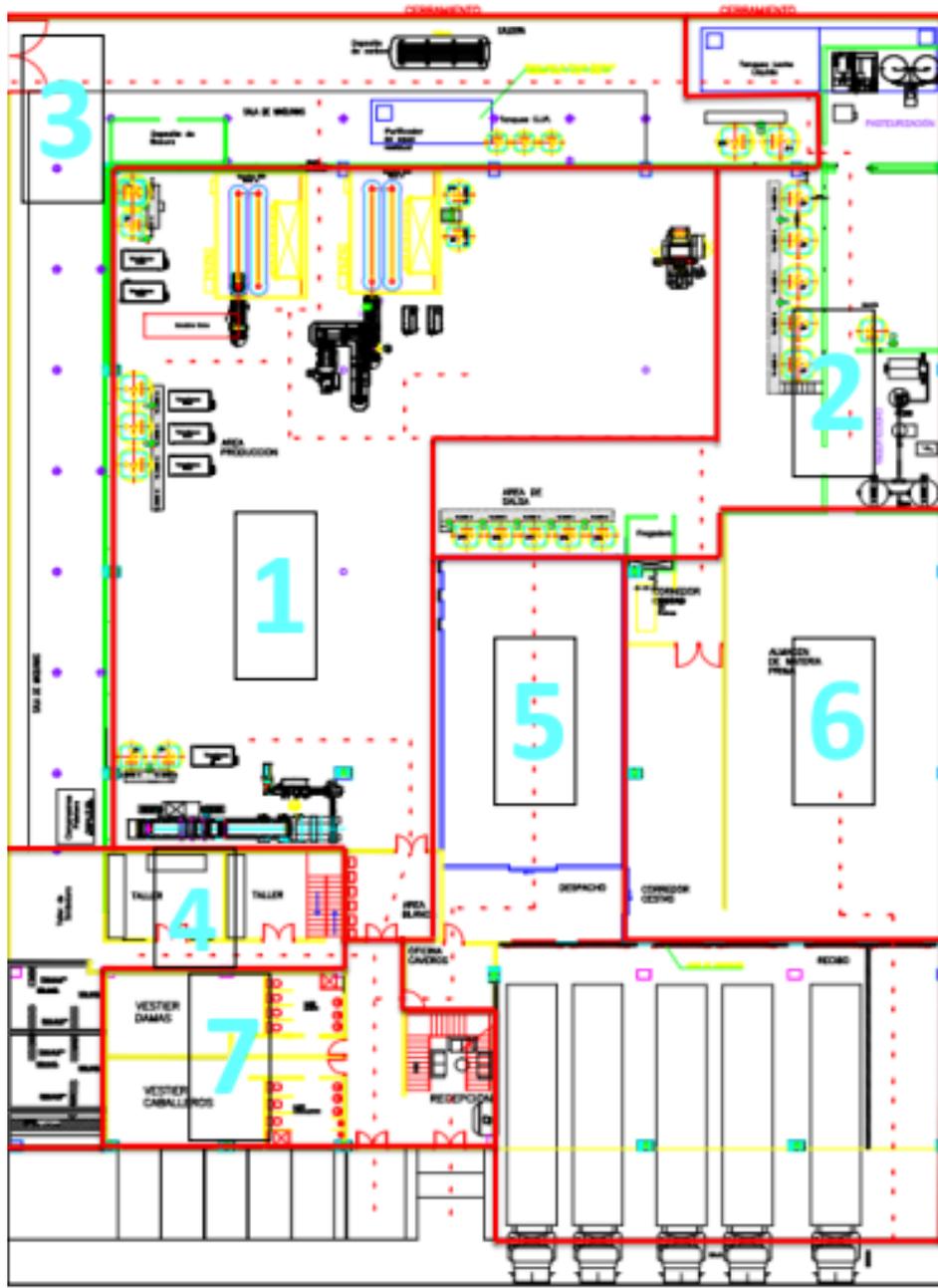
3.5. Acondicionamiento del terreno

Se debe realizar una selección del lugar para llevar a cabo el proceso, el cual debe encontrarse cerca de la PTAR y del lugar donde se encuentran los residuos de fabricación que es básicamente la materia prima para la realización del biofertilizante. Este lugar debe contar con una protección ante la exposición directa del ambiente (sol y lluvia). Disponer de un lugar semiabierto que cumpla con la infraestructura adecuada para implementar el reactor del proceso.

Teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas en la *figura 13* se encuentran los planos de empresa y en la *tabla 15* la descripción detallada de las zonas delimitadas en plano.

Figura 13.

Planos de las zonas de ODA GELATO



Nota. Enumeración de zonas de proceso. Información suministrada por ODA GELATO. [Acceso: Agos.23,2021]

Tabla 15.*Identificación de zonas*

N Zona	Nombre	Dependencia	Observaciones
1	Producción Envasado	Producción	Contiene desde el área de ingreso a planta, paleta, máquinas de envasado manual, máquina automática de llenado de envases, máquina extrusora y pasillo previo a los tanques de reposo.
2	Producción Fabrica	Producción	Contiene área de salsas, pasillo, tanques de reposo, zona de chocolatera, marmitas, zona de mezcla, pasterización y tanques de leche líquida.
3	Mantenimiento Servicios Apoyo	Mantenimiento	Contiene la zona posterior de la compañía, caldera, purificador de agua, tanques CIP, salas de máquinas, depósito de basuras y compresores.
4	Talleres y cuarto de Mantenimiento	Mantenimiento	Contiene los talleres del primer piso, el almacén del primer piso y el cuarto de mantenimiento del segundo piso.
5	Despachos	Gerencia Administrativa	Contiene oficina de despachos, pasillo principal del área de despachos, el cuarto frío de producto terminado y la zona de muelles externos de cargue y descargue.
6	Almacén MP	Gerencia Administrativa	Contiene la bodega de materias primas, zona de dispensación, zona de canastillas, cuarto frío pequeño y pasillo de zona de etiquetado manual.
7	1er Piso	Gerencia Administrativa	Contiene los vestidores y baños de damas y caballeros el pasillo de ingreso, la recepción y el star de espera.
8	Calidad Laboratorio	Calidad	Contiene el laboratorio de calidad del segundo piso.
9	Administrativo Oficinas 2 Piso	Producción – Mantenimiento	Contiene todas las oficinas del segundo piso.

Nota. Identificación de las diferentes zonas y sus observaciones. Información suministrada por ODA GELATO. [Acceso: Agos.23,2021]

Para realizar el acondicionamiento del terreno según lo ya mencionado se procederá a trabajar en la zona 3, equivalente al área de mantenimiento en servicios de apoyo donde se encuentra el tratamiento de aguas y recolección de residuos de la empresa.

3.6. Análisis del proceso

Por medio del proceso del compostaje se reduce la emisión de gases y por ende los impactos ocasionados al medio ambiente, del mismo modo hay un aumento en la sostenibilidad agrícola, para lograr un beneficio se debe establecer un proceso químico, físico y microbiológicos el cual debe adecuarse al sistema, en este proceso se implementará una gestión eficiente para los lodos producidos en la PTAR de la empresa ODA GELTATO y parte de residuos como agentes de carga promoviendo la economía circular.

Los abonos orgánicos son una gran alternativa ante los químicos, con un proceso estable y bioestimulante en la descomposición biológica del material orgánico usado en el proceso proporcionando elementos fisiológicos que ayudan a mejorar la estructura de suelo.

La calidad del abono se determina por el contenido nutricional y la capacidad de mantener las condiciones óptimas ayudando y facilitando al proceso de madurez en el compostaje, este proceso debe controlar la parte microbiológica y física evaluando el pH, humedad, temperatura, aireación, y C/N los cuales influyen el color y olor que desprenderá el compost. Por lo tanto, a continuación, se determinará los mejores rangos que debe tener el abono ante las propiedades organolépticas y físicas que lo conforman.

3.6.1. Parámetros organolépticos

- **Color.** Un compost maduro tiene un color marrón oscuro o negro ya que se encuentra estabilizado y se caracteriza por tener nutrientes con alto nivel de biodegradación, evidenciando que en el transcurso del tiempo y de los volteos se mantenga sin cambios, se observa el cambio de color verde a café ya que todos los residuos orgánicos son degradados por los microorganismos presentes en el compost. [58]
- **Olor.** Un compost inmaduro permanece caliente y con mal olor similar al amoníaco cuando la relación C/N posee más porcentaje de nitrógeno, la degradación aerobia indica una fermentación en el tambor rotatorio el cual genera en mayor cantidad como subproducto metano. [59]
- **Textura.** La textura durante el proceso de biodegradación genera cambios evidentes en el tamaño de las partículas, donde el tamaño idóneo se encuentra entre 1 y 5 cm facilitando el proceso de degradación y descomposición, por ende, es importante conseguir una proporción equilibrada

entre materiales finos y gruesos como lo es el césped y los palillos de paletas. [60]

3.6.2. Parámetros físicos

“El pH del humus en el proceso inicial del compostaje tiende a disminuir de un pH básico a uno ácido debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil, produciéndose una liberación de ácidos orgánicos.” [61] conociéndose como la fase mesófila del proceso. “Al utilizar un reactor horizontal con volteo se consigue un incremento de la oxigenación del humus ya que se generan cavidades donde se facilita el flujo de aire y se controla la humedad evitando condiciones anaeróbicas, que formarían aún más cantidad de ácidos orgánicos “ [61] lo que mantendría el pH en su totalidad en fase ácida .Luego se alcaliniza por la pérdida de ácidos orgánicos y la descomposición de las proteínas provenientes del amoniac, “los volteos tienen la ventaja de exponer el material fresco a la colonización microbiana, conduciendo a la liberación de NH_3 retenido conociéndose como fase termófila” [62]

Por último, se neutraliza al haber “incorporado materiales de soporte, los cuales son aplicados para suministrar porosidad a la materia prima y soporte estructural mejorando la aireación” [63] al compostaje además de ser ricos en carbono en la formación final del humus. Al tener una relación alta del porcentaje C/N se encontrará al finalizar el proceso un leve aumento del pH, presentándose valores estimados entre 4.93 y 9 en toda la fase biológica establecido por varios autores cumpliendo con la normatividad NTC5167.

Sin embargo, cuando el pH es muy ácido se recomienda la utilización de carbonato de calcio para aumentar el pH en caso de presentarlo muy ácido, el cual se haya en residuos como la cascara de huevo su componente mayoritario el carbonato de calcio compuesto en un 94% a un 98% de su peso total. [64]

La temperatura es uno de los factores críticos más importantes que se deben tener en cuenta en el proceso del compostaje, la cual se verá afectada significativamente por la frecuencia de volteo que se le realice en el reactor, ya que una correcta aireación y mezcla de los sustratos permiten a los microorganismos comenzar la actividad microbiana. Para identificar el correcto proceso del compostaje es el incremento de la temperatura de la masa en proceso degradación por parte de los

microorganismos. Sin embargo, las temperaturas que demuestran una alta eficiencia del proceso de compostaje deben encontrarse entre 15-40°C para los microorganismos mesófilos y 40-70°C para los microorganismos termófilos, ya que si se generan inconsistencias en estas temperaturas se puede concluir que se encuentra una deficiencia por parte de los sustratos o el pH sobre los microorganismos. Al manejar temperaturas elevadas se asegura una correcta higienización del material compostable, aunque no deben sobrepasar los límites expuestos ya que puede causar una total inhibición de los microorganismos. “Se considera que la mayor diversidad microbiana se consigue entre 35 y 40 °C, la máxima biodegradación entre 45 y 55 °C, y la higienización cuando se superan los 55 °C”. [65] Cuando se encuentra sobre los 60 insectos, plagas y larvas se eliminan donde se consigue una mayor consistencia.

“Para que se asegure la pasteurización, el material a compostar se debe mantener por un periodo mínimo de cuatro días consecutivos a una temperatura mayor de 55 °C” [66]. “No se debe superar los 70 °C, ya que el proceso se convierte en uno de ignición, en donde se empobrece extremadamente la sustancia orgánica y se eliminan los microorganismos beneficiosos” [67]

Para controlar de una manera más específica los parámetros de temperatura, es necesario en la construcción del reactor utilizar materiales que permitan el aislamiento de calor con la intemperie teniendo en cuenta que la ubicación de la empresa presenta climas fríos que pueden afectar la temperatura del compostaje, como es la espuma de poliuretano. Sin embargo, se recomienda el uso de calefactores que permiten mantener la temperatura de los reactores en el proceso de compostaje.

El contenido de humedad óptimo para el compostaje aeróbico está en el rango de 40-60%. La humedad puede ajustarse mediante la mezcla de componentes o por adición de agua. Cuando el contenido de humedad del compost cae por debajo de 40%, se hace más lento el proceso, la actividad biológica comienza a disminuir [68]. Al incluir materiales de soporte con contenidos de humedad bajos, permiten regular la humedad y cumplir el rango óptimo que se necesita estimando mediante varios autores que se puede obtener una humedad al inicio del compostaje del 60% teniendo en cuenta un secado previo a partir de un filtro prensa debido a que en el proceso de tratamiento de aguas no se realizan secados previos a los lodos generando más volumen(540kg) y un contenido de humedad más alto(82.30%), siendo así se logra obtener una humedad del 65%

y un volumen de los lodos de 426.48 kg.

Además de esto se puede establecer que los materiales no van a generar lixiviados debido a las densidades altas y a la buena compactación del material. El contenido de humedad desciende a medida que la temperatura del compostaje asciende por la actividad microbiológica, ya que facilita el transporte de los nutrientes hacia los microorganismos. En algunos casos varios autores estiman que en el proceso se generan curvas ascendentes de humedad que pueden ser muy mínimas debido a la adición de aire al proceso, el cual contiene una cantidad de humedad la cual depende de la ubicación del lugar, la planta de ODA GELLATO se ubica en intexzona donde la humedad se encuentra en un 69%, por lo cual es un factor que se debe tener en cuenta en los procesos de aireación del compostaje. Al final del proceso, la humedad debe estar entre el 35% y 40% [69]. A partir de esto se incurre en la necesidad de realizar un proceso de secado posterior debido a que en la norma NTC5167 se requiere una humedad inferior al 15%.

Además de esto se puede establecer que los materiales no van a generar lixiviados debido a las densidades altas y a la buena compactación del material. El contenido de humedad desciende a medida que la temperatura del compostaje asciende por la actividad microbiológica, ya que facilita el transporte de los nutrientes hacia los microorganismos. En algunos casos varios autores estiman que en el proceso se generan curvas ascendentes de humedad que pueden ser muy mínimas debido a la adición de aire al proceso, el cual contiene una cantidad de humedad la cual depende de la ubicación del lugar, la planta de ODA GELLATO se ubica en intexzona donde la humedad se encuentra en un 69%, por lo cual es un factor que se debe tener en cuenta en los procesos de aireación del compostaje. Al final del proceso, la humedad debe estar entre el 35% y 40% [69]. A partir de esto se incurre en la necesidad de realizar un proceso de secado posterior debido a que en la norma NTC5167 se requiere una humedad inferior al 15%.

4. FACTIBILIDAD FINANCIERA DEL PROCESO

En este capítulo se realiza la factibilidad financiera del proceso de producción del compostaje aerobio. Para llevar a cabo este estudio se tuvo en cuenta los costos de la inversión de maquinaria, la venta de producto, el ahorro que se obtendría al no contratar una tercerización para la deserción de los lodos, el costo de los servicios públicos, el costo del mantenimiento que se realiza a los equipos, los análisis que se realizan a los lodos para ser utilizados como compostaje y el costo de los sacos donde se distribuirá el compostaje. Adicionalmente se realiza un flujo de caja el cual se proyecta a 10 años para calcular los indicadores financieros del VPN (valor presente neto), la TIR (tasa interna de retorno) y la relación costo beneficio.

Inicialmente se realiza un sondeo de los precios en el mercado para 3 kilogramos de abono orgánico, en donde se establece que el promedio de los precios se encuentra alrededor de los \$8.000 COP. Para establecer la cantidad producida de compostaje al mes, se lleva a cabo una investigación teórica sobre los rendimientos que se obtienen en un reactor horizontal cerrado, horizontal por lo cual se establece un valor del 63% [70], para obtener una producción estimada de 477 kg de abono orgánico por mes, los cuales serán distribuidos por los campos de ganado vacuno del principal proveedor de leche. Según el precio establecido y la cantidad de compostaje se obtendrán 159 bolsas de compost al mes.

4.1 Costos

4.1.1. Costos de maquinaria

En la *tabla 16* se encuentran los costos relacionados a la inversión que se debe realizar al proceso, es la cuantificación monetaria para adquirir los equipos. La descripción de cada equipo y su dimensionamiento se encuentra en el capítulo 4 del presente documento.

Tabla 16.

Costos de inversión maquinaria

Equipos	Costo Unitario (COP)
Filtro prensa	\$ 3.668.660
Triturador	\$ 1.444.900
Reactor de tambor	\$ 48.000.000
Secador	\$ 10.000.000
Total	\$ 63.113.560

Nota. Costo de inversión para la adquisición de maquinaria para el proceso de producción del abono.

A partir de los costos anteriormente expuestos se identifica que el costo total de inversión para los equipos del proyecto se encuentra en un valor estimado aproximadamente de 63.113.560 COP.

4.1.2. Costo de mano de obra

Los costos de mano de obra están relacionados con la cantidad de personas requeridas para la operación del proceso; el valor de mano de obra está relacionado con el pago mensual que se realiza a un operario encargado de la planta siendo este de un salario mínimo mensual vigente en Colombia para el año 2021 estableciendo una jornada de 8 horas al día 5 días a la semana como se encuentra especificado en la *tabla 17*.

Tabla 17.*Costos anuales de mano de obra*

Concepto	Valor mensual	Valor anual
Salario Básico	\$ 908.526	\$ 10.902.312
Auxilio de transportes	\$ 106.424	\$ 1.277.088
Pensión	\$ 109.023	\$ 1.308.276
Salud	\$ 77.225	\$ 926.700
Cesantías	\$ 109.023	\$ 1.308.276
Intereses de cesantías	\$ 13.083	\$ 156.993
Vacaciones	\$ 34.070	\$ 408.837
Prima	\$ 84.579	\$ 1.014.950
Parafiscales	\$ 81.767	\$ 981.204
Riesgos laborales	\$ 4.763	\$ 57.156
Dotación	\$ 70.000	\$ 140.000
Total	\$ 1.528.483	\$ 18.481.792

Nota. Costos anuales de mano de obra para la producción de abono orgánico. Tomado por normativa colombiana.

Teniendo en cuenta lo anterior para la producción del compostaje se establece la inclusión de un operario adicional capacitado en el tema el cual se encargará de llevar a cabo las labores de control de variables de compostaje y el empaquetamiento que se deberá realizar para la venta, esto se debe a la mínima cantidad de lodos suministrados por la PTAR de la empresa.

En la *tabla 18* se encuentra la protección los costos de proyecto del pago de los operarios determinada en un plazo de 10 años.

Tabla 18.*Costos de proyección*

Año	Salario Básico	Auxilio de transportes	Seguridad social	Prestaciones sociales	Parafiscales	Total
1	\$ 11.375.472	\$ 1.332.514	\$ 2.391.611	\$ 3.160.517	\$ 1.023.788	\$ 19.283.902
2	\$ 11.869.168	\$ 1.390.345	\$ 2.495.406	\$ 3.297.683	\$ 1.068.221	\$ 20.120.823
3	\$ 12.384.290	\$ 1.450.686	\$ 2.603.707	\$ 3.440.803	\$ 1.114.581	\$ 20.994.067
4	\$ 12.921.768	\$ 1.513.645	\$ 2.716.708	\$ 3.590.134	\$ 1.162.954	\$ 21.905.209
5	\$ 13.482.573	\$ 1.579.338	\$ 2.834.613	\$ 3.745.945	\$ 1.213.426	\$ 22.855.895
6	\$ 14.067.716	\$ 1.647.881	\$ 2.957.635	\$ 3.908.519	\$ 1.266.089	\$ 23.847.841
7	\$ 14.678.255	\$ 1.719.399	\$ 3.085.997	\$ 4.078.149	\$ 1.321.037	\$ 24.882.837
8	\$ 15.315.291	\$ 1.794.021	\$ 3.219.929	\$ 4.255.141	\$ 1.378.370	\$ 25.962.752
9	\$ 15.979.975	\$ 1.871.881	\$ 3.359.674	\$ 4.439.814	\$ 1.438.192	\$ 27.089.536
10	\$ 16.673.506	\$ 1.953.121	\$ 3.505.484	\$ 4.632.502	\$ 1.500.609	\$ 28.265.222

Nota. Costos de factibilidad proyectados en 10 años. Tomado por normativa colombiana.

Para llevar a cabo la proyección se deberá tener en cuenta las variaciones de los costos por medio del índice del precio del consumidor (IPC), equivalente a 4.34% para el año 2021 [71] [72]. La seguridad social representa pensión, salud y riesgos laborales, para el caso de las prestaciones sociales corresponde a las cesantías con sus intereses, primas, dotaciones y vacaciones.

4.1.3. Costo de servicios industriales

En la *tabla 19* se establecen los costos de los servicios industriales los cuales corresponden a los indirectos del proyecto, son aquellos que se implementan para la puesta en marcha del proceso.

Tabla 19.*Costos de servicios industriales*

CONSUMO TOTAL ENERGÉTICO					
Equipo	Potencia del motor	Costo del Kwh en intexzona	Consumo promedio mensual en KWh	Costo mensual (\$/KWh)	Costo anual (\$/KWh)
Filtro prensa	0,49	\$ 434	0,74	\$ 321	\$ 3.854
Triturador	1,5		2,206	\$ 957	\$ 11.489
Reactor de tambor	3		20,1339	\$ 8.738	\$ 104.856
Secador	4		2,941	\$ 1.277	\$ 15.322
Total					
CONSUMO TOTAL AGUA					
Concepto	Cargo fijo \$	Consumo m3	Tarifa básica(\$/m3)	Costo bimensual (\$)	Costo anual (\$)
Acueducto	18.210,90	5	\$ 3.819	\$ 37.308	\$ 447.700
Alcantarillado	8.722,60	5	\$ 4.073	\$ 29.090	\$ 349.078
Total					\$ 796.777

Nota. Estimación de costos de servicios públicos en la producción de compostaje. Tomado de los recibos de servicios públicos de ODA GELATO. [Acceso: Nov.13,2021]

Con respecto a estos costos se obtiene un total estimado de 932.298 COP los cuales son equivalentes a los costos de servicios industriales que requieren el filtro, la trituradora, el reactor y el secador. Los costos del lodo y material de soporte no se tienen en cuenta debido a que son residuos disponibles para su deserción., teniendo en cuenta adicionalmente los servicios de agua y alcantarillado por un valor de 5m³ debido a que se necesita realizar las labores de limpieza y mantenimiento de los equipos y de la zona dispuesta en la planta.

4.1.4. Costo de caracterizaciones e insumos para empaque del compostaje

En la *tabla 20* se encuentra el costo de caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas de la materia prima que se usará para el proceso de producción del abono, el análisis de aguas que permite y los costos de los sacos de propileno para el empaquetado final.

Tabla 20.

Costos de caracterización

Análisis	Costo	Pruebas en el año	Costo total
Análisis de aguas	\$ 652.267	1	\$ 652.267
Análisis de lodos (pH, Humedad, Carbono orgánico, Nitrógeno total,)	\$ 142.181	1	\$ 142.181
Análisis microbiológico	\$ 137.800	2	\$ 275.600
Sacos de propileno	\$ 35	1908	\$ 66.780
Total			\$ 1.136.828

Nota. Costos de las caracterizaciones realizadas a la materia prima. Datos brindados por ODA GELATO. Análisis realizados por el laboratorio Biopolab y ALS CHEMICALS.

Se necesita especificar los resultados de los diferentes parámetros ya que con ellos se evaluará qué tipo de adecuaciones se tiene que realizar a los lodos y como mantener las variables para la obtención del abono final.

4.1.5. Depreciación de equipos

En la *tabla 21* se encuentra la depreciación de los equipos que se utilizan en el proceso de producción del compostaje.

Tabla 21.

Costos de depreciación

Periodo(año)	Depreciación (\$)	Depreciación acumulativa (\$)
1	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712
2	\$ 12.622.712	\$ 25.245.424
3	\$ 12.622.712	\$ 37.868.136
4	\$ 12.622.712	\$ 50.490.848
5	\$ 12.622.712	\$ 63.113.560
6	\$ 12.622.712	\$ 75.736.272
7	\$ 12.622.712	\$ 88.358.984
8	\$ 12.622.712	\$ 100.981.696
9	\$ 12.622.712	\$ 113.604.408
10	\$ 12.622.712	\$ 126.227.120

Nota. Costos de vida útil de la maquinaria usada en la fabricación del abono.

Se fija una vida útil comparada por varios autores a 10 años, con una tasa de depreciación del 2% debido a la adquisición nueva de los equipos.

4.1.6. Mantenimiento de los equipos

En la *tabla 22* se encuentra los costos de mantenimiento de los equipos que se requieren anualmente proyectado a 10 años.

Tabla 22.

Costos de mantenimiento

Periodo(año)	Mantenimiento (\$)
1	\$ 3.651.900
2	\$ 3.810.392
3	\$ 3.975.763
4	\$ 4.148.312
5	\$ 4.328.348
6	\$ 4.516.199
7	\$ 4.712.202
8	\$ 4.916.711
9	\$ 5.130.097
10	\$ 5.352.743

Nota. Costos de mantenimiento en los equipos del proceso. Tomado por normativa colombiana.

Para mantener los equipos en condiciones óptimas y que sean duraderos se deberá implementar un mantenimiento preventivo y predictivo de los sistemas, este proceso lo realiza el encargado de mantenimiento, el cual tiene como función en la empresa tener los equipos en el mejor estado. Se realiza una proyección de 10 años, la cual se calcula mediante el IPC del año 2021.

4.1.7. Costos de deserción

En la *tabla 23* se encuentran los costos de deserción anual que paga la empresa para la eliminación certificada de los lodos producidos por la planta de tratamiento de aguas.

Tabla 23.

Costos de deserción

Año	Costo anual de deserción
1	\$ 37.562.400
2	\$ 39.192.608
3	\$ 40.893.567
4	\$ 42.668.348
5	\$ 44.520.154
6	\$ 46.452.329
7	\$ 48.468.360
8	\$ 50.571.887
9	\$ 52.766.707
10	\$ 55.056.782

Nota. Costos de deserción de los lodos en el tratamiento de aguas.

Datos brindados por ODA

GELATO.

Para el proceso de deserción de los lodos obtenidos en el tratamiento de aguas de la PTAR de ODA GELATO, se contrata un tercero que pone a su disposición el tratamiento final de estos lodos, por lo cual se paga aproximadamente un costo \$3.130.200 al mes, lo cual representa un capital bastante alto que paga innecesariamente. Se realiza la proyección correspondiente a los 10 años teniendo en cuenta el IPC descrito anteriormente.

4.1.7. Costos de la disposición final

En la *tabla 24* se encuentran el precio propuesto para la venta de un compostaje de 2 kg, las unidades estimadas que se producirían al año.

Tabla 24.*Costos de ingresos*

Periodo (año)	Venta por unidad (\$)	Unidades saco(2kg)	Costo total
1	\$ 8.000	1908	\$ 15.264.000
2	\$ 8.347	1908	\$ 15.926.458
3	\$ 8.709	1908	\$ 16.617.666
4	\$ 9.087	1908	\$ 17.338.873
5	\$ 9.482	1908	\$ 18.091.380
6	\$ 9.893	1908	\$ 18.876.546
7	\$ 10.323	1908	\$ 19.695.788
8	\$ 10.771	1908	\$ 20.550.585
9	\$ 11.238	1908	\$ 21.442.480
10	\$ 11.726	1908	\$ 22.373.084

Nota. Costos de disposición final del abono obtenido.

Estos costos hacen referencia a la disposición final para la obtención de ganancias del proceso el cual se evidencia por medio de la venta por unidad correspondiente a los \$8.000 iniciales del proceso equivalente a un saco de 3 kilogramos realizando una proyección de 10 años teniendo en cuenta el IPC.

4.2. Flujo de caja

Para realizar los cálculos pertinentes al flujo neto de caja, se realizan proyecciones estimadas en 10 años, como estas deben incrementar a medida que pasan los años, se toma como referencia IPC del año 2021 estimado en un valor de 4.34 %. Con respecto a la inversión de los equipos, se decide tomar un crédito para la gran empresa con una tasa de interés del 29.04% efectiva anual [73]teniendo en cuenta que esta tasa está sujeta a condiciones de mercado y revisión por parte del banco. Luego se calculan las amortizaciones para el pago en 3 años para una deuda de \$30.000.000 COP. El resto lo asumirá la empresa de sus ganancias mensuales.

4.3. Indicadores

Los indicadores financieros, permiten establecer la viabilidad que tendrá el proyecto a partir de una proyección de 10 años. Se evalúa el valor presente neto (VPN), la tasa de retorno y la relación costo /beneficio.

4.3.1. VPN

«El método del Valor Presente Neto incorpora el valor del dinero en el tiempo en la determinación de los flujos de efectivo netos del negocio o proyecto, con el fin de poder hacer comparaciones correctas entre flujos de efectivo en diferentes periodos a lo largo del tiempo. Si el Valor Presente de las entradas de dinero es mayor que el valor presente de las salidas de dinero, de un negocio o proyecto, dicho negocio o proyecto es rentable. Si el valor presente de las entradas de dinero es menor que el valor presente de las salidas de dinero, dicho negocio o proyecto es rentable. » [74]

Si el valor del presente neto es positivo quiere decir que el proyecto es rentable de lo contrario no es rentable. Finalmente, si el valor presente da un valor de 0 quiere decir que el proyecto dará netamente para recuperar la inversión del proyecto.

En la ecuación 2

$$VPN = -I_0 + \frac{FCN_{1,año}}{1 + (1 + k)^1} + \frac{FCN_{2,año}}{1 + (1 + k)^2} \dots \frac{FCN_{n,año}}{1 + (1 + k)^n}$$

Donde:

$-I_0$ =inversión inicial

FCN = flujo de caja neto

k =tasa interna de oportunidad (TIO):10.14% (DTF=2.25% [75] [76], IPC=4.34%, Tasa técnica de proyección=3.55% [77] [78] [78])

Teniendo en cuenta lo anterior el proyecto obtiene un valor presente de 74.778.477 COP a partir de una proyección realizada a 10 años lo que quiere decir que el proyecto recupera la inversión y adicionalmente genera ganancias significativas para la empresa.

4.3.2. TIR

“Tasa Interna de Rendimiento de un negocio o proyecto proporciona otra medida de la rentabilidad de la inversión en dicho negocio o proyecto. La tasa interna de rendimiento es la tasa de interés que hace que el valor presente del flujo de efectivo operativo neto sea igual al valor presente de la inversión neta.” [74]. Si el valor de la TIR es mayor a la TIO quiere decir que el proyecto tiene rentabilidad.

En la ecuación 3

$$0 = -I_0 + \frac{FCN_{1,año}}{1 + (1 + k)^1} + \frac{FCN_{2,año}}{1 + (1 + k)^2} \cdots \frac{FCN_{n,año}}{1 + (1 + k)^n}$$

$-I_0$ = inversión inicial

FCN = flujo de caja neto

k = tasa interna de oportunidad (TIO): 10.14%

El valor de la TIR estimado en este proyecto corresponde a un 29% como es mayor a la TIO especificada anteriormente como 10.14% quiere decir que el proyecto tiene rentabilidad.

4.3.3. Relación costo beneficio

“La relación beneficio / costo es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a una comunidad. La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios por cada peso que se sacrifica en el proyecto.” [79]

En la ecuación 4

$$R \frac{B}{C} = \frac{VA}{I_0} = \frac{\frac{FCN_{1,año}}{1 + (1 + k)^1} + \frac{FCN_{2,año}}{1 + (1 + k)^2} \cdots \frac{FCN_{n,año}}{1 + (1 + k)^n}}{I_0}$$

$-I_0$ = inversión inicial

FCN = flujo de caja neto

k = tasa interna de oportunidad (TIO): 10.14%

Para el proyecto la relación costo beneficio obtuvo un valor de 1.56 lo que quiere decir que el proyecto es viable.

5. PROPUESTA COMPLEMENTARIA

Se quiere implementar una propuesta al proyecto donde el enfoque que se le dan a los lodos del tratamiento de aguas de la empresa sea aprovechado para la producción de un biofertilizante órgano – mineral, con el fin de potencializar sus nutrientes agrónomos y posteriormente enriquecerlos con N-P-K para ser usados en suelos vacunos.

Para el desarrollo de esta propuesta de igual forma que en el estudio anterior se necesita de las mismas caracterizaciones y cumplimiento de las normativas que indiquen que los lodos son aptos para generar un abono totalmente orgánico si afecciones negativas hacia el terreno donde serán usados. El proceso del biofertilizante se tendrá que realizar mediante un proceso de biodigestión que además de transformar esos residuos de la PTAR se obtendrá biogás como valor agregado mediante una digestión y fermentación anaerobia.

Las características del biofertilizante dependen del tipo de tecnología durante el proceso anaeróbico, “parte de la materia orgánica se transforma en metano, por lo que el contenido en materia orgánica es menor al de las materias primas. Gran parte de la materia orgánica de este producto se ha mineralizado, por lo que normalmente aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuye el nitrógeno orgánico.” [80]

El biogás representa un desarrollo para la economía sostenible, ayudando a suplir parte del consumo energético que posee la empresa creando una oportunidad de crecimiento eficiente gracias al proceso de digestión anaerobia que puede aplicarse a subproductos lácteos como lo son los helados “siendo una mezcla de metano (60-70%), CO₂ (40-30%), y otros gases como el sulfuro de hidrógeno, amoníaco, nitrógeno, hidrógeno y diversos compuestos orgánicos”. [81]

Hay muchos residuos orgánicos que se pueden utilizar en la digestión anaerobia. Las industrias lácteas generan residuos que se producen en mayor volumen, “los cuales producen desechos líquidos compuestos de sueros y aguas de lavado de tanques, y residuos sólidos que pueden aprovecharse en biodigestores para la producción de biogás y la generación de energía eléctrica y calor.” [82] En toda la cadena de producción del helado se generan residuos de leche entera o

grasas que pueden ser aprovechadas en biodigestores.

Las aguas residuales de las industrias lecheras presentan una demanda de oxígeno elevada con un DBO de 110.000 mg/l y una DQO de 210.000 mg/l aproximadamente, estas cantidades se dan por las altas concentraciones de componentes como fósforo y nitratos debido a los productos de limpieza y desinfección que usan durante el lavado de los tanques formando adicionalmente detergentes, ácidos y cloros, de la misma manera los residuos lácteos presentan altos contenidos de grasas con altos porcentajes de biodegradabilidad.

Gracias al biogás “se genera electricidad y producción de calor obteniendo beneficios directos que incluyen la reducción de olores, la mineralización de nitrógeno orgánico, la reducción de patógenos, la disminución de gases de efecto invernadero y un mejor manejo de residuos orgánicos” [83].

Además, de producir un biofertilizante amigable con el medio ambiente que aprovecha residuos orgánicos recuperando la materia orgánica del suelo, obteniendo la fijación de carbono en él, así como la mejora de la capacidad de absorber agua, suelen necesitar menos energía para su producción, de la misma forma disminuyen el uso de fertilizantes químicos, lo que genera un impacto ambiental positivo, mejora la textura del suelo e incrementan su vida útil manteniéndolo en condiciones de cultivo óptimas para la productividad de cultivos.

Están elaborados con microorganismos benéficos para las plantas que les ayudan a asimilar los macro y micronutrientes que tengan integrados, reduciendo la dependencia de fuentes de petróleo de fertilizantes químicos. Aumentan la producción en un 30% por el nitrógeno y el fósforo que añade al suelo. La mejora en la calidad y textura del suelo ayuda a las plantas crecen mejor en períodos de sequía.

5.1. Tecnologías del proceso

Un biodigestor es un recipiente hermético que permite descomponer desechos orgánicos mediante microorganismos anaerobios en la producción de biogás obtenido en la parte superior conocida como domo y fertilizante en la parte inferior del reactor. Para la producción de biogás se debe tener

en cuenta que existen diversas configuraciones de biodigestores, que se adaptan dependiendo del área que se disponga en la planta, de los factores económicos y su nivel tecnológico, de acuerdo con esto en la *tabla 25* se pueden encontrar los diferentes tipos de biodigestores.

Tabla 25.

Tipos de digestores

Carga	Bacth (Una vez), semicontinuo, continuo
Contenido de materia seca	húmedos, semihúmedos y secos
Mezcla	Completa, parcial o nula
Manejo del sustrato	Contacto anaeróbico, U.A.S.B.: (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), Lecho fluidizado, Filtro anaeróbico
Manejo bioquímico	Una o dos etapas

Nota. Distintos tipos de biodigestores sencillos y de alta eficiencia. Tomado de Instituto de Ingeniería Rural. “Manual para la producción de biogas”. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manual_para_la_produccion_de_biogs_del_iir.pdf [Acceso: Nov.13,2021]

“Independientemente de estas características, en todas las tecnologías de biodigestores hay aproximadamente entre un 20% y un 50% de volumen libre para el biogás.” [84] . A continuación, se mencionan las tecnologías más comunes:

- Reactores tipo Batch. «Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez ha dejado de producir gas combustible. Normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante,

donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. » [85] como se puede apreciar en la *figura 14*

Figura 14.

Biodigestores batch



Nota. Biodigestores Batch escala laboratorio. Tomado de Catedra de Química Analítica-FAURA [Acceso: Nov.13,2021]

Se construyen frecuentemente pequeños lo que permite manipular fácilmente las variables de proceso más importantes como la temperatura y la agitación. En ellos se encuentran mezclas húmedas, semihúmedas o secas. Suele ingresarse un inóculo del 20-50% de la mezcla a digerir [84].

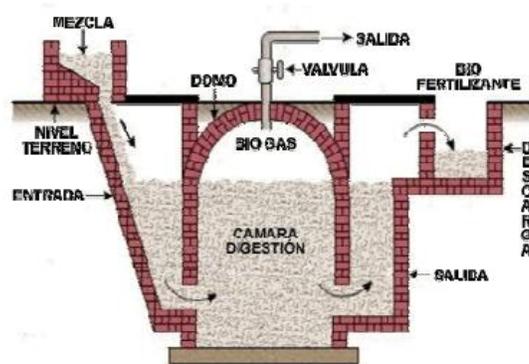
- Reactores semicontinuos o continuos húmedos sin manejo del sustrato. Son los más usados en las zonas rurales, no disponen de agitación continua, no cuentan con sistemas de calefacción, pero se pueden adaptar diferentes materiales aislantes para conservar la temperatura en su interior. Los reactores continuos se descargan diariamente mientras que los semicontinuos “se descargan totalmente una o dos veces por año que generalmente coincide con el período de siembra para aprovechar el poder fertilizante de los residuos de la digestión y de los lodos fermentados” [86].

Se pueden dividir en:

- Biodigestores chinos. Construido usualmente de mampostería y bajo el nivel de la tierra [87].” “Estos biodigestores de pequeño formato (mini digestores) poseen una tapa fija en forma de domo que contiene al biogás en su interior, una entrada para alimentar el sustrato y una salida del digestor que usualmente actúa como tanque de compensación. La estructura de mampostería es propensa al agrietamiento” [88]. En la *figura 15* se encuentra el funcionamiento y las partes de un biodigestor chino.

Figura 15.

Biodigestor de domo fijo



Nota. Partes de un biodigestor china.

Disponible en:

[http://www.energianatural.com.ar/biogas02.ht](http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html)

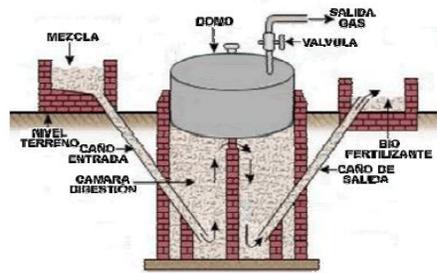
ml [Acceso: Nov.13,2021]

Presenta una variedad de construcciones como la incorporación de campana, sistemas de agitación entre otros.

- Biodigestor tipo hindú. Enterrados y verticales. La acción de la gravedad carga a estos reactores una vez al día. Tiene una integración de gasómetro ubicado en la parte superior del biodigestor llamada campana la cual logra una presión constante sobre el tanque y la eliminación de espumas. Se produce agitación. En la *figura 15* se puede apreciar la operación del biodigestor tipo hindú.

Figura 16.

Biodigestor tipo hindú



Nota. Partes de un biodigestor tipo hindú.

Disponible en:

<http://www.energianatural.com.ar/biogas02.html>

[Acceso: Nov.13,2021]

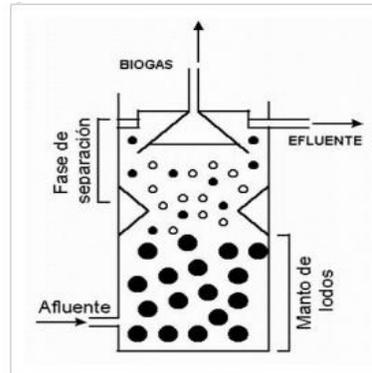
Reactores semicontinuos o continuos húmedos con manejo del sustrato:

- Biodigestor USAB. «El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH_4 y CO_2 .” [89]»

Los microorganismos establecen relaciones simbióticas dándose la conformación de gránulos (lodos). La granulación se da en aguas con contenidos de carbohidratos o azúcares. En la *figura 17* se puede observar el funcionamiento del biodigestor USAB.

Figura 17.

Biodigestor USAB



Nota. Esquema general de un biodigestor USAB. Tomado de Catedra de Química Analítica-FAURA. [Acceso: Nov.13,2021]

De acuerdo a las anteriores tecnologías presentadas se utilizará la forma del biodigestor tipo hindú, es decir un reactor en forma vertical debido a que se necesita almacenar cantidades mínimas de lodos y sustratos de acondicionamiento, a partir de ello se obtienen cantidades de 540 kg para los lodos y 300 kg de materiales de acondicionamiento basados en el anterior proceso estudiado de compostaje, eliminando el aserrín debido a la alta cantidad de solidos volátiles que puede generar y por lo tanto dificultar el proceso de biodigestión en este tipo de reactor.

Teniendo en cuenta el área y sitio de disponibilidad de planta no se puede utilizar reactores enterrados bajo tierra, por lo tanto, este se tendrá sobre la superficie. A partir de la información presentada por la empresa de la producción de lodos, como no se tienen proceso de secado este sale con un porcentaje de humedad del 82,5 % por lo cual es apto para procesos de digestión y no necesita agregarle agua ya que a esta humedad los lodos permanecen muy líquidos.

“La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura. A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás.” [24]. Considerando esto,

se hará necesario utilizar un material aislante a base de polietileno para que la temperatura y la velocidad de reacción no se vea involucrada por los cambios de transferencia de calor del biodigestor con el medio, considerando la temperatura y humedad de intexzona especificadas en el capítulo anterior, además la agitación también garantiza las condiciones de temperatura y velocidad, por se garantiza que la operación en este reactor es semicontinua lo que permite un constante mezclado del material orgánico contenido en el biodigestor.

Adicionalmente se tiene en cuenta el tiempo de retención de los componentes orgánicos de acuerdo con las etapas de producción del biogás siendo las más críticas la mesófila y la termófila las cuales trabajan a temperaturas de 25°C-35°C y 50°C y 60°C respectivamente como rangos óptimos manejables. Se tiene en cuenta que por cada 10°C de incremento en la temperatura del proceso de biodigestión se duplica el incremento de actividad biológica. Por lo cual es óptimo manejar un incremento de 0.6 a 1.2°C al día. Además de esto el incremento de la temperatura ayuda a la transferencia del líquido a gas, sin embargo, puede causar un aumento del pH presentando problemas en el lodo por la elevada cantidad de amonio.

Finalmente se tendrá en cuenta un tiempo de retención de 30 días con una producción de biogás estimada entre el 15 y 30%, que puede variar si se aumenta la velocidad de reacción explicada anteriormente.

5.2. Metodología del proceso de digestión

La digestión anaerobia es un proceso que se tiene que controlar por los microorganismos y las reacciones que ocurren dentro del biodigestor, este proceso se divide en etapas. La primera corresponde a la hidrólisis, aquí se descomponen las cadenas de materia orgánica por la acción de bacterias hidrolíticas que hidrolizan las moléculas solubles en agua como las grasas o carbohidratos que tiene los residuos de la industria láctea transformándolos en polímeros siendo solubilizados por enzimas para generar monómeros. Durante este proceso ya hay producción de CO₂, el valor óptimo del pH se encuentra entre 5,3 y 6,7.

La segunda etapa corresponde a la acidogénesis que convierte los productos intermedios en ácido acético o hidrógeno formando gases como H₂S y NH₃, fermentando las cadenas más complejas

de la materia orgánica en ácidos simples. “Son materias anaerobias facultativas que pueden consumir oxígeno molecular para su metabolismo. El crecimiento bacteriano en esta etapa es rápido y no hay tanta reducción de la DQO de los sustratos, el valor óptimo de pH se encuentra entre 5,5 y 6,7”. [90]

La tercera etapa es la acetogénesis en la cual las bacterias degradan los ácidos orgánicos produciendo ácido acético liberando hidrógeno y CO₂. “Las bacterias acetogénicas tienen un crecimiento lento entre 2 a 4 días ya que las reacciones que producen son complicadas por la alta demanda de energía que requieren y se interrumpen fácilmente por acumulaciones de gas hidrógeno”. [90]

La última etapa es la metanogénesis donde elimina con alta efectividad los productos casi finales de la descomposición, “durante este proceso de fermentación se acumulan cantidades de carbono que las bacterias arqueas anaerobias estrictas usan como aceptor final de electrones para producir metano. Un segundo grupo de bacterias de metanogénicas logra convertir los ácidos grasos orgánicos en 90% de metano y CO₂”. [90] Estas bacterias acondicionan el tiempo de retención de la biomasa en el digestor, así como la temperatura del proceso con un rango de pH de 6,8 hasta 8.

Todo el proceso de la digestión anaerobia se realiza en un biodigestor, este es un contenedor cerrado de forma hermética que contiene todo el lodo, la poda y los residuos de fruta. Allí mismo los microorganismos generados en cada etapa producen la fermentación de la que se obtiene energía constituyendo una alternativa económica.

En la *figura 18* se encuentra El sistema de funcionamiento de un biodigestor Rotoplas vertical el cual se basa en:

- La cámara de carga donde se deposita la materia orgánica que alimenta al reactor
- El reactor que se usa ya que es un tanque donde se realiza el proceso de descomposición que se encuentra conectado a cámaras de carga y descarga por dos extremos diferentes.
- La cámara de descarga es puesta a menor altura que la de carga, la cual es usada como la del biofertilizante.

- La cubierta de plástico es colocada por encima del reactor impidiendo entrada de aire al interior y evita fugas del gas producido.
- La tubería es aquella que expulsa agua condensada y que conduce el gas que produce el reactor, cuenta con una válvula de seguridad que impide rebasar los niveles permitidos.
- La llave de paso regula la salida del gas. [80]

Figura 18.

Biodigestor USAB



Nota. Biodigestor rotoplast vertical.

Disponible en:

<https://www.rotoplast.com.co/biodigestor/>.

[Acceso: Nov.13,2021]

El tipo de biodigestor a usar es de flujo semicontinuo que opera con el tiempo requerido para que las bacterias digieran la materia orgánica las cuales están directamente relacionado con la temperatura. anteriormente explicado.

5.2.1. Diseño del biodigestor

El diseño del biorreactor se obtiene mediante la cantidad de masa aparente que se va a cargar al reactor siendo una masa aproximada de 540kg de lodos que se produce mensualmente además de los materiales de soporte que permiten el acondicionamiento del lodo, obtenido valores totales de 840kg, por lo cual se establece un dimensionamiento de 1000 litros para un reactor vertical de la marca Rotoplas. Para realizar el proceso de producción, se requiere cargar el reactor inicialmente los 540 kg de lodo y 300 kg de material de carga por un tiempo de treinta días. Adicionalmente se

tendrá en cuenta el volumen de carga diaria que necesita el reactor. Como el proceso se realiza durante 30 días y el reactor es de 1000 litros, se requiere utilizar un caudal de 42.kg/m³ teniendo en cuenta un sobredimensionamiento ya que los valores presentados son estimados y pueden variar dependiendo de la producción diaria de helado en la empresa por el constante lavado que se tienen de los equipos por lotes de producción diarios demandados.

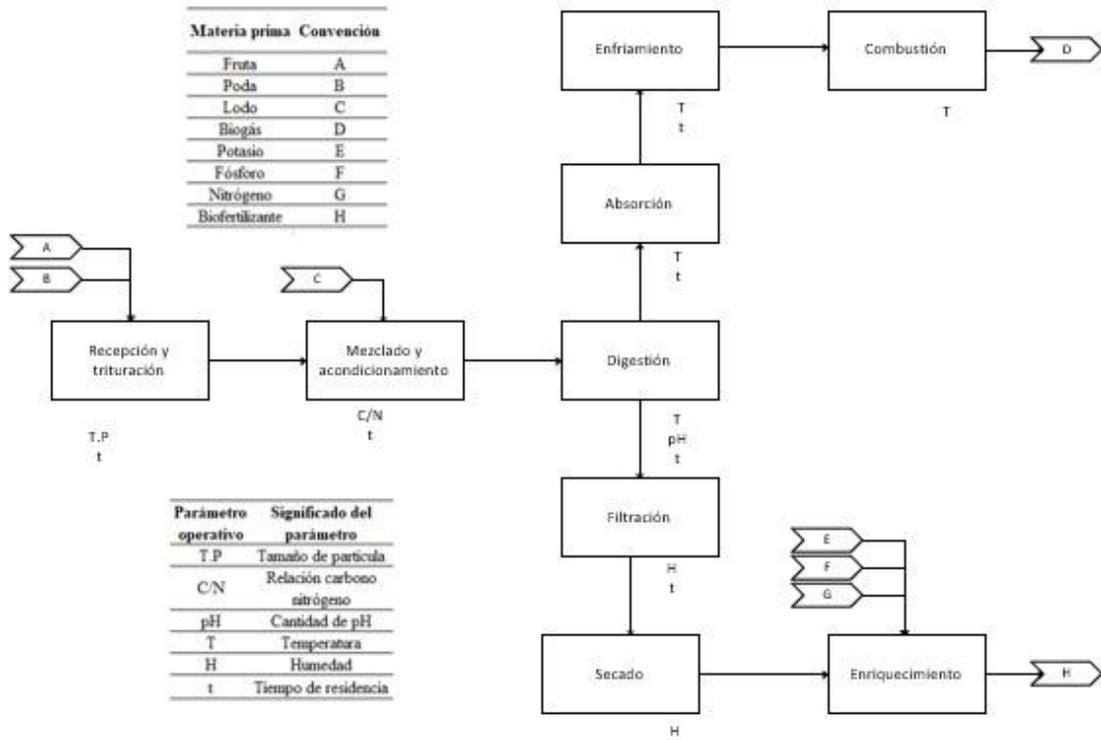
5.2.2. Balance de sustratos

Según la *figura 19* para la obtención del biogás y del biofertilizante se necesita de un proceso de trituración mencionado anteriormente para los sustratos para que el tamaño de partícula sea el más conveniente, luego estos agentes de carga pasarán a un proceso de acondicionamiento donde se mezclara con todo el lodo producido en la PTAR.

Luego se realiza la fermentación anaerobia mediante la digestión para la obtención de dos productos, el primero de ellos corresponde al biogás, el cual después de la digestión pasa a un lavado para que el metano salga a combustión en la caldera y ayude en la parte energética de la planta y los otros gases se eliminen. Para el segundo producto se hace un secado de los biosólidos donde se enriquece con nitrógeno, potasio y fósforo para la obtención final del biofertilizante.

Figura 19.

Diagrama BFD de la producción de biogás.

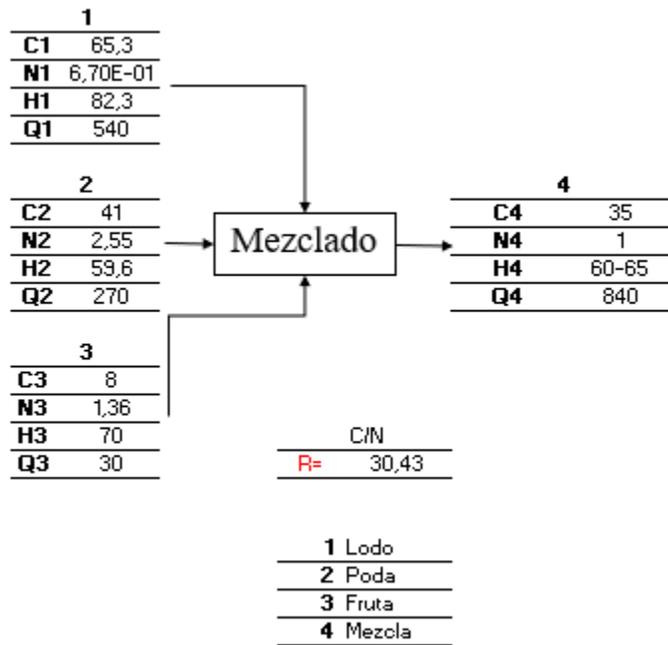


Nota. Diagrama de la producción de compostaje a nivel industrial.

Según la *figura 20* en el balance del biosólido se realiza el acondicionamiento donde se toma todo el lodo correspondiente a 540 kilogramos ya que no paso por ningún proceso de filtrado para reducir el porcentaje de humedad, se utilizan los mismos valores obtenidos en la caracterización inicial del proceso.

Figura 20.

Balace de sustratos para el biogas



Nota. Diagrama de la producción de compostaje a nivel industrial.

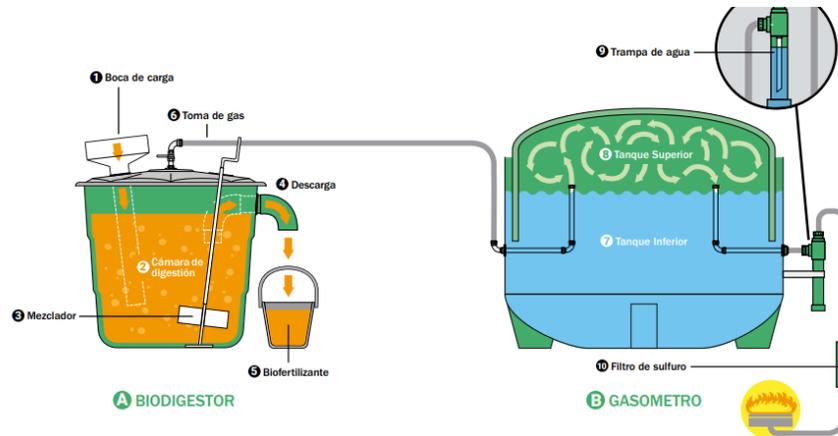
Se usa como agentes de carga 270 kilogramos provenientes del residuo de la poda y 30 kilogramos de materia orgánica de fruta, se usan estos factores ya que se necesita equilibrar la relación de C/N. Finalmente en el balance de materia se obtienen 840 kilogramos de biosólido que serán llevados al proceso de digestión.

5.2.3. Enriquecimiento del biofertilizante

En la figura 21 se encuentra el proceso completo de producción de biogás a partir de sus materias primas hasta la generación de los dos productos.

Figura 21.

Producción de biogás



Nota. Producción de biogás. Disponible en: <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/09/Manual-de-uso-de-biodigestores-1000l.pdf>. [Acceso: Nov.13,2021]

Durante el proceso hay una descarga donde se obtiene biofertilizante (5), a este se le deberá realizar un enriquecimiento con nutrientes y fuentes minerales de N, P, K según lo establecido en la NTC 1267 para fertilizantes y acondicionadores del suelo.

Para acondicionar la biomasa después del secado se realizará con tres componentes. El primero de ellos es el cloruro de potasio debido a que es la fuente más usada y que no incurre en altos costos, tiene una mayor cantidad de potasio aproximada del 50% en comparación con otros, este componente se disuelve de forma muy rápida en el suelo.

El segundo compuesto es la roca fosfórica donde su mineral representativo es el fósforo que ayuda a favorecer la composición del suelo. El tercer componente correspondiente a la urea hace más

eficiente la superficie del suelo, teniendo una alta solubilidad y rendimiento en la calidad del cultivo, cabe resaltar que su mineral principal es el nitrógeno.

5.3. Suelos vacunos

ODA GELATO entre sus procesos productivos, requiere de un principal proveedor el sector lechero proveniente de los campos vacunos ubicados en la región de los Andes municipio de Duitama. A partir de lo anterior se desea estudiar dicha zona en la aplicación de un biofertilizante que permita mejorar la estimulación vegetal, la captación de nutrientes y la reducción de tratamiento de protección. Siendo así se debe realizar hacer un estudio profundo del suelo presente.

La actividad económica de Boyacá se basa principalmente en la producción agrícola y ganadera, Según el DANE la transformación de lácteos en Boyacá ocupa el 21,6% de las actividades municipales más importantes económicamente. En cuanto a Duitama se hace un estudio de acuerdo con la jurisdicción de Belemita en donde la principal actividad es el sector agropecuario, en donde se dispone el 40.29% del territorio en actividades de campó, correspondientes al 33.15% en la ganadería, el 63.11% para cultivar y cuidar ganado y el restante correspondiente a 3.75 % para agricultura. Sin embargo “Esta actividad se ve afectada por la poca eficacia y explotación al máximo del suelo, lo complejo de los cultivos, el reducido tamaño de las parcelas campesinas, la mala distribución de la tierra, los problemas de comercialización de los productos y, la no aplicación de paquetes tecnológicos.” [91]

Con base en lo anterior, se desea enforzar el fertilizante-organomineral en el estudio de los suelos vacunos.

Para el uso de fertilizantes se debe identificar en qué nivel de fertilidad se encuentran los suelos de las zonas estudiadas, esto se determina a partir de factores como la “materia orgánica (incluyendo la biomasa microbiana), la textura, la estructura, la profundidad, el contenido de los nutrientes, la capacidad de almacenamiento (capacidad de adsorción), la reacción del suelo y la ausencia de los elementos tóxicos (por ejemplo: aluminio libre).” [30].

El suelo está compuesto por partículas de piedra y grava (mayores a 2mm), arena (de 2.0 a

0.02mm), limo (de 0.02 a 0.002mm) y arcilla (menos de 0.02mm); dependiendo de las partículas dominantes los suelos se clasifican como ligeros (arenas y francos arenosos), medios (francos) y pesados (francos arcillosos y arcillas). En cuanto a su estructura el suelo se puede encontrar en partículas grandes o finas.

A partir de esto en Duitama se caracteriza por la presencia de suelos oxic dystrudepts en un 60% y typic udifluvens en un 40% en donde hay crecimiento en mayor proporción del pasto kikuyo. Los suelos oxic dystrudepts presentan 3 perfiles A, B, C. “El horizonte A tiene espesor de 7cm, color pardo amarillento oscuro, textura franco-arenosa y estructura granular moderada; el B es de color pardo amarillento oscuro, textura franca arcillo granular gravilosa, estructura en bloques moderada; El C es de color gris con manchas rojas y pardo fuertes.” [92]. Los suelos typic udifluvens, presentan perfiles A-c. “El horizonte A tienen 30 cm de espesor, color pardo oscuro y textura franca; el horizonte C con un espesor menor a 10 cm y la matriz fina es franco arenoso” [92]. Estos suelos se caracterizan por presentar reacciones fuertemente acidas, baja fertilidad natural, presencia de materia orgánica de media a baja.

El pasto kikuyo “es una gramínea perenne de origen africano, que ha invadido las tierras andinas especialmente de Ecuador y Colombia, donde existen grandes extensiones con hierba, entre los 1800 y 3200 m.s.n.m.” [93]. Es el más común y se caracteriza ser la especie que mejor se adapta a condiciones frías, sin embargo, es un pasto que resiste altas tasas de humedad, pero sensible a las fuertes heladas. En cuanto a su fertilización los efectos que causa en el crecimiento son el rendimiento de la materia seca, calidad del forraje y la producción de carne o leche del animal que consumió el pasto.

En cuanto a la importancia de fertilizar equilibradamente se debe tener en cuenta el Nitrógeno es “motor del crecimiento de la planta», normalmente mostrará su eficiencia poco después de su aplicación: las plantas desarrollarán un color verde oscuro y crecerán más vigorosamente. Sin embargo, el nitrógeno excesivo, desequilibrado puede resultar en vuelvo, mayor competencia de malas hierbas y ataques de plagas.” [30] Cuando se enfocan solo los requerimientos en nitrógeno es porque los suelos son ricos en fosfato, potasio y todos los demás micronutrientes disponibles en las plantas, si esto no así, lo que se hará es reducir significativamente el fosfato y el potasio y por

lo tanto después de un tiempo la eficiencia del nitrógeno también declina provocando daños al medio ambiente y pérdida de capital. Los mejores rendimientos en cuanto a fertilizantes son los que están basados en contenidos de NPK, ya que contiene un grado garantizado de los nutrientes en cada granulo de producto.

En la *tabla 26* se establecen los nutrientes importantes que debe contener el fertilizante para el pasto kikuyo dependiendo de la producción esperada de pasto al año dependiendo de la caracterización de suelos.

Tabla 26.

Recomendaciones de fertilización

Especie	Producción esperada	Producción de materia seca tt/ha/año	Extracción			Cantidad de aplicarse		
			N*	P	K**	N	P2O5	K2O
Kikuyo	Baja	4,5	125	27	133	100	46	60
	Media	7,5	208	45	222	150	69	90
	Alta	14	389	83	415	200	137	120

Nota. Recomendaciones de fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio. Tomado de Escuela politécnica del ejército ““Fertilización del kikuyo pennisetum clandestinum con tres fuentes nitrogenadas, dos sólidas y una líquida en tres niveles y dos frecuencias””. Disponible en:

<http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4815/1/T-ESPE-IASA%20I-004575.pdf>. [Acceso: Nov.13,2021]

5.4. Costos propuesta complementaria

Para una producción de biogás, es necesario tener en cuenta los materiales orgánicos que se utilizan en el biodigestor, para ello a partir de datos teóricos investigados en la literatura se consideran la producción de biogás estimada la cual se encuentra en la *tabla 27*.

Tabla 27.

Producción de biogás a partir del material orgánico

Material orgánico	Cantidad	Producción teórica(m3/kg)	Producción de biogás escalado al proceso(m³)
Lodo	540Kg	1*	540
Fruta	30 kg	0,62*	18,6

Nota. * Datos teóricos de la producción de biogás. Tomado de [agrovvet.market animal health](https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/biodigestores-tabla-valores-ts-t26845.htm). Disponible en: <https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/biodigestores-tabla-valores-ts-t26845.htm>. [Acceso: Nov.13,2021]

A partir de lo anterior se establece que la producción total de biogás teóricamente para el proceso de estudio es aproximadamente de 558.6 m³. ODA GELATO en su consumo de gas natural presenta un valor estimado de 1085 por cada m³ de consumo en la empresa. En los recibos presentados se tiene un consumo de 3463m³ representado por un valor de \$3.757.355 COP al mes, al calcular la generación de biogás por el valor del consumo de ODA GELATO se obtiene un valor de \$ 635.810, lo que permite tener un ahorro cerca del 17% sobre la factura de gas. Sin embargo, estos costos pueden variar si se aumenta la producción del helado. Basado en lo anterior no se encontraron datos teóricos de la producción de biogás por parte del residuo de la poda ya que es un agente acondicionador que equilibra la relación carbono nitrógeno, además de no tener un poder calorífico significativo.

Cabe destacar que al introducir un sistema de digestión para los lodos se realiza una reducción de costos significativa mencionada en el capítulo 4 ya que no se incurre a terceros para la deserción de estos ahorrándose la empresa anualmente cerca de \$36.000.000 COP.

Adicionalmente para la producción del fertilizante se estima que una bolsa de fertilizante puede costar entre 10000 y 15000 pesos 3kg, por lo cual se obtiene una cantidad de fertilizante de 529.2

kg tomando como base la eficiencia del proceso de compostaje. Por lo cual se obtienen 176 sacos que han sido previamente enriquecidos obteniendo ganancias de 2.640.000 al mes.

A partir de lo anterior establecido se tiene un ahorro estimado por parte de la empresa de \$43.629.720COP con unas ganancias adicionales de \$31.680.000 COP todo esto al año. Sin embargo, esta propuesta puede llevarse a un flujo de caja donde se obtendrán datos más certeros sobre la viabilidad de esta propuesta.

6. CONCLUSIONES

Se realizó una caracterización fisicoquímica de los materiales orgánicos obteniendo que los lodos tienen un alto porcentaje de humedad correspondiente al 82,3%, un pH ácido de 4.9, una relación C/N desequilibrada ya que el carbono se encontraba en mayores proporciones, también se hizo una caracterización microbiológica que muestra que no hay microorganismos patógenos que afecten al sistema. Todos los datos cumplen parámetros normativos dentro de la legislación colombiana, eso quiere decir que son aptos para el proceso de producción de abono orgánico sin afecciones negativas que pueda causar al suelo, esto se cumple ya que los residuos provienen de un proceso alimenticio evitando todo tipo de contaminación a la hora de fabricar los helados.

En la selección del tipo de abono orgánico se elige un compost aerobio que se lleva a cabo en un sistema cerrado ya que al encontrarse en una empresa de alimentos no puede haber contaminación cruzada, por lo tanto, se elige un reactor de tambor horizontal con volteos manuales que serán controlados. Se descarta la posibilidad de un vermicompost ya que la lombriz es muy sensible a cualquier cambio y mantener las condiciones requiere de un control más específico.

Mensualmente se obtiene 540 kg de lodo que deberán pasar por un proceso de filtración para reducir su porcentaje de humedad mínimo a un 65% y con ello obtener un compost. Al pasar por el filtro la cantidad de lodos se reducen a 420 kg, además de ello se necesita de agentes de carga como el césped, el aserrín de la tributación de los palillos de paleta y residuos de fruta provenientes de la fabricación del helado logrando originar un total de 758 kg de biosólido, esto con el fin de equilibrar la relación de C/N para que la producción final del abono sea eficiente, sin malos olores y se forme un color y textura adecuada.

Para desarrollar una factibilidad financiera con viabilidad se calcularon todos los costos relacionados al proceso de producción del compost, allí se tuvo en cuenta los ingresos y egresos necesarios para generar el flujo de caja revisando las ganancias con una proyección a 10 años. Como resultado se observa que el valor presente neto evalúa la inversión total del proyecto el cual equivale a \$5.014.846 COP con una tasa interna de retorno del 12%, esto quiere decir que el proyecto es factible ya que lo más probable es que no se generen pérdidas durante la implementación del proceso.

Se realizó una propuesta adicional en la cual se implementa la producción de biogás mediante un proceso de fermentación y/o digestión anaerobia, esto hace que la propuesta sea aún más viable ya que esto incurre un ahorro energético y menores costos en la factura del gas, además de eso disminuyen los costos anuales de deserción ya que la PTAR se encuentra tercerizada. También se obtiene un abono orgánico que será vendido, en este caso es un biofertilizante que sirve para acondicionar el suelo vacuno. Por lo tanto, la factibilidad del proyecto aumentaría.

BIBLIOGRAFIA

- [1] ODAGELATO, «Lodos provenientes de la PTAR,» 30 Abril 2021.
- [2] ODAGELATO, «Costo disposición final de los residuos,» 30 Abril 2021.
- [3] SIAC, «Sistema de Información Ambiental de Colombia,» [En línea]. Available:<http://www.siac.gov.co/residuos>. [Último acceso: 16 08 2021].
- [4] RESPEL, «RESPEL Residuos peligrosos,» [En línea]. Available:<https://www.respel.cl/ResiduosPeligrosos/2018/02/12/residuos-no-peligrosos-en-chile/>. [Último acceso: 16 08 2021].
- [5] SIAC, «Sistema de Información Ambiental de Colombia,» [En línea]. Available:<http://www.siac.gov.co/residuos peligrosos>. [Último acceso: 16 08 2021].
- [6] W. Ochoa y A. A. S. Álvarez, «Manual para el manejo de los residuos sólidos orgánicos de la plaza minorista,» CORANTIAQUIA, Medellín, 2000. [En línea]. Available: https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/GESTI%C3%93N%20AMBIENTAL/GA_CN_1904_1999.pdf.
- [7] L. Gomez, H. Moral, P. Navarro y B. Mataix, «Residuos orgánicos y agricultura,» Espagrafic, Alicante, 1995. [En línea]. Available: <http://www.ingenieroambiental.com/2040/Residuos%20organicos%20y%20agricultura.pdf>
- [8] M. d. a. y. d. rural, «Reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaquetado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos,» [En línea]. Available: https://www.minagricultura.gov.co/tramites servicios/Documents/Reglamento_para_la_produccion_Organica.pdf. [Último acceso: 17 08 2021].
- [9] G. A. d. Gauggel y M. Castellano, «Manual, fertilizantes y enmiendas,» 2009. [En línea]. Available: https://www.se.gob.hn/media/files/media/Modulo_6_Manual_Fertilizantes_y_Enmiendas..pdf
- [10] Ó. J. Sánchez, D. A. Ospina y S. Montoya, «Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process,» *Elseiver*, pp. 1-18, 18 08 2017.
- [11] P. Román, M. Martínez y A. Pantoja, «Manual del compostaje del agricultor,» Santiago de Chile, 2013. [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>
- [12] L. M. Z. Márquez, «Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia,» 2008. [En línea]. Available: <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/dspace/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOU enColombia.pdf>

- [13] R. Y. surampalli, T. C. Zhang , S. Kaur Brar , K. Hegde, R. Pulicharla y M. Verma , Handbook of Environmental Engineering, New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto: McGraw-Hill Education, 2018. [En línea]. Available:<https://www-accessengineeringlibrary.com.ezproxy.uamerica.edu.co/content/book/9781259860225/front-matter/preface1>
- [14] Design of Water Resource Recovery Facilities, sixth edition ed., New York, Chicago, San Francisco, Athens, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, Singapore, Sydney, Toronto, : McGraw-Hill Education, 2018.
- [15] S. A. P. Hidalgo, «Producción de compost a partir de residuos sólidos de una planta de celulosa,» Santiago de Chile, 2011. [En línea]. Available: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2011/cf-porras_sh/pdfAmont/cf-porras_sh.pdf
- [16] E. Epstein, Industrial composting Environmental Engineering and Facilities Management, Boca Raton: Taylor & Francis Group, LLC, 2011, p. 338.
- [17] M. Mustin, Le compost: La gestion de la matière organique, Paris: Cocagne, 1993.
- [18] C. Perez, «Evaluación de los efectos de la aireación en pilas de compostaje de,» Concepción, Chile, 2008. [En línea]. Available: http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2333/1/Ramirez_Torres_Mauricio_Javier.pdf
- [19] P. H. T. H. a. H. Razmjoo P, «Determination of an empirical formula for organic composition of mature compost produced in Isfahan-Iran composting plant in 2013.,» *Int J Environ Health Eng*, p. 18, 29 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://www.ijehe.org/text.asp?2015/4/1/3/153988>
- [20] S. D. A. Pravia M, «MANUAL PARA LA ELABORACION DE COMPOSTBASES CONCEPTUALES Y PROCEDIMIENTOS,» 2000. [En línea]. Available: https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/1879/Compostaje_mortalidad.pdf;jsessionid=9430CADB75F1AE51EF69D9965BCCF2C0?sequence=1
- [21] V. M. V. Cornelio y J. R. Laines Canepa, «Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento,» *Scielo*, vol. 8, n° 2, pp. 393-406, 31 03 2017. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n2/2007-0934-remexca-8-02-393-en.pdf>
- [22] R. J. S. Reyes y F. Guzmán Guillen , «Guia de lombricultura,» 2004. [En línea]. Available: <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>
- [23] A. Nag, Biosystems Engineering, vol. 1st, Mc graw hill companies, Inc, 2010. [En línea]. Available:<https://www-accessengineeringlibrarycom.ezproxy.uamerica.edu.co/content/book/9780071606288>

- [24] FAO, «Manual del biogas,» Santiago de Chile, 2011. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- [25] M. Madigan, J. Martinko y J. Parker, Biología de los microorganismos, 10 ed., Pearson Prentice Hall, 1998, p. 1089. [En línea]. Available: <https://drive.google.com/file/d/0B3i4iMpIY5O1VXd4RnN1MUNiClk/view?resourcekey=0-AhAHrQa26CXfwKUrSk08NQ>
- [26] I. C. C. Neri, «Implementación de un biodigestor en unidades pecuarias,» Division regional de ciencia animal, Coahuila, 2014.
- [27] O. Arango Bedoya y L. Sanchez E Sousa, «Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea en sistemas anaerobios tipo uasb,» 26 Octubre 2009. [En línea]. Available: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n2/v7n2a04.pdf>. [Último acceso: 1 11 2021].
- [28] R. A. G. Espantoso, «OBTENCIÓN DE BIOGÁS Y ABONO LÍQUIDO MEDIANTE LA DESCOMPOSICIÓN ANAERÓBICA DE RESIDUOS DE LA FERMENTACIÓN DEL MUCÍLAGO DE CACAO EN PUCALLPA PERÚ,» 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/1311/TB-Guti%C3%A9rez%20R.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [29] «Preparación manual de suelos de siembra de pastos,» 1985.
- [30] FAO, «Fertilizantes y su uso». [En línea]. Available: <http://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>
- [31] M. Cascé, B. Schachner, D. Cantarello, M. Franco de Comanducci, G. Jovovic, D. Rizzo, M. Belbuzzi, S. Trevizán, S. Lagorio, M. Bobet, E. Gianotti, M. Santinelli y M. Luján Lóor, «Buenas prácticas ambientales en la elaboración de helados,» CIMPAR, Santa fé. [En línea]. Available: <http://www.cimpar.org.ar/wp-content/uploads/2010/10/Manual de Buenas-Pr%C3%A1cticas-Ambientales-en-la-Elaboracion-de-Helados.pdf>
- [32] QuimiNet, «El proceso de elaboración del helado,» QuimiNet, 2 3 2010. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/articulos/el-proceso-de-elaboracion-del-helado-41748.htm>. [Último acceso: 29 8 2021].
- [33] V. d. I. Á. T. Ochoa, «Aprovechamiento de la mezcla de desecho generada durante la fabricación de helado cremoso,» 2011. [En línea]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1206_Q.pdf
- [34] Centro Europeo de Postgrado, «CEUPE,» Blog de CEUPE, [En línea].

- Available:<https://www.ceupe.com/blog/coagulacion-y-floculacion.html>. [Último acceso: 10 12 2021].
- [35] FAO, «Manuales para el control de la calidad de los alimentos,» FAO, Roma, 1989.[En línea]. Available:<http://www.fao.org/3/S8800S/S8800S.pdf>
- [36] Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, «Reglamento tecnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS,» Bogotá, 2005. [En línea]. Available:<https://www.aaa.com.co/wp-content/uploads/2015/11/gp-RAS-2000.pdf>
- [37] v. y. d. t. Ministerio de ambiente, «Decreto 4741,» 2005.
- [38] Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible, «Resolución 0631,» 2015.
- [39] Ministerio de vivienda, ciudad y territorio, «Decreto 1287,» 2014.
- [40] R. Docampo, «Compostaje y compost,» *INIA*, vol. 1, p. 5, 2013. [En línea]. Available: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/1839/1/128221231213112259.pdf>
- [41] M. Alcolea y C. González, «Manual del compostaje doméstico,» Escuela superior de agricultura de barcelona, Barcelona, 2000.
- [42] J. Á. d. l. Puente, «Manual de compostaje para agricultura ecológica,» Consejeriade Agricultura y Pesca Junta de Andalucía, Andalucía, 2010. https://www.researchgate.net/publication/311789650_Manual_de_compostaje_para_Agricultura_Ecologica
- [43] Vermican, «Manual del vermicompostaje,» Vermican, Pamplona, 2018.
- [44] «BIOMERK. Soluciones para el futuro sostenible,» [En línea]. Available: <https://www.biomerk.co/bacterias-para-el-biotratamiento-de-trampas-de-grasa/>. [Último acceso: 11 11 2021].
- [45] B. E. A. Valderrama, «Microorganismos con capacidad de degradar las grasas y los aceites vegetales presentes en el efluente del proceso de refinación de aceitesde C.I aceites S.A,» 2013.
- [46] E. Aluyor, K. Obahiagbon y Ori-JesuM., «Biodegradation of vegetable oils: A review,» Nigeria, 2009. [En línea]. Available: <http://www.academicjournals.org/SER>
- [47] O. P. D. L. S. O. M. D. L. SALUD, «MANUAL PARA LA ELABORACION DE COMPOST BASES CONCEPTUALES Y PROCEDIMIENTOS».[En línea]. Available:<http://ops-uruguay.bvsalud.org/pdf/compost.pdf>
- [48] U. l. paeria, «Urbanisme la paeria,» [En línea]. Available:<https://urbanisme.paeria.es/sostenibilitat/fitxers/a21e/RelacioicalculCN.pdf>. [Último

- acceso: 2 11 2021].
- [49] Gedar, «Gestión de Aguas y residuos,» [En línea]. Available:<https://www.gedar.com/PDF/Industrial/GEDAR-FP.pdf>. [Último acceso: 5 11 2021].
- [50] J. Ventosilla, «Selección de filtro prensa y optimización de medios filtrantes para concentrados, relaves y lodos de neutralización,» Rev. del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM, 2014. [En línea]. Available: file:///C:/Users/ASUS/Downloads/DIMENSIONAMIENTO_FILTRO_PRENSA.pdf
- [51] Mastec Industries, «@Copyright Matec S.r.l. 2016-2020 | P.IVA: IT01089030454,» 2016.[En línea]. Available:<https://www.matecindustries.com/es/como-funciona-un-filtro-prensa/>. [Último acceso: 9 11 2021].
- [52] Lenntech USA LLC (Américas), «Lenntech,» 5975 Sunset Drive, 2015. [En línea]. Available:<https://www.lenntech.es/filtro-de-prensa-para-lodos.htm>. [Último acceso: 9 11 2021].
- [53] Ekosep Pioneers in sludge technology, «Catálogo Ekosep,» EKOSEP Environment Protection Equipment Co., Ltd., [En línea]. Available:<http://www.siwatechnology.com/wp-content/uploads/2019/04/Filtros-de-Banda-Filtros-Prensa-de-Bandas.pdf>. [Último acceso: 9 11 2021].
- [54] ZAYMAR E.I.R.L, «R & S Multiventas,» ZAYMAR E.I.R.L, [En línea]. Available:<https://rysmultiventas.com/product/trapp-trf-300g-triturador-forrajero/>. [Último acceso: 13 11 2021].
- [55] A. Kumar Nayak y y. Kalamdhad , «Compostaje de lodos de depuradora en un reactor de tambor rotatorio: estabilidad y análisis cinético,» *Revista Internacional de Reciclaje de Residuos Orgánicos en Agricultura volumen*, p. 11, 11 9 2015. [En línea]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-015-0104-4>
- [56] Prucomercialre, «Prucomercialre.com,» Prucomercialre, 8 11 2021.[En línea]. Available:<https://www.prucomercialre.com/que-es-un-secador-de-tambor/>. [Último acceso: 13 11 2021].
- [57] EMCC Mining & Agriculture, «emccgroup,» EMCC , [En línea]. Available:https://es.emccgroup.net/rotary-drum-dryer.html?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_network=g&utm_device=c&utm_criteria=&utm_adposition=&utm_term=secador%20rotatorio%20industrial&utm_content=&utm_campaign=Spanish_Crusher&&utm_source=google&utm_campaign=S. [Último acceso: 13 11 2021].

- [58] S. C. Albañil Osorio, O. Rodríguez Castellanos, J. P. Jaimes Romero y J. P. Rodríguez Miranda, «Comparación de la calidad del humus de material vegetal con el de residuos orgánicos domésticos, resultado del compostaje mediante el sistema de pilas.» Policía Nacional de Colombia, Bogotá, 2017.[En línea]. Available:<https://www.redalyc.org/journal/5177/517752177017/html/>
- [59] D. García Céspedes, L. Lima Cazorla, L. Ruíz Gutiérrez y P. Calderón Peñalver, «Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas.» Cub@: Medio Ambiente y Desarrollo, 2014. [En línea]. Available:<http://ama.redciencia.cu/articulos/26.03.pdf>
- [60] SOGAMA, «Sociedad Galega de medio ambiente,» [En línea]. Available: <http://www.compostaconsogama.gal/es/como-reconocer-un-buen-compost>. [Último acceso: 10 11 2021].
- [61] P. B. Marquez, M. J. Diaz Blanco y F. Cabrera Capitán ,«Factores que afectan al proceso de compostaje».[En línea]. Available <https://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>
- [62] K. AS y K. AA, «ffects of turning frequency on compost stability and some chemical characteristics in a rotary drum composter.,» *Chemo-sphere*, vol. 74, nº 1327-1334..
- [63] E. E, Industrial composting: Environmental engineering and facilities management, Boca ratón, p. 314.
- [64] U. p. d. l. c. d. h. d. g. d. U. r. sistem, «Usos potenciales de la cáscara de huevo de gallina (*Gallus gallus domesticus*):Una revisión sistemática,» *Scielo*, p. 11, 2020. [En línea]. Available<http://www.scielo.org.co/pdf/recia/v12n2/2027-4297-recia-12-02-106.pdf>
- [65] J. Sana y M. Soliva, «El compostaje: Proceso, sistemas y aplicaciones.,» Barcelona, 1987.[En línea]. Available <https://core.ac.uk/download/pdf/198443482.pdf>
- [66] M. CARIELLO, «Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos.,» *Science and Plant Nutrition*, vol. 7, nº 3,pp. 26-31, 2007. [En línea]. Available
- [67] Dirección de fomento de Tierra y Aguas, FAO, «. Manejo del Suelo: producción y uso del composte en ambientes,» 1991.
- [68] J. I. T. Usechi, «DISEÑO DEL PROTOTIPO DE UN BIORREACTOR DE LECHO FIJO Y TAMBOR GIRATORIO ALIMENTADO POR ENERGÍA FOTOVOLTAICA, PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST, FOTOVOLTAICA, PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST A PARTIR DE AZOLLA FILICULOID,» 2014.

- [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/198443482.pdf>
- [69] H. R.T, «The practical handbook of compost engineering.» Lewis publishers, 1993.[En línea]. Available:
- [70] C. A. C. Molina, «Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje utilizando desechos vegetales urbanos,» 2006. [En línea]. Available: http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/2006/cordova_c/sources/cordova_c.pdf
- [71] D. macro, «Datos macro,» 2021. [En línea]. Available: <https://datosmacro.expansion.com/ipc-paises/colombia>. [Último acceso: 2021].
- [72] «DANE IPC,» 2021. [En línea]. Available: <https://cra.gov.co/seccion/indices-para-el-calculo-de-los-factores-de-actualizacion-de-tarifas.html>.
- [73] Bancolombia, «Cartera ordinaria,» 2021. [En línea]. Available:<https://www.bancolombia.com/wps/portal/empresas/productos-servicios/creditos/cartera-comercial/cartera-ordinaria>.
- [74] Nacional financiera, Banca de desarrollo, [En línea]. Available: https://www.nafin.com/portalfn/files/secciones/capitacion_asistencia/pdf/Fundamentos%20de%20negocio/Finanzas/finanzas3_6.pdf. [Último acceso: 11 2021].
- [75] ANIF, «Centro de estudios económicos,» 2021.[En línea]. Available: <https://www.anif.com.co/tipo-indicador/dtf/>.
- [76] «Sitio de estudios económicos,» 2021.[En línea]. Available: <https://www.anif.com.co/tipo-indicador/dtf/>.
- [77] Bancolombia, «Bancolombia, Proyecciones económicas,»[En línea]. Available: <https://www.bancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/actualidad-economica-sectorial/proyecciones-economicas-colombia-2021-2025>.
- [78] «Proyecciones economías 2021-2025,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/actualidad-economica-sectorial/proyecciones-economicas-colombia-2021-2025>.
- [79] «pymesfuturo,» [En línea]. Available: <https://www.pymesfuturo.com/costobeneficio.html>. [Último acceso: 2021].
- [80] María Teresa Varnero Moreno, «Manual del biogás,»MINENERGIA/PNUD/FAO/GEF, 2011. [En línea]. Available: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>. [Último acceso: 15 11 2021].
- [81] L. C. Rodríguez, «LA REUTILIZACIÓN DELLACTO SUERO. UNA FORMADE DISMINUIR

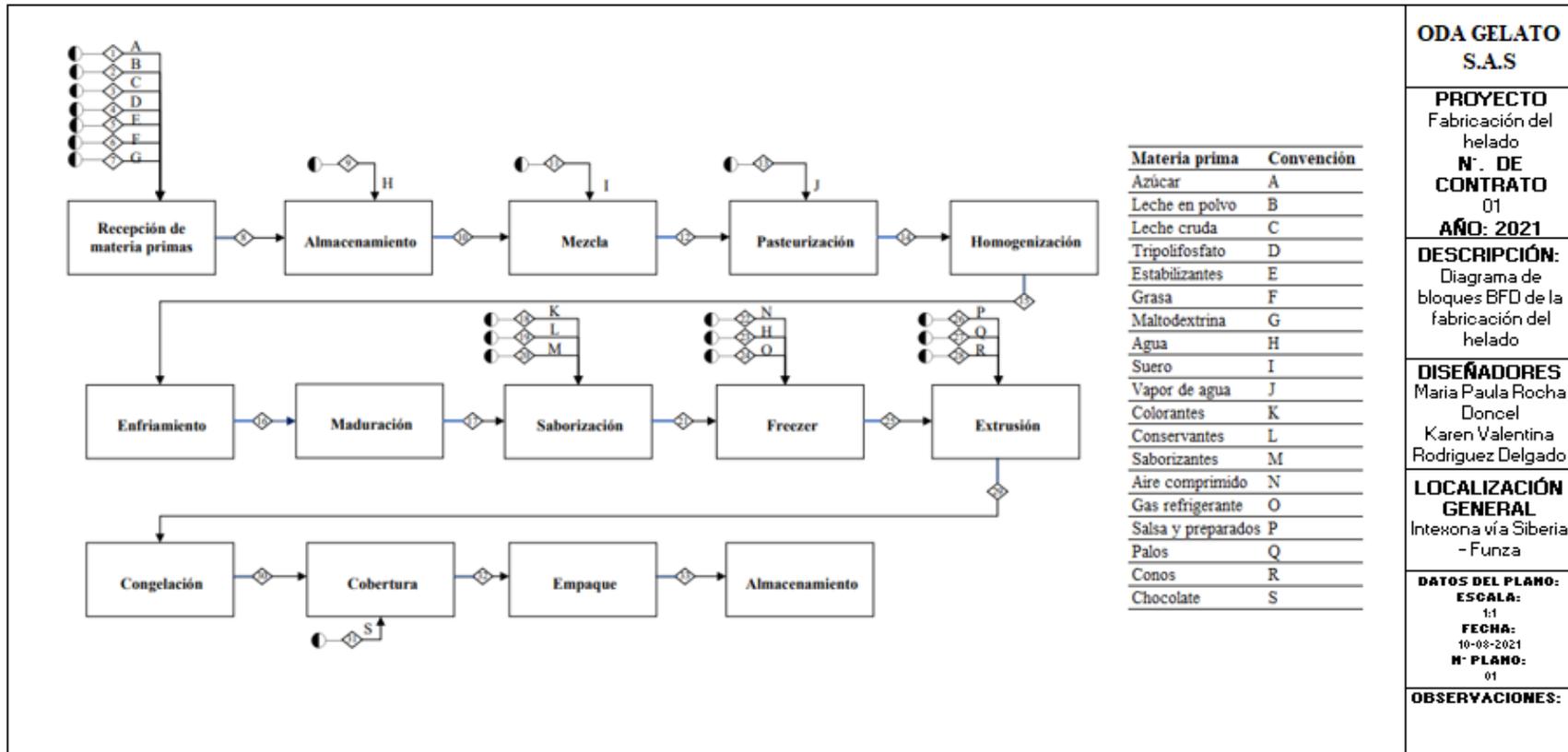
- LOSIMPACTOS AMBIENTALES Y OBTENER ENERGÍA ALTERNATIVA.,» Ecuador, 2018. [En línea]. Available:<http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n1/v31n1a10.pdf>
- [82] Biogas EXPERTS, «Aqua limpia,» 01 09 2020. [En línea]. Available: <https://www.aqualimpia.com/biodigestores/lacteos/>. [Último acceso: 12 11 2021].
- [83] L. Magaña Ramírez, R. Rubio Núñez, H. Jimenez Islas y M. Martínez García, «Tratamiento anaerobio de desechos lácticos y estiércol de cabra,» *Scielo*, p. 6, 2011. [En línea]. Available:<http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n1/v31n1a10.pdf>
- [84] O. d. I. N. U. p. I. A. y. I. agricultura, «Guía Teórico-Práctica sobre el Biogas y los +Biodigestores,» Buenos Aires , 2019. [En línea]. Available: http://www.probiomasa.gob.ar/_pdf/GuiadeBiogasyBiodigestores-19-08-29.pdf
- [85] I. S. practicas, «Fichas técnica de biodigestores».[En línea]. Available:<https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/03-biodigestores.pdf>
- [86] J. A. Hilbert, «Manual de la producción de biogas».
- [87] M. T. a. K. R. S. SANTERRE, «Measures of appropriateness:the resource requirements of anaerobic digestion (biogas) systems.,»*World Development*, vol. 10, n° 3, pp. 239-291, 1982.
- [88] D. C. E. L. Barrera-Cardoso, L. Odales-Berna, A. Carabeo-Pérez, Y. Alba-Reyes y F. O.Hermida-García, «Recopilación de aspectos teóricos sobre las tecnologías de producción de biogás a escala rural,» *Scielo*, vol. 40, n° 2, 2020. [En línea]. Available:http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852020000200303
- [89] F. Caicedo , «Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B.piloto para el tratamiento de lixiviados».
- [90] Biogas Experts, «Aqualimpia,» 1995.[En línea]. Available: <https://www.aqualimpia.com/>. [Último acceso: 15 11 2021].
- [91] C. J. Molano Corredor, S. L. Cely Andrade, E. R. Ramirez Becerra y A. Solano Agudelo, «Caracterización socioeconomica y empresarial Jurisdicción cámara de comercio de Duitama,» 2018. [En línea]. Available: <https://ccduitama.org.co/documentos/Observatorio/CARACTERIZACIONSOCIOECONOMICACCD2017.pdf>
- [92] I. D. G. Guzmán, «Estudio general de suelos y zonificación de las tierras del departamento de boyaca,» 2005. [En línea]. Available: <http://biblioteca.igac.gov.co/janium/Documentos/SUELOS%20DE%20BOYACA%202005.pdf>

- [93] «FERTILIZACIÓN DEL KIKUYO *Pennisetum clandestinum* CON TRES FUENTES NITROGENADAS DOS SÓLIDAS Y UNA LÍQUIDA EN TRES NIVELES Y DOS FRECUENCIAS,» 2011. [En línea]. Available: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4815/1/T-ESPE-IASA%20I-004575.pdf>

ANEXOS

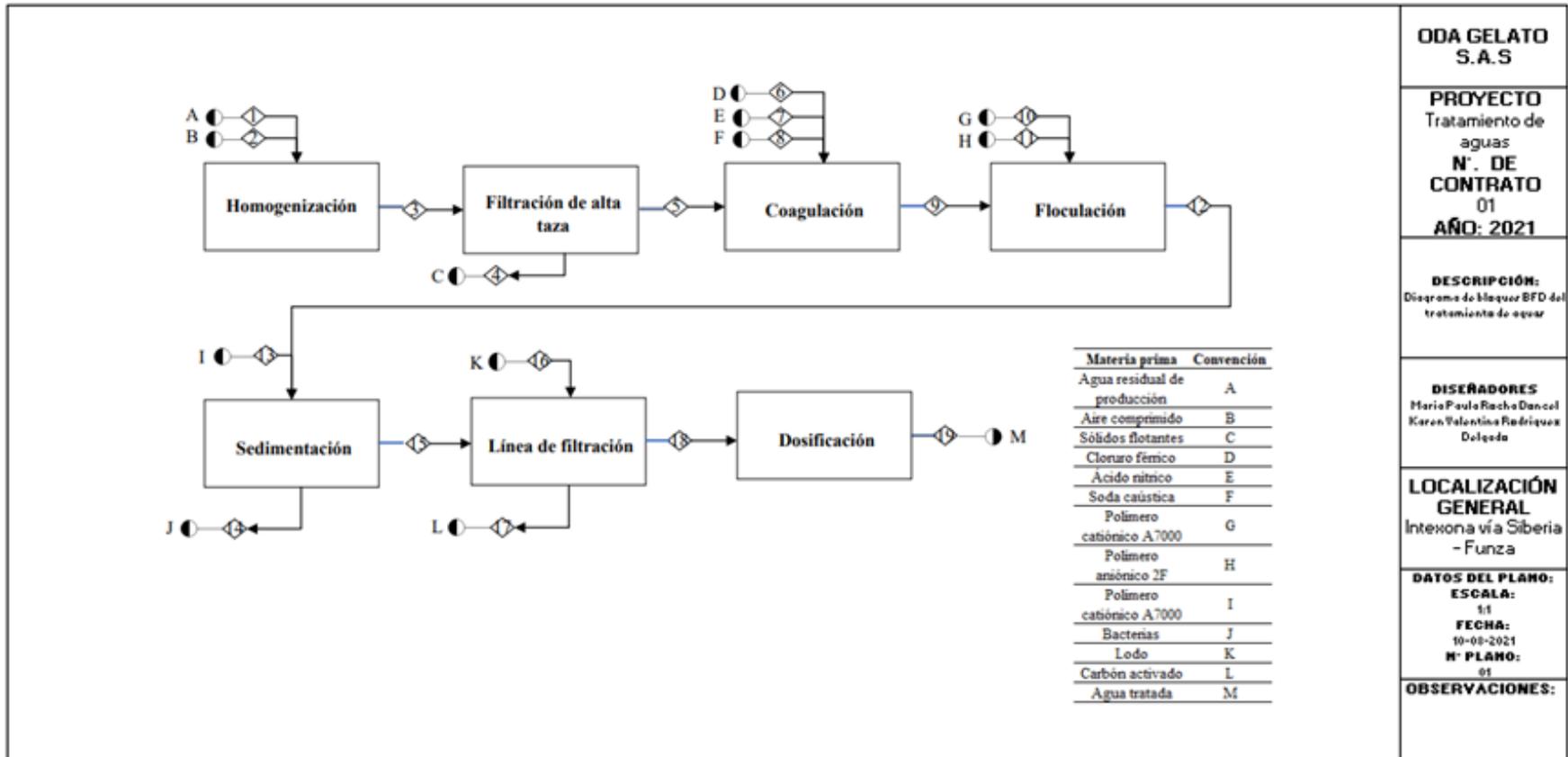
ANEXO 1.

BFD PRODUCCIÓN DE HELADO EN LA EMPRESA ODAGELATO.



ANEXO 2.

BFD TRATAMIENTO DE AGUAS EN LA EMPRESA ODAGELATO.



ODA GELATO S.A.S

PROYECTO Tratamiento de aguas
N°. DE CONTRATO 01
AÑO: 2021

DESCRIPCIÓN:
Diagrama de bloques BFD del tratamiento de agua

DISEÑADORES
María Paula Racha Dancal
Karen Valentina Rodríguez Delgado

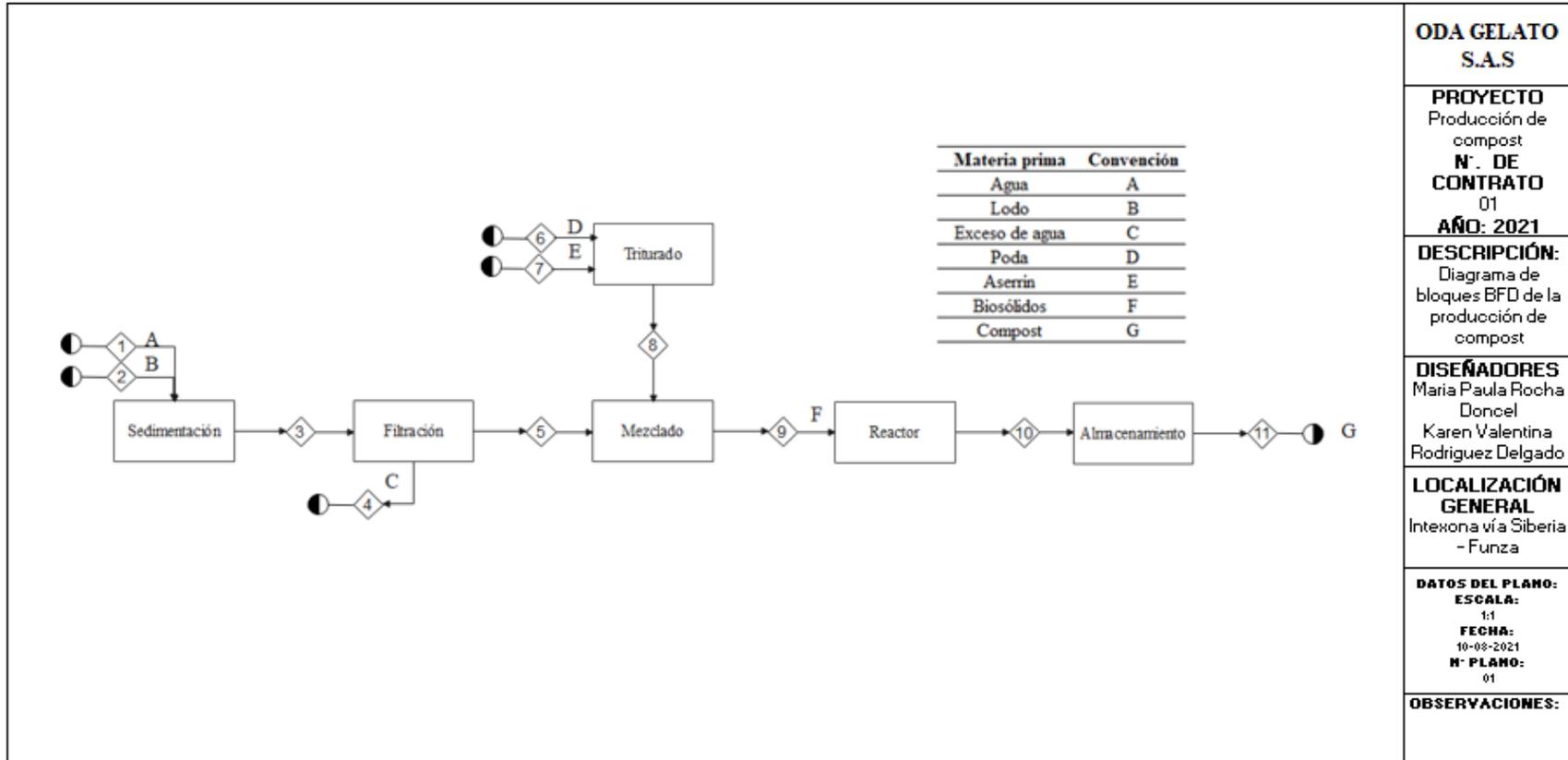
LOCALIZACIÓN GENERAL
Intexona vía Siberia - Funza

DATOS DEL PLANO:
ESCALA: 1/1
FECHA: 10-08-2021
N° PLANO: 01

OBSERVACIONES:

ANEXO 3.

BFD PRODUCCIÓN DE COMPOST.



ODA GELATO S.A.S

PROYECTO
Producción de compost
N.º DE CONTRATO
01
AÑO: 2021

DESCRIPCIÓN:
Diagrama de bloques BFD de la producción de compost

DISEÑADORES
Maria Paula Rocha
Doncel
Karen Valentina Rodríguez Delgado

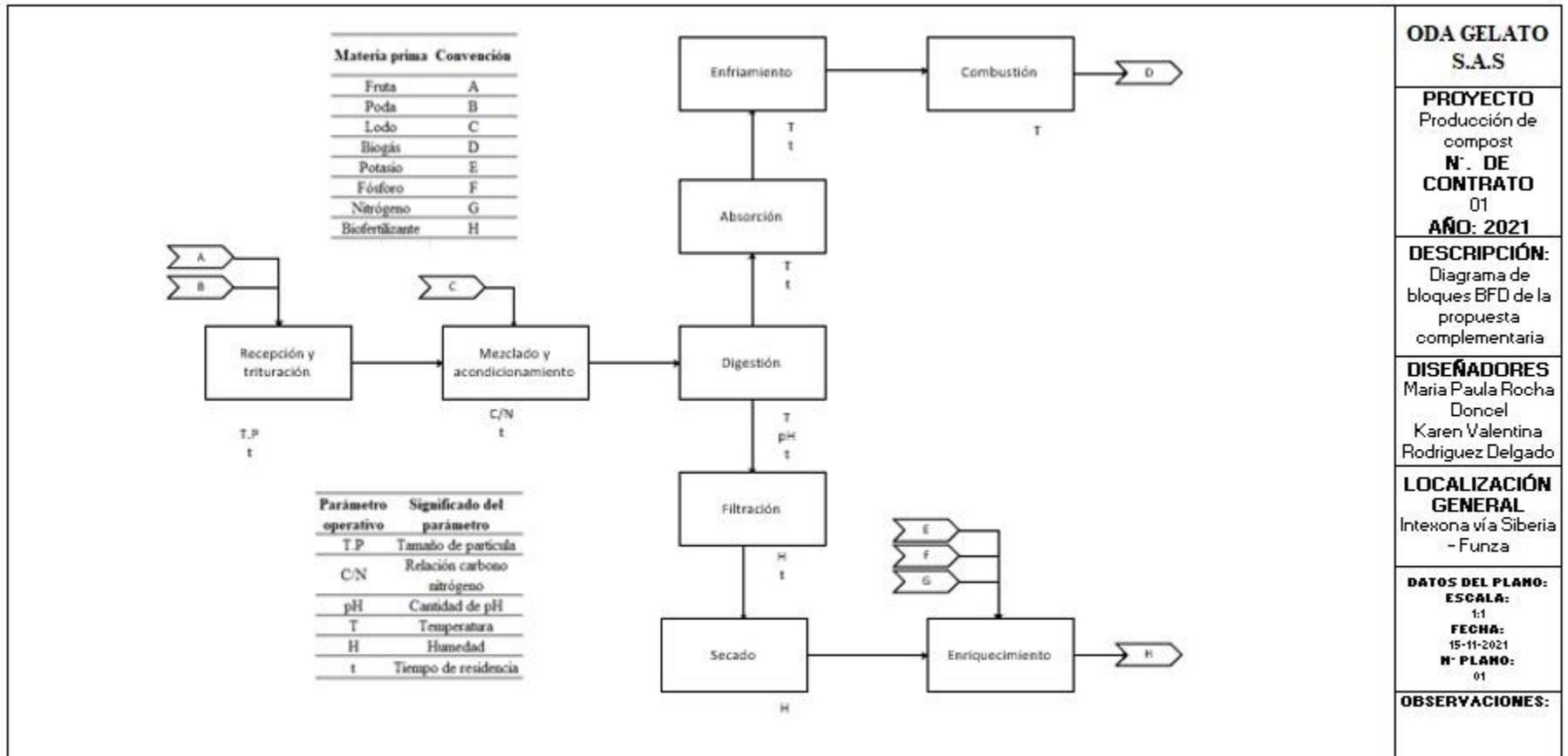
LOCALIZACIÓN GENERAL
Intexona vía Siberia - Funza

DATOS DEL PLANO:
ESCALA:
1:1
FECHA:
10-08-2021
N.º PLANO:
01

OBSERVACIONES:

ANEXO 4.

BFD PROPUESTA COMPLEMENTARIA



ODA GELATO S.A.S
PROYECTO Producción de compost N. DE CONTRATO 01 AÑO: 2021
DESCRIPCIÓN: Diagrama de bloques BFD de la propuesta complementaria
DISEÑADORES Maria Paula Rocha Doncel Karen Valentina Rodriguez Delgado
LOCALIZACIÓN GENERAL Intexona vía Siberia - Funza
DATOS DEL PLANO: ESCALA: 1:1 FECHA: 15-11-2021 N. PLANO: 01
OBSERVACIONES:

ANEXO 5

FLUJO DE CAJA DE LA FACTIBILIDAD FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DEL COMPOST.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ingresos											
Producto	\$ 15.264.000	\$ 15.926.458	\$ 16.617.666	\$ 17.338.873	\$ 18.091.380	\$ 18.876.546	\$ 19.695.788	\$ 20.550.585	\$ 21.442.480	\$ 22.373.084	
Ahorro	\$ 37.562.400	\$ 39.192.608	\$ 40.893.567	\$ 42.668.348	\$ 44.520.154	\$ 46.452.329	\$ 48.468.360	\$ 50.571.887	\$ 52.766.707	\$ 55.056.782	
Total	\$ 52.826.400	\$ 55.119.066	\$ 57.511.233	\$ 60.007.221	\$ 62.611.534	\$ 65.328.875	\$ 68.164.148	\$ 71.122.472	\$ 74.209.187	\$ 77.429.866	
Egresos											
Costos servivios	\$ 972.759,53	\$ 1.014.977,30	\$ 1.059.027,31	\$ 1.104.989,10	\$ 1.152.945,62	\$ 1.202.983,46	\$ 1.255.192,95	\$ 1.309.668,32	\$ 1.366.507,92	\$ 1.425.814,37	
Mano de obra	\$ 19.283.902	\$ 20.120.823	\$ 20.994.067	\$ 21.905.209	\$ 22.855.895	\$ 23.847.841	\$ 24.882.837	\$ 25.962.752	\$ 27.089.536	\$ 28.265.222	
Mantenimiento	\$ 3.651.900	\$ 3.810.392	\$ 3.975.763	\$ 4.148.312	\$ 4.328.348	\$ 4.516.199	\$ 4.712.202	\$ 4.916.711	\$ 5.130.097	\$ 5.352.743	
Análisis y costos	\$ 1.114.241	\$ 1.152.169	\$ 1.191.389	\$ 1.231.944	\$ 1.273.879	\$ 1.317.242	\$ 1.362.081	\$ 1.408.447	\$ 1.456.390	\$ 1.505.966	
Total egresos	\$ 25.022.801,74	\$ 26.098.362,05	\$ 27.220.246,65	\$ 28.390.453,96	\$ 29.611.068,66	\$ 30.884.265,53	\$ 32.212.313,26	\$ 33.597.578,58	\$ 35.042.530,43	\$ 36.549.744,44	
Depreciación	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	\$ 12.622.712	
Flujo neto de ganancias grabables											
	\$ 15.180.886	\$ 16.397.992	\$ 17.668.275	\$ 18.994.055	\$ 20.377.753	\$ 21.821.897	\$ 23.329.123	\$ 24.902.181	\$ 26.543.945	\$ 28.257.409	
Impuesto de renta (31%)											
	\$ 4.706.075	\$ 5.083.377	\$ 5.477.165	\$ 5.888.157	\$ 6.317.104	\$ 6.764.788	\$ 7.232.028	\$ 7.719.676	\$ 8.228.623	\$ 8.759.797	
Ganacias netas	\$ 10.474.812	\$ 11.314.614	\$ 12.191.109	\$ 13.105.898	\$ 14.060.650	\$ 15.057.109	\$ 16.097.095	\$ 17.182.505	\$ 18.315.322	\$ 19.497.613	
Amortización credito	\$ 63.113.560	\$ 7.584.315	\$ 9.786.799	\$ 12.628.886							
Flujos de fondo											
Neto	-\$ 63.113.560	\$ 15.513.209	\$ 14.150.527	\$ 12.184.935	\$ 25.728.610	\$ 26.683.362	\$ 27.679.821	\$ 28.719.807	\$ 29.805.217	\$ 30.938.034	\$ 32.120.325

ANEXO 6.

ANÁLISIS DE AGUAS LE PTAR DE LA EMPRESA ODA GELATO



Código: F-ER-02

Versión: 2

Fecha: 26/01/2016

RESULTADOS DE ANÁLISIS AGUAS



FECHA DE ANÁLISIS (dd/mm/yyyy)		PARÁMETRO	RESULTADO	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	Resolución 0631 de 2015, Art.16 (Art.12 Elaboración de productos lácteos.)	CONFORMIDAD
INFORME DE RESULTADOS N°:		60233							
CLIENTE:	ODA GELATO S.A.S		CANTIDAD:	7600ml		RESPONSABLE MUESTREO:	BIOPOLAB		
NIT:	901275271-8	COTIZACIÓN N°:	21R-744	FECHA DE MUESTREO:	24/06/2021	T (° C) MUESTREO:	18.4°C		
TELÉFONO:	8787694 ext. 131	ODS:	21-2161	FECHA DE RECIBIDO:	25/06/2021	DESCRIPCIÓN:	ARnD		
CONTACTO:	Ing. William López		TIPO DE EMPAQUE:	P/V		TIPO DE MUESTREO:	COMPUESTO 8 HORAS		
CARGO:	Director de Mantenimiento		PUNTO DE CAPTACIÓN/	Orden de servicio cliente:		VERTIMIENTO ALCANTARILLA			
DIRECCIÓN:	Zona Franca Intexzona Bodega 10		LUGAR DE RECOGIDA:	PARQUE INDUSTRIAL INTEXZONA - FUNZA - CUNDINAMARCA- ODA GELATO					
CIUDAD:	FUNZA		COORDENADAS:	N: N.E		W: N.E			
ID. MUESTRA:	21-4819		ALMAC. CONTRAMUESTRA:	Análisis FO: 15 días		Análisis MB: 24 horas			
<i>Fisicoquímica</i>									
24/06/2021	pH (A)	6,6 - 8,45	NO APLICA	Unidad de pH	Electrometric Method.	SM 4500-HH B.Ed 23	5,00-9,00	CUMPLE	
25/06/2021	DBOS (A)	277	20,6	mg O2/L	5-Day BOD Test.	SM 5210 B, Ed 23ASTM D888-18 Método C	375	CUMPLE	
27/06/2021	DQO (A)	548	16,6	mg O2/L	Closed Reflux, Titrimetric Method	SM 5220 C.Ed 23	675	CUMPLE	
1/07/2021	Sólidos Suspendidos Totales (A)	140	11,6	mg/L	Secado a 104°C Gravimetrico	SM 2540 D.Ed 23	225	CUMPLE	
24/06/2021	Sólidos Sedimentables (A)	2	0,10 mL/L	mL/L	Cono Imhoff	SM 2540 F.Ed 23	3	CUMPLE	
6/07/2021	Grasas y Aceites (A)	<9,97	9,97	mg/L	Extracción líquido - líquido, partición gravimétrica.	S.M. 5520 B.Ed 23	30	CUMPLE	
6/08/2021	Compuestos Fenólicos Semivolátiles (*)	<0,007	0,007	mg/L	Extracción líquido - líquido CG/FID	EPA 3510 C-EPA 8041A	No Especifica	NO APLICA	
10/08/2021	Tensoactivos(SAAM o Detergentes) (A)	3,57	0,242	mg SAAM/L	Anionic Surfactants as MBAS.	SM 5540C.Ed 23	Análisis y Reporte	NO APLICA	
6/07/2021	Hidrocarburos Totales TPH (A)	<8,70	8,7	mg/L	Extracción Líquido - Líquido Partición Gravimétrica	S.M. 5520 B, F.Ed 23	No Especifica	NO APLICA	
25/06/2021	Ortofosfatos (Fosfatos) (A)	34,7	0,06	mg P-PO4/L	Stannous Chloride Methods	SM 4500-P D.Ed 23	Análisis y reporte.	NO APLICA	
1/07/2021	Fósforo Total(A)	34,8	0,063	mg P/L	Colorimetric Method-Stannous Chloride	SM 4500-P B, D Ed 23	Análisis y reporte.	NO APLICA	
25/06/2021	Nitritos (A)	0,542	0,0043	mg N-NO2/L	Colorimetric Method.	SM 4500-NO2- B.Ed 23, 2017.	Análisis y reporte.	NO APLICA	
25/06/2021	Nitratos (A)	30,9	0,31	mg N-NO3/L	UV Spectrophotometric Screening Method.	SM 4500-NO3- B. Ed 23, 2017.	Análisis y reporte.	NO APLICA	
11/08/2021	Nitrógeno Amoniacal (A)	4,86	4,61	mg N-NH3/ L	Distillation-Titrimetric Method	SM 4500-NH3 B, C. Ed 23	Análisis y Reporte	NO APLICA	
11/08/2021	Nitrógeno Orgánico Total Kjeldahl(A)	342	5,000	mg N/ L	Semi-Micro-Kjeldahl and Destillation-Titrimetric Method	SM 4500-NOrg C, SM 4500-NH3 B, C. Ed 23	Análisis y Reporte	NO APLICA	
11/08/2021	Nitrógeno Total	378	No Aplica	mg N/ L	Cálculo	Cálculo	Análisis y Reporte	NO APLICA	
2/07/2021	Cianuros Totales (*)	< 0,02	0,02 mg/L	mg / L	SM 4500-CN-E Modificado	Espect UV-VIS	No Especifica	NO APLICA	
1/07/2021	Cloruros (A)	215	19,9	mgCl-/L	Argentometric Method.	SM 4500-Cl- B. Ed 23, 2017.	500	CUMPLE	
1/07/2021	Sulfatos (A)	236	8,9	mg SO42- /L	Turbidimetric Method	SM 4500 SO4 2- E.Ed 23	500	CUMPLE	
2/07/2021	Sulfuros (*)	< 1	1 mg/L	mg / L	Yodométrico	SM 4500-S F	No Especifica	NO APLICA	
4/07/2021	Cadmio (A)	<0,0090	0,009	mg Cd/L	Direct Air-Acetylene Flame Method	SM 3111 B.Ed 23	No Especifica	NO APLICA	

RESULTADOS DE ANÁLISIS AGUAS

INFORME DE RESULTADOS N°: 60233								
9/07/2021	Cinc (A)	0,226	0,05	mg Zn /L	Direct Air-Acetylene Flame Method	SM 3111 B. Ed 23	No Especifica	NO APLICA
4/07/2021	Cobre (A)	<0,058	0,058	mg Cu/L	Direct Air-Acetylene Flame Method	SM 3111 B. Ed 23	No Especifica	NO APLICA
4/07/2021	Cromo (A)	<0,045	0,045	mg Cr/L	SM 3111 B. Direct Air-Acetylene Flame Method	SM 3111 B, SM 3111 B. Ed 23	No Especifica	NO APLICA
2/07/2021	Mercurio (*)	< 0,001	0,001	mg Hg/L	Absorción Atómica Cámara Grafito	SM 3112 B Modificado	No Especifica	NO APLICA
9/07/2021	Níquel (A)	<0,051	0,051AR	mg Ni/L	Direct Air-Acetylene Flame Method	SM 3111 B. Ed 23	No Especifica	NO APLICA
4/07/2021	Plomo (A)	<0,068	0,068 Agua Res	mg Pb/L	Direct Air-Acetylene Flame Method	SM 3111 B. Ed 23	No Especifica	NO APLICA
25/06/2021	Acidez Total (A)	<9,13	9,13	mg CaCO3/L	Titration Method	SM 2310 B Ed 23	Análisis y Reporte.	NO APLICA
25/06/2021	Alcalinidad Total (A)	4081	25,5	mg CaCO3 /L	Titration Method	SM 2320 B Ed 23; 2017	Análisis y Reporte.	NO APLICA
3/07/2021	Dureza Calcica (A)	43,8	7,73	mg CaCO3/L	EDTA titrimetric Method	SM 3500-Ca B. Ed 23; 2017	Análisis y Reporte	NO APLICA
3/07/2021	Dureza Total (A)	60	7,37	mg CaCO3 /L	EDTA Tritimetric Method.	SM 2340C. Ed 23; 2017.	Análisis y Reporte.	NO APLICA
26/06/2021	Color 436 nm (A)	6,9	0,1	m-1	Spectrophotometer Method	ISO 7887 Método B	Análisis y Reporte	NO APLICA
26/06/2021	Color 525 nm(A)	2	0,1	m-1	Spectrophotometer Method	ISO 7887 Método B	Análisis y Reporte	NO APLICA
26/06/2021	Color 620 nm (A)	0,6	0,1	m-1	Spectrophotometer Method	ISO 7887 Método B	Análisis y Reporte	NO APLICA
24/06/2021	Temperatura (A)	20,9	0,1	°C	Laboratory and Field Methods.	SM 2550B.	40	CUMPLE
24/07/2021	Caudal (A)	1,03	0,01	L/s	Volumétrico	Volumétrico	No Especifica	NO APLICA

(A) Parámetro acreditado por IDEAM bajo Resolución 1484 del 2019

* Análisis subcontratados

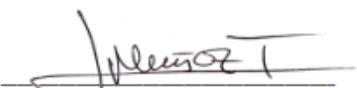
Los valores de pH, Caudal, Temperatura, Oxígeno Disuelto y Sólidos Sedimentables fueron medidos in situ.

Formato de fecha: dd/mm/yyyy

Resolución 631 de 2015, "Por la cual se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones."

- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico o al correo e inmediatamente sera atendida.
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:


Javier Eduardo Muñoz Torres
Gerente Técnico
P. Químico de Alimentos. Matrícula Profesional PQA-495

Fecha de expedición:

25/08/2021

FIN DEL INFORME

Elaborado por: Leidy Moreno Otero

ANEXO 7. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS LODOS DE LA PTAR DE LA EMPRESA ODA GELATO



Código: F-ER-02
Versión: 3
Fecha: 15/12/2020

RESULTADOS DE ANÁLISIS AGUAS

INFORME DE RESULTADOS N°:		67564						
CLIENTE: VALENTINA RODRIGUEZ	CANTIDAD: 500g	RESPONSABLE MUESTREO: CLIENTE						
NIT: 1007384330	FECHA DE MUESTREO: 28/07/2021	T (° C) MUESTREO: N.E						
TELÉFONO: 3196364122	FECHA DE RECIBIDO: 29/07/2021	DESCRIPCIÓN: LODO						
CONTACTO: Valentina Rodríguez	TIPO DE EMPAQUE: PET	TIPO DE MUESTREO: PUNTUAL						
CARGO: N.E.	PUNTO DE CAPTACIÓN: LODOS PTAR							
DIRECCIÓN: Calle 9 # 6-93 Facatativa	LUGAR DE RECOGIDA: INTEXONA - BODEGA 10 PARQUE INDUSTRIAL INTEXZONA							
CIUDAD: FACATATIVA	COORDENADAS: N: N.E W: N.E							
ID. MUESTRA: 21-10194	ALMAC. CONTRAMUESTRA: Análisis FQ: 15 días Análisis MB: 24 horas							
Fisicoquímica								
FECHA DE ANÁLISIS (dd/mm/yyyy)	PARÁMETRO	RESULTADO	INCERTIDUMBRE ±	UNIDADES	TÉCNICA ANALÍTICA	MÉTODO	NO SE COMPARA CONTRA NINGUNA NORMA	CONFORMIDAD
18/08/2021	Humedad	82,3	NO APLICA	g/100g	Secado a 105°C-Gravimétrico	IGAC 6° ed. 2006/NTC 1495-2011	NO ESPECIFICA	NO APLICA
17/08/2021	pH	4,93	0,081	Unidad de pH	Electrometric Method	EPA 9045 D	NO ESPECIFICA	NO APLICA
19/08/2021	Carbono Organico Total	65,3	NO APLICA	g/100g	Walkley-Black Colorimetria	Walkley-Black Colorimetria	NO ESPECIFICA	NO APLICA
14/08/2021	Nitrógeno Total LyS	0,63	NO APLICA	mg/Kg	Semi-Micro Kjeldahl y Destilación	SM 4500-Norg C. SM 4500-NH3 B,C	NO ESPECIFICA	NO APLICA

(A) Parámetro acreditado por IDEAM bajo Resolución 0196 del 9 de marzo de 2021

* Análisis subcontratados

Formato de fecha: dd/mm/yyyy

Los resultados de los análisis presentan una incertidumbre que ha sido estimada a través de la confirmación del método, dicha incertidumbre se tiene en cuenta para establecer la conformidad de un resultado. La regla de decisión aplicada por BIOPOLAB para establecer la conformidad de un resultado en comparación con una norma de referencia, se basa en la guía ILAC-G8:09/2019. Guía para establecer reglas de decisión, teniendo como punto base el numeral 4.1 Declaración Binaria de aceptación simple, donde la probabilidad de que el resultado este por fuera del límite de tolerancia puede ser hasta del 50% para los casos en que éste se encuentre en el límite establecido por la norma de referencia. "En el caso en que la regla de decisión no se ajuste a las necesidades o requerimientos del cliente, se establecerá una regla de decisión diferente de mutuo acuerdo".

- Estos resultados son válidos únicamente para esta muestra recibida y analizada en el Laboratorio de Fisicoquímica y Microbiología de Biopolab.
- Este informe de resultados no se puede reproducir y solo aplica para los resultados de la muestra analizada.
- Cualquier inquietud o reclamación puede ser presentada a nuestra compañía ya sea vía telefónico, o al correo e inmediatamente sera atendida
- La muestra será almacenada 15 días para eventuales repeticiones o inquietudes con los análisis y resultados.

Documento aprobado por:

Xavier Alfonso Galindo Velásquez
Gerente Técnico
P. Químico. Matricula Profesional PQ - 07773

Fecha de expedición:

24/08/2021

FIN DEL INFORME

Elaborado por:

Luis Alexander Torres

ANEXO 8. CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA



ALS - BOGOTA
ALS LIFE SCIENCES COLOMBIA S.A.S
Sede Bogota D.C Calle 94b # 56 - 45 Barrio Rionegro

Informe de Ensayo N° 22436/2021 Página 1/1

Fecha de Emisión: 2021-04-06

No. de Ensayo: MF / 6346 / 21
Fecha Recogida: 31-03-2021
Fecha Recepción: 31-03-2021
Fecha Inicio Ensayos: 31-03-2021
Fecha Fin Ensayos: 05-04-2021
Código del Cliente: 0647

Cliente:
Oda Gelato S.A.S
ZF INTEXZONA BG 10
Cota

Solicitante: Eliana Rodriguez
Unidad: Planta

Identificación de la Muestra:

20980 / 21

Muestra: Mix prueba Fecha Elaboración: 23-03-2021 Fecha Caducidad: 23-03-2022 Tipo Envase: PET	Lote: 18032021 Capacidad: 1000g Temperatura: -18°C Hora de recogida: 17:20
---	---

Ensayo/Método	Método	Resultado	Unidad	IM
Salmonella sp 25g - Ausencia/Presencia - AOAC	AOAC edición 21:2019 método 967.26	Ausencia	A o P/25 g o ml	Ausencia - Presencia
Staphylococcus aureus coagulasa positivo Recuento en placa	ICMSF:2000 metodo 1 ISO 6888 - 1: 1999 ADM 2:2018 NTC 4779 version 1: 2007	<100	UFC/g o mL	10 - 1520000
Coliformes totales NMP	BAM Capitulo 4 métodos I y II, versión:2020	240	NMP/g o mL	3 - 1100
Escherichia coli NMP	BAM Capitulo 4 métodos I y II, versión:2020	<3	NMP/g o mL	3 - 1100
Mesofilos aerobios recuento en placa	ICMSF:2000 método 1	250000	UFC/g o mL	10 - 1380000

AOAC edición 21:2019 método 967.26
: Detección de Salmonella spp.AOAC Tadicional
BAM Capitulo 4 métodos I y II, versión:2020: BAM Capitulo 4 métodos I y II, versión:2020

Lista de abreviaturas: UFC- Unidades formadoras de colonias; IM: Intervalo de Medición de la tecnica; LQ - Límite de cuantificación ; V.L: Valor Limite de especificación; C - Cumple; NC - No Cumple
D: Detectable; ND: No Detectable; N.A: No Aplica;

El ensayo señalado con (s) fue subcontratado y no es acreditado.
El ensayo señalado con (a) fue subcontratado y es acreditado.

NOTA: La información en el ítem de identificación de muestra que se observe subrayada corresponde a datos suministrados por el cliente, por consiguiente el laboratorio no se hace responsable de su veracidad u otros factores que puedan afectar el resultado.
Análisis validos únicamente para la muestra analizada.
ALS LIFE SCIENCES COLOMBIA S.A.S no se hace responsable por su uso indebido o falsificación.
Prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin la aprobación escrita por el laboratorio.

Los ensayos señalados con * no están incluidos en el alcance de acreditación.
La recogida de muestra efectuada no está incluida en el alcance de acreditación.

FIN DE INFORME

Yesmireth Martinez A.

Yesmireth Martinez
Microbiology Laboratory
Coordinator

Adriana Rubiano

Profesional de Soporte Tecnico
Adriana Marcela Rubiano Peña

ANEXO 9.

RECOMENDACIONES

Para obtener mejores resultados de la caracterización de los lodos se recomienda ampliar los estudios analizando porcentajes de nutrientes, cenizas presentes y grasas que puede contener el lodo.

Se recomienda utilizar neutralizadores de acidez en el proceso de compostaje ya que los lodos de la industria presentan valores ácidos que pueden generar problemas en el proceso al igual que la biodigestión.

Implementar chaquetas de calentamiento en los reactores y biodigestores para que permitan tener un control detallado de la temperatura y así obtener mejores valores de producción y disminución de los tiempos de retención.

Se recomienda realizar un estudio de factibilidad para la producción de biogás y fertilizantes.

Reevaluar los tiempos de retención en cada proceso para mejorar la producción de compostaje.

Se recomienda realizar pruebas de laboratorio que permitan obtener un mejor análisis de las variables que son críticas en el proceso del compostaje ya que la información suministrada teóricamente no es suficiente.

Se sugiere realizar caracterizaciones fisicoquímicas, de los materiales que se utilizan como soporte.

Se recomienda producir el compostaje, el biogás y el fertilizante para evaluar la calidad agronómica y calorífica de los lodos y residuos de la producción de la empresa ODA GELATO.

Se recomienda calcular la incertidumbre estimando los tiempos de las actividades del proceso de producción de abono orgánico donde se evidencien porcentajes de error que puedan hacer que el sistema no se lleve a cabo correctamente y que las fallas que puedan ocasionar retarden el proceso.