

PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE BIOABONO A PARTIR DE ESTIÉRCOL
BOVINO DE LA FINCA EL VALLE, SUBACHOQUE, CUNDINAMARCA

NATHALIA ANDREA AGUIRRE OTERO
LAURA JULIANA LEAL LUGO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

PROPUESTA DE PRODUCCIÓN DE BIOABONO A PARTIR DE ESTIÉRCOL
BOVINO DE LA FINCA EL VALLE, SUBACHOQUE, CUNDINAMARCA

NATHALIA ANDREA AGUIRRE OTERO
LAURA JULIANA LEAL LUGO

Trabajo integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

Director,
MELISA LIS GUTIERREZ
Ing. Agrónoma, Universidad Nacional de Colombia

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERIA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

Nota de aceptación:

Ing. Iván Ramírez Marín

Ing. Juan Andrés Sandoval

Bogotá D.C noviembre 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados

DRA. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano Facultad de Ingenierías

ING. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de Ingeniería Química

ING. LEONARDO DE JESÚS HERRERA GUTIÉRREZ

Las directivas de la Fundación Universidad de América junto con el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este logro en primer lugar a Dios por brindarme la oportunidad de cumplir mis sueños, por darme la capacidad y salud para hacer esto posible.

En segundo lugar, a mis padres Cesar Aguirre y Nancy Otero y mi hermano Julio Cesar Aguirre porque sin ellos nada de esto sería posible, gracias por cada consejo, por ser mis guías y mi apoyo en cada paso que doy. ¡los amo!

En tercer lugar, a Leonardo Higuera que ahora es un ángel que me acompaña desde el cielo, gracias por ser parte de este capítulo de mi vida, por enseñarme a ver la vida de otra manera, siempre estarás presente en mi corazón.

Finalmente, a mis amigas Laura Morales, Sharon Marcelo, Lina Castro, Valentina Cubides y Laura Leal porque gracias a ustedes esta etapa que culmina fue la mejor, gracias por estar en los buenos y malos momentos, siempre las llevaré en mi corazón, sin ustedes nada de esto sería posible.

NATHALIA ANDREA AGUIRRE OTERO

Quiero agradecer a Dios y a la vida misma por permitirme cumplir mis sueños y llenar mi vida de pasiones para persistir hasta conseguirlos.

Gracias a mis padres Aurelio Leal y Lina Lugo, mi gordito Miguel Leal y a mi abuelita Nidia Guerra por siempre impulsarme a ser mejor, por inspirarme y traerme hasta donde estoy, esto es más de ustedes que mío. A mis abuelitos Nelly y Libardo que me iluminan desde el cielo, elevo hasta ustedes esta inmensa alegría.

A mi mejor amigo, Miguel Lesmes que estando a más de 8000 km de distancia nunca me ha dejado sola y ha estado para mí en las buenas y en las malas. A Jessi, Lina Meyer, María Paula Espinosa y Johana Palencia por sus consejos, su dulzura y su gran amistad.

Por último, a mis amigas Sharon Marcelo, Nathalia Aguirre, Lina Castro, Laura Morales y Valentina Cubides, porque sin ustedes todos los momentos vividos no hubiesen sido tan bonitos, divertidos y fructíferos, siempre las llevaré en mi corazón.

LAURA JULIANA LEAL LUGO

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Fundación Universidad de América por brindarnos su confianza, y conocimiento para formarnos como ingenieras químicas íntegras, a los directivos por apoyarnos constantemente en nuestro aprendizaje y crecimiento profesional y personal.

También queremos agradecer a Guillermo Flórez por brindarnos las herramientas para llevar a cabo este proyecto y por abrirnos las puertas de la finca El Valle depositando su confianza y respaldo en nosotras.

Así mismo, agradecemos a la ingeniera Melissa Lis Gutiérrez, quien fue nuestra directora durante el proyecto, además de ser una gran ingeniera fue un gran apoyo en los momentos más difíciles brindándonos ideas constructivas para lograr la culminación del mismo.

Adicionalmente, agradecemos a Aurelio Leal, quien nos incentivó y colaboró con la construcción de los biorreactores, además, compartió su experiencia y conocimiento guiándonos para obtener mejores resultados en el desarrollo del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	21
OBJETIVOS	22
1. MARCO TEÓRICO	23
1.1 ABONOS ORGÁNICOS	23
1.1.1 Abonos orgánicos sólidos	24
1.1.2 Abonos orgánicos líquidos	26
1.2 BIORREACTORES	29
1.2.1 Modo de operación	30
1.2.1.1 Discontinuo (Batch o por lotes)	30
1.2.1.2 Semicontinuo (fed-batch)	31
1.2.1.3 Continuo	33
1.3 FERMENTACIÓN	34
1.3.1 Etapas de fermentación	34
1.3.1.1 Hidrólisis	35
1.3.1.2 Acidogénesis	35
1.3.1.3 Acetogénesis	36
1.3.2 Mecanismos de fermentación	37
1.3.2.1 Mecanismo de fermentación anaerobia	38
1.3.2.2 Mecanismo de fermentación aerobia.	39
1.3.3 Características y parámetros del proceso de fermentación	39
1.3.3.1 Sustrato	40
1.3.3.2 Agitación	40
1.3.3.3 Temperatura	42
1.3.3.4 pH.	43
1.3.3.5 Tiempo de retención	44
1.3.3.6 Humedad	45
1.3.3.7 Carbono Orgánico Oxidable (COOx).	46
1.3.3.8. Nitrógeno Total.	48
1.3.3.9 Relación C/N	49
1.3.3.10 Conductividad eléctrica (CE)	49
1.3.3.11 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	50
1.3.3.12 Densidad Real	52
1.4 REGLAMENTACIÓN PARA FERTILIZANTES O ABONOS EN COLOMBIA	53
1.4.1 Resolución 000698 del 4 de febrero de 2011	53
1.4.2 Resolución 00150 del 21 de enero de 2003	54
1.4.3 Resolución 187 del 31 de julio de 2006	54
2. SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN	55
2.1 GENERALIDADES DE LA FINCA	55

2.2 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA	56
2.3 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS	62
2.3.1 SELECCIÓN TIPO DE ABONO	62
2.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL	65
2.4.1 Construcción de biorreactores	65
2.4.2 Metodología para la producción del abono orgánico sólido	68
2.4.2.1 Composición del material orgánico en el proceso de obtención de abono orgánico sólido	68
2.4.2.2 Producción de abono orgánico sólido	80
2.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS	85
2.5.1 Abonos orgánicos obtenidos en el proceso experimental	86
2.5.2 Selección del abono orgánico sólido a partir del desarrollo experimental	90
3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	91
3.1 DIMENSIÓN DE LOS BIOREACTORES	91
3.1.1 Equipos y accesorios para la producción de bioabono sólido.	94
3.2 SISTEMA DE AGITACIÓN	95
3.3 MEDIDORES Y RECOMENDACIONES DE TEMPERATURA Y pH	96
3.3.1 Temperatura	96
3.3.2 pH	96
4. ANÁLISIS FINANCIERO	98
4.1 COSTOS OPERACIONALES ACTUALES	98
4.2 COSTO DE INVERSIÓN	99
4.2.1 Costos directos	101
4.2.2 Costos indirectos	101
4.3 COSTOS DE OPERACIÓN PARA EL PROYECTO	101
4.4 COSTO- BENEFICIO	102
5. CONCLUSIONES	104
RECOMENDACIONES	105
BIBLIOGRAFIA	106
ANEXOS	115

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. EM-1	116
Anexo B. Melaza	117
Anexo C. Caracterización de materiales orgánicos sólidos	118
Anexo D. Medidor de pH	120

LISTA DE CUADROS

	pág
Cuadro 1. Clasificación de abonos orgánicos	23
Cuadro 2. Composiciones en N, P ₂ O ₅ y K ₂ O en estiércoles de algunos animales domésticos	24
Cuadro 3. Composición bioquímica del estiércol	27
Cuadro 4. (Continuación)	28
Cuadro 5. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica	43
Cuadro 6. Rango de pH en el proceso de digestión anaerobia para la producción de bioabono	44
Cuadro 7. Tiempo de retención de estiércol de ganado en distintas regiones	45
Cuadro 8. Características para abonos y fertilizantes orgánicos	53
Cuadro 9. Características tanque estercolero y EM-1	58
Cuadro 10. Características desarenador y EM-1	59
Cuadro 11. Características Tanque estercolero, melaza, ceniza y EM-1	59
Cuadro 12. (Continuación)	60
Cuadro 13. Características Desarenador, melaza, ceniza y EM-1	60
Cuadro 14. Parámetros del proceso experimental	62
Cuadro 15. Ventajas y desventajas de los abonos orgánicos líquidos	63
Cuadro 16. Ventajas y desventajas de abono orgánico sólido	64
Cuadro 17. Construcción de biorreactores	66
Cuadro 18. (Continuación)	67
Cuadro 19. Equipos	71
Cuadro 20. Datos de flujos masicos (Kg/día) y temperaturas por corriente para la producción de abono orgánico biorreactor 1	72
Cuadro 21. Equipos	74
Cuadro 22. Datos de flujos masicos y temperaturas por corriente para la producción de abono orgánico del biorreactor 2	75
Cuadro 23. Equipos	77
Cuadro 24. Datos de flujos masicos y temperaturas por corriente para la producción de abono orgánico del biorreactor 3	77
Cuadro 25. Equipos	79
Cuadro 26. Datos de flujos másicos y temperaturas por corriente para la producción de abono orgánico biorreactor 4	80
Cuadro 27. pH día 7 en el proceso de obtención de bioabono sólido	83
Cuadro 28. pH día 14 en el proceso de obtención de abono sólido	84
Cuadro 29. Parámetros del proceso experimental	84
Cuadro 30. Características abono orgánico sólido biorreactor 1	86
Cuadro 31. (Continuación)	86
Cuadro 32. Características abono orgánico sólido biorreactor 2	87
Cuadro 33. Características abono orgánico sólido biorreactor 3	87
Cuadro 34. Características abono orgánico sólido biorreactor 4	88
Cuadro 35. Selección de abono orgánico	90

Cuadro 36. Volumen del material orgánico sin adición de sustratos	92
Cuadro 37. Volumen del material orgánico con adición de sustratos	92
Cuadro 38. Diagrama de Gramm de la producción de bioabono en la finca El Valle	93
Cuadro 39. Tuberías y accesorios para la producción de bioabono	94
Cuadro 40. Costos operacionales actuales	99
Cuadro 41. Costos materiales para la construcción de los biorreactores	100
Cuadro 42. Costos materiales para la construcción del cubrimiento	100
Cuadro 43. Costos directos	101
Cuadro 44. Costos operacionales mensuales y anuales	102
Cuadro 45. Flujos precios constantes	103
Cuadro 46. Ficha Técnica EM-1	116
Cuadro 47. Ficha Técnica Melaza	117
Cuadro 48. Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos	119
Cuadro 49. Medidor de pH	120

LISTA DE ECUACIONES

	pág
Ecuación 1. Acetogénesis	36
Ecuación 2. Fermentación del ácido acético.	37
Ecuación 3. Producción de metano.	37
Ecuación 4. Porcentaje de humedad.	46
Ecuación 5. Reacción método de Walkley & Black.	47
Ecuación 6. Carbono Orgánico Oxidable.	47
Ecuación 7. Factor de corrección de humedad.	48
Ecuación 8. Nitrógeno Total.	49
Ecuación 9. Equivalente.	52
Ecuación 10. Capacidad de Intercambio Catiónico.	52
Ecuación 11. Densidad Real.	52
Ecuación 12. Volumen del sustrato	92
Ecuación 13. TIO	103

LISTA DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Proceso de lotes	30
Figura 2. Reactor discontinuo	30
Figura 3. Proceso semicontinuo	31
Figura 4. Esquema biorreactor hindú	32
Figura 5. Esquema biorreactor chino	32
Figura 6. Proceso continuo	33
Figura 7. Esquema de un biodigestor continuo	33
Figura 8. Mecanismo de transformación de la biomasa	35
Figura 9. Tipos de agitadores de hélice	41
Figura 10. Tipos agitadores de paleta	41
Figura 11. Tipos de turbina	42
Figura 12. Horno PID autocontrol	45
Figura 13. Espectrofotómetro	47
Figura 14. Scrubber.	48
Figura 15. Conductímetro	50
Figura 16. Ubicación Finca El Valle	55
Figura 17. Desarenador	56
Figura 18. Tanque estercolero	56
Figura 19. Prueba de biorreactores	67
Figura 20. Diagrama de proceso para el biorreactor 1	70
Figura 21. Diagrama PFD producción abono orgánico biorreactor 1	71
Figura 22. Diagrama de proceso para el biorreactor 2	73
Figura 23. Diagrama PFD producción abono orgánico biorreactor 2	74
Figura 24. Diagrama de proceso para el biorreactor 3	76
Figura 25. Diagrama PFD producción abono orgánico biorreactor 3	77
Figura 26. Diagrama de proceso para el biorreactor 4	78
Figura 27. Diagrama PFD producción abono orgánico biorreactor 4	79
Figura 28. Ciclo larvario	81
Figura 29. Fermentación biorreactor 1	81
Figura 30. Fermentación biorreactor 2	81
Figura 31. Fermentación biorreactor 4	82
Figura 32. Fermentación biorreactor 3	82
Figura 33. pH día siete, biorreactor 2	82
Figura 34. pH día siete, biorreactores 1	82
Figura 35. pH día siete, biorreactor 3	82
Figura 36. pH día siete, biorreactor 4	82
Figura 37. pH día 14 biorreactor 1	83
Figura 38. pH día 14 biorreactor 2	83
Figura 39. pH día 14 biorreactor 4	83
Figura 40. pH día 14 biorreactor 3	83
Figura 41. Abono orgánico sólido	84
Figura 42. Dimensiones de tanques de biorreactores	93

Figura 43. Funcionamiento de los biorreactores para la producción de abono orgánico sólido	94
Figura 44. Agitador de paletas cruzadas	95
Figura 45. Termómetro de vidrio	96
Figura 46. Presentación de las muestras analizadas	118

LISTA DE GRAFICAS

	pág
Gráfica 1. Dependencia de pH en la etapa de metanogénesis.	43
Gráfica 2. Nitrógeno Total vs. Tiempo	89

LISTADO DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Contenido de nutrientes en el bocashi.	25
Tabla 2. Composición de la Lombricomposta.	26
Tabla 3. Composición Té de compost.	27
Tabla 4. Composición de diferentes tés y lixiviados de fermentos.	29
Tabla 5. CIC de algunos componentes y tipos de suelo.	51
Tabla 6. Composición de la melaza	69
Tabla 7. composición química de las cenizas	69

GLOSARIO

ACTIVIDAD MICROBIANA: proceso que llevan a cabo los microorganismos en el proceso de degradación de la materia prima.

AGUA DURA: agua proveniente de reservorios de la Finca El Valle, ésta contiene alto contenido de minerales (tales como hierro). Esta es utilizada para la alimentación del ganado y para el arrastre del estiércol a las canales que lo llevan al desarenador.

AGUA POTABLE: agua proveniente del Acueducto, utilizada para el consumo humano, además, en la Finca El Valle es usada para la limpieza de ubres, lavado de equipo de ordeño y lavado de tanque de frío.

BIOABONO: insumo que suministra a las plantas y/o al suelo, nutrientes para su beneficio.

BIOMASA: material orgánico conformado por estiércol del ganado lechero, agua de arrastre y residuos del lavado del equipo de ordeño de la Finca El Valle, que será sometido a transformación química, física y biológica para la obtención de un abono orgánico.

BIORREACTOR: recipiente en el que se genera la transformación del material orgánico en condiciones biológicamente activas para la degradación de ésta a partir de procesos químicos con microorganismos, y en algunos procesos, junto con sustancias que hacen más eficaz el proceso de fermentación en un ambiente anaerobio.

DESARENADOR: es un tanque que comunica el canal de residuos en la sala de espera de la sala de ordeño y los equipos de esta actividad y del tanque estercolero. Aquí se sedimentan los sólidos más pesados antes de llegar al tanque estercolero.

DIGESTIÓN ANAEROBIA: proceso de transformación de material orgánico en un ambiente anóxico por medio de funciones que llevan a cabo microorganismos para la obtención de abono orgánico.

ESTIÉRCOL: producto de la digestión del forraje del suelo (pasto), sal mineralizada y agua del ganado bovino.

FERMENTACIÓN: cambios en la composición química del material orgánico por medio de microorganismos que llevan a cabo su transformación para alcanzar características deseadas en el producto.

MICROORGANISMOS: agentes encargados de la degradación y transformación de la biomasa, éstos incluyen a bacterias y hongos.

RUMEN: es un saco anóxico ubicado en el flanco izquierdo de la cavidad abdominal de la vaca, en donde las bacterias convierten los materiales vegetales en ácidos grasos, dióxido de carbono y metano. Los ácidos orgánicos satisfacen las necesidades nutritivas de la vaca y el dióxido de carbono y metano se eliminan como productos residuales.

TANQUE ESTERCOLERO: recipiente de concreto con capacidad de 98 metros cúbicos aproximadamente, donde se genera el abono que se utiliza actualmente en la Finca El Valle.

RESUMEN

El presente proyecto tiene como interés, mejorar el proceso de transformación del material orgánico que se genera en el ordeño y la sala de espera en la Finca el Valle, Subachoque, Cundinamarca y así mismo obtener unas mejores características fisicoquímicas del producto orgánico que se utiliza para el suelo.

Para el desarrollo de este proyecto se realizó un proceso experimental para la obtención de un abono orgánico líquido y sólido, buscando la mejor alternativa, cumpliendo los parámetros establecidos en la NTC 5167 por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).

Inicialmente se realizó una selección de los materiales para el montaje de los biorreactores, la preparación de la mezcla de la alimentación y la adecuación antes, durante y después del proceso.

Los parámetros que se tomaron en cuenta para la adecuación y operación de los biorreactores fueron: Composición de la alimentación, temperatura, agitación y tiempo de retención. A partir de lo anteriormente establecido se realiza la caracterización de la materia prima teniendo en cuenta un análisis químico y físico.

Al culminar el tiempo de retención y fermentación del proceso se realizó una segunda caracterización del producto final para así seleccionar el proceso más adecuado mediante el desarrollo experimental planteado y de acuerdo a la selección de este se plantean las especificaciones técnicas para el implemento del sistema más adecuado (dimensiones de producción, sistema de agitación y medidores de temperatura y pH).

Finalmente, se realizó un análisis financiero de la implementación del proceso de producción del abono orgánico haciendo revisión bibliográfica de los materiales que se requieren para implementar el sistema a escala piloto, así mismo, se solicitaron cotizaciones sobre los costos de los equipos y se tuvo en cuenta la vida útil de cada material. A partir de esto, se realizó un análisis costo-beneficio donde se evidenció que el proyecto es viable.

PALABRAS CLAVE: Abono orgánico, biorreactor, material orgánico, fermentación, pH, estiércol.

INTRODUCCIÓN

Los abonos tienen un gran impacto en el sector agrícola asociado a su uso en el proceso de producción de alimentos con el objeto de suplir las demandas de extracción y adsorción de nutrientes desde el suelo hacia la planta. Los abonos varían dependiendo de su composición y del proceso de fabricación. Dentro de la clasificación más general, se clasifican en químicos los cuales son obtenidos mediante procesos de síntesis química que implican su fabricación y orgánicos que se obtienen de manera natural ya sea mediante explotación minera o a partir de material de origen vegetal y animal. Los abonos de origen orgánico pueden considerarse como una fuente nutricional más económica que promueve el crecimiento de la flora y fauna del suelo, éste es regulado mediante normas implantadas por el ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) en Colombia.¹

Un sistema de fermentación apropiado para la fabricación de un abono orgánico es herramienta clave para proporcionarle características a este producto. Mediante la implementación de un sistema de digestión anaerobia en donde se logre una correcta fermentación y que cumpla con las normas establecidas por el ICA (Resolución 698 de febrero de 2011, resolución 00150 de enero de 2003 y la resolución del Ministerio de Agricultura 0187 de 2006) y el ICONTEC (NTC 5167).

En la Finca el Valle, cuya actividad principal se asocia a la ganadería con propósito lechero, buscan el aprovechamiento de los residuos derivados del sistema productivo, pero allí no hay un buen uso estos, debido a que el material orgánico generado es llevado a un tanque estercolero, el cual se encuentra a la intemperie y no cuenta con un sistema de agitación, en consecuencia a esto, se forma una nata que por gravedad se vierte en el suelo, lo cual ocasiona quemaduras allí por la acidez de este material ya que no tiene un tratamiento previo.

La finalidad de este proyecto es proponer un sistema de fermentación para la producción de bioabono a partir del material orgánico proveniente del desarenador o tanque estercolero, para el aprovechamiento de los residuos generados en la finca El Valle y mejorar las condiciones del suelo.

¹ PRENSA LIBRE. La importancia de los fertilizantes [En línea]. Guatemala, 17 de junio de 2014. [Consultado 20, septiembre, 2018] Disponible en: <https://www.prensalibre.com/vida/fertilizantes-plantas-hojas-abono-0-1158484217/>

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta de producción de bioabono partiendo del estiércol bovino de la finca El Valle, Subachoque, Cundinamarca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las características de la materia prima y los parámetros del proceso.
2. Seleccionar el proceso más adecuado mediante un desarrollo experimental.
3. Establecer especificaciones técnicas para el implemento del sistema más adecuado.
4. Realizar un análisis financiero de la implementación del proceso de producción de bioabono.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 ABONOS ORGÁNICOS

Los abonos orgánicos son materiales líquidos y sólidos producto de la descomposición natural o humificación de residuos provenientes de animales o vegetales, denominados material orgánico a partir de la actividad microbiana en condiciones anaeróbicas y aeróbicas. Se caracterizan por un gran contenido de nutrientes utilizados para enriquecer y mejorar las características bioquímicas, físicas, microbiológicas y químicas del suelo^{2 3}

Los abonos orgánicos se clasifican según el grado de procesamiento y el tipo de material orgánico (residuos vegetales, estiércoles, basuras urbanas o residuos agroindustriales (**cuadro 1**)⁴.

Cuadro 1. Clasificación de abonos orgánicos

Tipo de material orgánico	Grado de procesamiento	
	Sin procesar	Procesado
Sólido	Residuos vegetales (de cosecha, poda o poscosecha)	Compost
	Residuos animales (estiércoles o residuos de mataderos y otros)	Lobricompost
	Coberturas vegetales (abonos verdes y mulch)	Bocashi
Líquido	Efluentes (Pulpa de café, desechos de origen animal y otros)	Biofermentos
		Té de compost
		Té de estiércol
		Extracto de algas

Fuente: DOCPLAYER. Abonos organicos un paso para ir avanzando hacia una agricultura organica rentable y sostenible. Cooperación Austrica para el Desarrollo [En línea]. IPADE, PADESAF, 2009. Disponible en: <https://docplayer.es/12340545-Guia-tecnica-abonos-organicos.html>

² HYDRO ENVIRONMENT. ¿Qué es un fertilizante? [En línea]. Ciudad de México: 2019 [Consultado 20, agosto, 2019]. Disponible: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=249

³ RODRÍGUEZ, I. FERTILIZANTES ORGÁNICOS Y CONVENCIONALES: La combinación perfecta para mejores rendimientos [En línea]. Disponible en: <http://2000agro.com.mx/R/56/files/assets/common/downloads/page0044.pdf>

⁴ DOCPLAYER. Abonos organicos un paso para ir avanzando hacia una agricultura organica rentable y sostenible. Cooperación Austrica para el Desarrollo [En línea]. IPADE, PADESAF, 2009. Disponible en: <https://docplayer.es/12340545-Guia-tecnica-abonos-organicos.html>

1.1.1 Abonos orgánicos sólidos. Se producen al transformar de manera acelerada residuos orgánicos de tipo vegetal y animal en estado fresco o semidescompuesto.

El proceso de fermentación y descomposición se realiza en un ambiente húmedo, caliente y aireado; convirtiendo los materiales en abonos ricos en nutrientes para mejorar el suelo, en un periodo de uno a tres meses.

El estiércol de los animales a través de la historia ha tenido un alto impacto en la fertilidad de los suelos debido a las propiedades y componentes que le ofrece a éste, por esta razón, es una de las materias primas que se utilizan generalmente en la producción de abono orgánico.

Entre los abonos sólidos que se pueden preparar se encuentran:

- **Aboneras simples o compost:** (30 a 90 días). No tiene composición fija para hacerlo, se puede usar todo tipo de material de origen vegetal, aprovechando todos los desechos que se producen en la finca o donde se quiera realizar, lo que resulta económico. Los métodos más comunes de compostaje son: sistemas abiertos o pilas aireadas y lodos activados a partir de residuos vegetales, estiércoles, desechos urbanos y subproductos de la agroindustria.

La composición de diferentes tipos de estiércol favorece la obtención de abonos con diferentes características nutricionales. El **cuadro 2** muestra la composición en términos de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K), las composiciones de N, y óxidos de P y K. Los abonos sólidos presentan aportes positivos al suelo, la aplicación de estos es de gran utilidad para promover el crecimiento de raíces, además favorece el rendimiento por la absorción de nutrientes.

Cuadro 2. Composiciones en N, P₂O₅ y K₂O en estiércoles de algunos animales domésticos

Estiércol de	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg por tonelada de estiércol		
Caballo	6,7	2,3	7,2
Vacuno	3,4	1,3	3,5
Cerdo	4,5	2,0	6,0
Oveja	8,2	2,1	8,4
Gallina	15,0	10,0	4,0

Fuente. CASTRO, H. 2004. Propuesta guía de indicadores analíticos para calificar suelos estables y en proceso de degradación desde el punto de vista físico. En: Memorias Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. CIAT, Palmira, Valle, Colombia. P. 37 – 42.

- **Bocashi (15 a 30 días):** El bocashi se origina a partir de un proceso de descomposición aeróbico fermentativo de materiales de origen vegetal. Su preparación permite el uso de casi cualquier tipo de material orgánico, por ejemplo: tierra de bosque, cascarilla de arroz, semolina, Carbón quebrado fino, ceniza, levadura, guarapo, lactofermento y agua. Este abono presenta altos contenidos de nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y sílice.⁵

Ramos Agüero y Terry Alfonso, muestran el contenido nutricional de diferentes tipos de bocashi (**ver tabla 1**).

Tabla 1. Contenido de nutrientes en el bocashi.

N	P	K (%)	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn (mg kg ⁻¹)	Zn	B
1,60	0,40	2,20	1,00	0,70	15175	32	500	108	ND
1,18	0,70	0,50	2,05	0,21	2304	19	506	61	18
2,18	0,83	0,60	2,41	0,56	3,57 *	71	963	117	ND
2,00	0,19	5,30	0,54	0,15	643	5,70	747	16,8	ND

Fuente: RAMOS AGÜERO, D., TERRY ALFONSO, E. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. La Habana. Vol 35. 2014.

- **Lombricompost o vermicompost:** Abono fabricado por acción de lombrices durante su proceso digestivo. Este tipo de abono es considerado uno de los mejores abonos orgánicos ya que posee un alto contenido de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, elementos esenciales para el desarrollo de las plantas.⁶

Este proceso alternativo de la agricultura sustentable consiste en la degradación de los materiales orgánicos por acción de la lombriz Californiana. La calidad del lombricompost depende de los materiales utilizados, el estiércol de bovino es uno de los mejores materiales para la producción de este abono.⁷

Oliviare-Campos, Hernández-Rodríguez, Vences-Contreras, Jáquez-Balderrama y Ojeda-Barrios, muestran la composición nutricional del lombricompost obtenido a partir de estiércol de ganado vacuno (**ver tabla 2**).

⁵ RAMOS AGÜERO, D., TERRY ALFONSO, E. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. La Habana. Vol 35. 2014.

⁶ OLIVIAIRES-CAMPOS MA, HERNÁNDEZ –RODRÍGUEZ A, VENCES-CONTRERAS C, JÁQUEZ-BALDERRAMA JL, OJEDA-BARRIOS D. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Villahermosa. Universidad y ciencia Vol 28 no 1. 2012.

⁷ ACEVEDO, I., PIRE, R. Caracterización de sustratos hortícolas enmendados con lombricompost. Venezuela. 2007

Tabla 2. Composición de la Lombricomposta.

Característica	Lombricomposta
C (%)	18.57
N-total (%)	2.24
Relación C/N	8.13
N-NO ₃ (mg kg ⁻¹)	532
P (%)	0.12
K (%)	0.79
Ca (%)	1.33
Mg (%)	1.21
Na (%)	0.12
Fe (mg kg ⁻¹)	357.00
Zn (mg kg ⁻¹)	91.00
Mn (mg kg ⁻¹)	196.00
Cu (mg kg ⁻¹)	38.00
pH	6.00

Fuente: Olivares-Campos, Hernández-Rodríguez, Vences-Contreras, Jáquez-Balderrama, Ojeda-Barrios D. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Villahermosa. Universidad y ciencia Vol 28 no 1. 2012.

1.1.2 Abonos orgánicos líquidos. Son productos de la fermentación de materiales orgánicos como lo son el estiércol, leche, suero, frutas, plantas, etc. En este proceso de fermentación dichos materiales son transformados en fuente de minerales, vitaminas, aminoácidos, que además de nutrir las plantas ayudan a restaurar la vida del suelo y da como resultado un fertilizante foliar que contiene hormonas vegetales. Entre los abonos orgánicos líquidos se encuentran:

- **Té de compost:** Extracto soluble en agua de la producción de compost. La finalidad de este abono orgánico líquido es el aumento de la carga microbiana y de nutrientes del compost.⁸

Los organismos aerobios que contiene este lixiviado ayuda al desarrollo y crecimiento de la planta y a la eliminación de los microorganismos perjudiciales para el suelo. Este abono ayuda a la retención de nutrientes en el suelo y

⁸FAO. Manual de compostaje del agricultor. Santiago de Chile, 2013. Pp 72.

contribuye a desarrollar con mayor efectividad la actividad microbiana en el desarrollo y crecimiento de la planta.⁹

Ochoa Martínez, Figueroa, Cano Ríos, entre otros, muestran la tabla composicional de este abono orgánico líquido (**ver tabla 3**),

Tabla 3. Composición Té de compost.

	Composta (% peso seco)	Té de composta (mg·litro ⁻¹)
N	0.97	219
P	0.54	18.2
K	3.59	230
Ca	4.97	1.32
Mg	0.98	520
Fe	0.85	0.49
Mn	0.041	0.089
Zn	0.026	0.19
Cu	0.007	0.13

Fuente: Ochoa Martínez, Figueroa Viramontes, Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculpetum* Mill.) en invernadero. Chapingo. Vol 15. No 3. Septiembre -diciembre, 2009.

El té de compost se debe diferenciar de otros productos lixiviados del compost como el té de estiércol y el extracto de compost:

- **Té de estiércol:** Éste es una gran fuente de nutrientes tales como Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Los elementos solubles dependen de la maduración del abono, por ejemplo, es portador de nitratos si es maduro o de amonio si es estiércol fresco.¹⁰ La composición del té de estiércol se muestra en los **cuadros 3 y 4**.

Cuadro 3. Composición bioquímica del estiércol.

Composición	Valor	Unidades
Sólidos totales	5,6	%
Materia Orgánica	38,0	%
Fibra	20,0	%
Nitrógeno	1,6	%
Fósforo	0,2	%

⁹ Compostadores, Sostenibilidad en estado puro. Té de Compost [En línea]. 2011. Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/la-cosecha-el-compost-casero/153-te-de-compost.html>

¹⁰ FAO. Manual de compostaje del agricultor. Santiago de Chile, 2013. Pp 73.

Cuadro 4. (Continuación)

Composición	Valor	Unidades
Potasio	1,5	%
Calcio	0,2	%
Azufre	0,2	%
Ácido indolácetico	12,0	ng/g
Giberalinas	9,7	ng/g
Tiaminas	9,3	ng/g
Purina	187,5	ng/g
Riboflavina	83,3	ng/g
Ácido nicotínico	14,2	ng/g
Ácido fólico	14,2	ng/g
Cisterna	9,2	ng/g
Triptofano	56,6	ng/g

Fuente: Medina, V, Solari, E. 1990.

- **Biofermentos:** Son producto de la fermentación de materiales orgánicos con gran actividad microbiológica para transformarlos en minerales, vitaminas aminoácidos y ácidos orgánicos que ayudan al desarrollo de la planta.¹¹

A continuación, la **tabla 4** expone la composición de algunos biofermentos según el origen de su especie.

¹¹ MAG. Elaboración de fermentos y su aplicación como abono foliar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2009. Pp 2.

Tabla 4. Composición de diferentes téis y lixiviados de fermentos.

Análisis	Estiércol equino	Estiércol bovino	Estiércol caprino
N%	1,90	2,00	1,43
P%	0,95	1,60	1,51
K%	1,79	1,75	2,22
Ca%	1,40	2,33	2,65
Mg%	0,54	0,75	0,73
S%	0,34	0,37	0,42
Fe (mg kg ⁻¹)	5497	1929	12619
Cu (mg kg ⁻¹)	60	101	82
Zn (mg kg ⁻¹)	345	267	486
Mn (mg kg ⁻¹)	397	314	521
B (mg kg ⁻¹)	20	13	39
pH	8,4	8,9	9,2
Porcentaje de humedad %	80	80	73
Estabilidad (mgCO ₂ g ⁻¹ SV ⁻¹ r ⁻¹)	2,5	4,3	5,3
Bacterias (LogUFC g ⁻¹)	8,8	9,0	8,8
Actinomicetes (LogUFC g ⁻¹)	8,2	6,9	8,7
Hongos (LogUFC g ⁻¹)	4,5	4,1	5,0
Levaduras (LogUFC g ⁻¹)	5,4	5,9	6,1
Lactobacilos (LogUFC g ⁻¹)	7,3	7,2	<4,0

Fuente: Zamora, Castro, Wang, Arauz, Uribe, 2016. Uso potencial de lixiviados y téis de vermicompost en el control del ojo de gallo del cafeto *Mycena citricolor*. Costa Rica. 27 de enero de 2017.

Para la fabricación de diferentes abonos orgánicos pueden construirse algunos equipos que facilitarán el proceso fermentativo. En este apartado se abordará específicamente lo concerniente a biorreactores.

1.2 BIORREACTORES

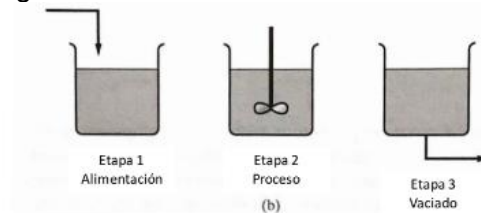
Un biorreactor es un sistema en el cual ocurren procesos químicos y bioquímicos que transforman a la materia prima en un ambiente biológico activo. Este proceso puede ser anaeróbico o aeróbico. El diseño de los biorreactores es una tarea compleja de ingeniería, pues tiene en cuenta aspectos tales como pH, temperatura, presión, entre otros según el proceso de transformación que se llevará a cabo.¹²

¹² UNIVERSIDAD DE VERACRUZ. Bioingeniería. Unidad 2: Biorreactores y su aplicación [En línea]. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Veracruz [Consultado 10, febrero, 2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion>

1.2.1 Modo de operación.

1.2.1.1 Discontinuo (Batch o por lotes). No tiene alimentación durante el proceso, es decir, el biorreactor es alimentado con la cantidad de biomasa antes de iniciar el proceso de transformación al que será sometida ésta, y se deja allí el tiempo que termine dicho proceso como se muestra en la **figura 1**.

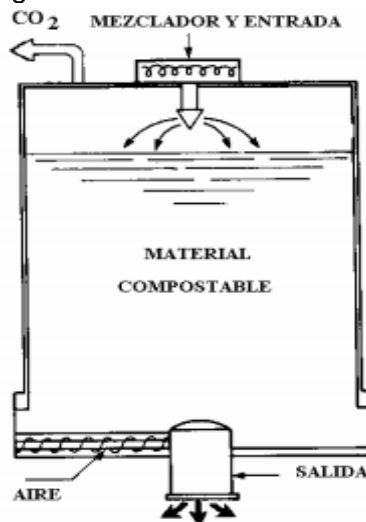
Figura 1. Proceso de lotes



Fuente: JIMENEZ, A. Procesos químicos, 2018.

Una de las ventajas de los reactores Batch, es que, en un solo recipiente, pueden ocurrir diversas funciones o procesos sin necesidad de interrumpir la transformación de la materia prima, son muy útiles en procesos industriales que generan alta contaminación o en el proceso de materiales tóxicos.¹³

Figura 2. Reactor discontinuo



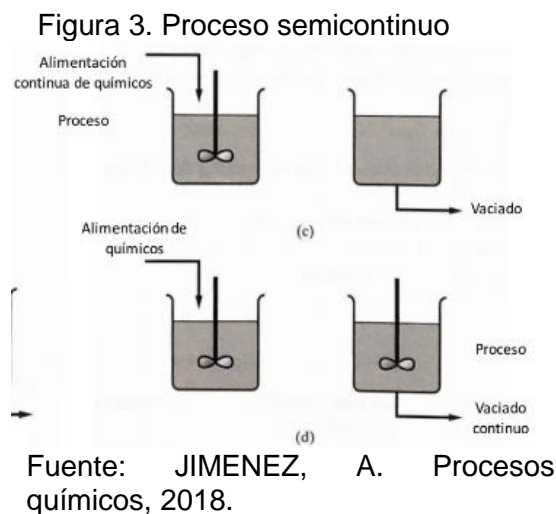
Fuente: NEGRO, M, VILLA, F. Producción y Gestión del Compost. 2001.

¹³ UNIVERSIDAD DE VERACRUZ Bioingeniería: *Reactor tipo Batch* [En línea]. Universidad de Veracruz [Consultado 10, febrero, 2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion/2-1-reactor-tipo-batch>

Este reactor consta de un cilindro cerrado y aislado térmicamente, en la parte de inferior tiene un sistema de aireación y una salida del abono. El material orgánico se alimenta en la parte superior del tanque. El control de aireación depende de la temperatura del sistema y las características de los gases emitidos en el proceso de degradación¹⁴ (ver figura 2).

1.2.1.2 Semicontinuo (fed-batch). En el reactor semicontinuo puede haber dos maneras de llevar a cabo el proceso. Como se muestra en la figura 3 (C), se alimenta el reactor durante el proceso, pero, no hay afluente en el sistema sino hasta concluirlo. Para la figura 3 (D), ni la alimentación, ni la salida del producto en el proceso es continua.

Según sea el objetivo del proceso de transformación, la adición del sustrato al sistema de manera intermitente mejora la productividad de la fermentación con bajas concentraciones de sustrato. Este proceso está restringido por la capacidad del biorreactor.¹⁵



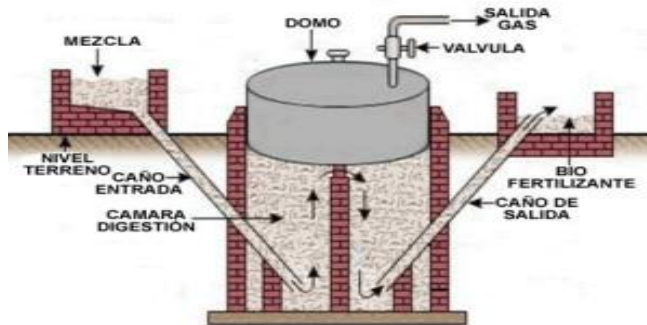
Estos biodigestores son comunes en áreas rurales o para productores agrícolas para uso doméstico, los diseños más comunes que operan de manera semicontinua son del tipo hindú y chino. El tipo hindú está construido de manera vertical y el reactor se encuentra enterrado para poder ser cargado por gravedad¹⁶ (ver figura 4).

¹⁴ NEGRO, M, VILLA, F, AIBAR, J, ALARCÓN, R, CIRIA, P, CRISTÓBAL, M, BENITO, A, GARCÍA, A, GARCÍA, G, LABRADOR, C, LACASTA, C, LEZAÚN, J, MECO, R, PARDO, G, SOLANO, M, TORNER, C, ZARAGOZA, C. Producción y Gestión del Compost. 2001.

¹⁵ Biorreactores: Modo semicontinuo o fed-batch. [En línea]. [Consultado 10, febrero, 2019]. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/1608/Capitulo2.pdf>

¹⁶ Soluciones prácticas ITDG. Ficha Técnica Biodigestores. P.1

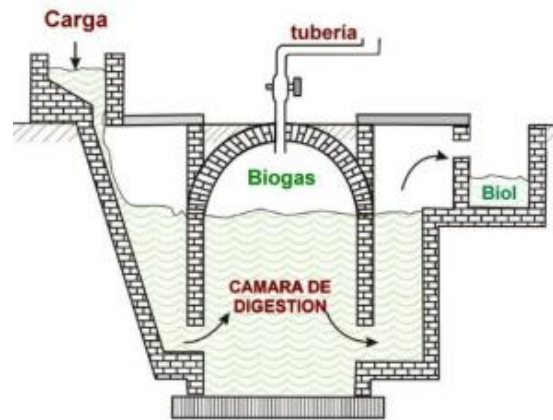
Figura 4. Esquema biorreactor hindú



Fuente: ABOUTESPAÑOL. Tipo de biodigestores y sus diseños. 2016. Recuperado de: <https://www.aboutespanol.com/tipos-de-biodigestores-y-sus-disenos-3417696> el 7 de octubre de 2018.

Por otro lado, el reactor de tipo chino se compone de tanques cilíndricos con una cúpula en la parte superior donde se acumula el gas, la eficiencia de este diseño es baja para la producción de biogás, se recomienda para la producción de abono¹⁷ (ver figura 5).

Figura 5. Esquema biorreactor chino

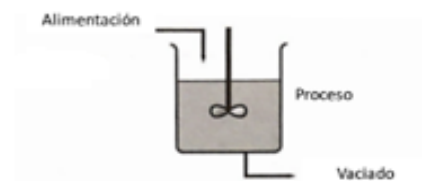


Fuente: WORDPRESS. Energía casera. 2009. [Blog]. [Consulta: el 23 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://energiacasera.wordpress.com/2009/09/17/clasificacion-de-biodigestores/>

¹⁷ A. YAGUAL. Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio prototipo de bajo costo, Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Quito. Universidad San Francisco de Quito. 2015. p43

1.2.1.3 Continuo. En este proceso, se alimenta el reactor con la materia orgánica en estudio y se drena el producto de transformación de ésta simultáneamente (**ver figura 6**). Los biorreactores que operan de modo continuo son el CSTR (de sus siglas en inglés, Tanque Completamente Agitado), y PFR (de sus siglas en inglés, Tubo Con Flujo Tapón).

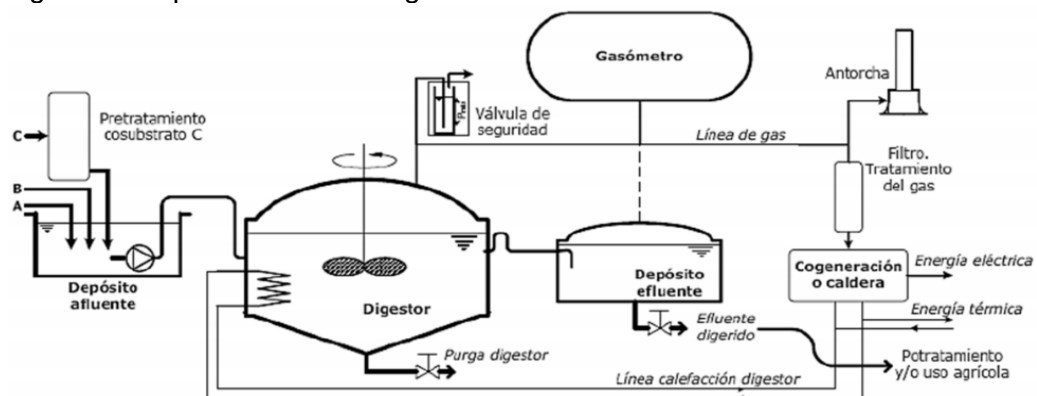
Figura 6. Proceso continuo



Fuente. JIMENEZ, A. Procesos químicos, 2019.

Estos reactores son utilizados comúnmente en el tratamiento de aguas residuales debido a su alto grado de tecnología, control e instrumentación. Su desventaja radica en la complejidad del manejo de sustratos¹⁸ (**ver figura 7**).

Figura 7. Esquema de un biodigestor continuo



Fuente. AGROWASTE. Digestión Anaerobia. España. 2013. p2

Para la producción del abono orgánico es preciso conocer el proceso de fermentación, los mecanismos y los parámetros que influyen en éste, que se lleva a cabo en un biorreactor. A continuación, se abordarán los procesos y métodos de fermentación.

¹⁸ JARAMILLO, M, TAMAYO, D. Evaluación de la Producción de Biogás a partir de Lodos Residuales Recolectados de una PTAR, en un Reactor de la Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. 2019. P 29, 30.

1.3 FERMENTACIÓN

Es la degradación de la biomasa a partir de etapas biológicas que conllevan a su transformación. La mayoría de los procesos de fermentación ocurren de manera anaeróbica. En este proceso el compuesto final que recibe los electrones de NADH (dinucleótido de nicotinamida adenina) que se produce en el proceso de la glucólisis, no es el oxígeno sino un compuesto orgánico, éste se reduce hasta lograr oxidar el NADH a NAD⁺.¹⁹

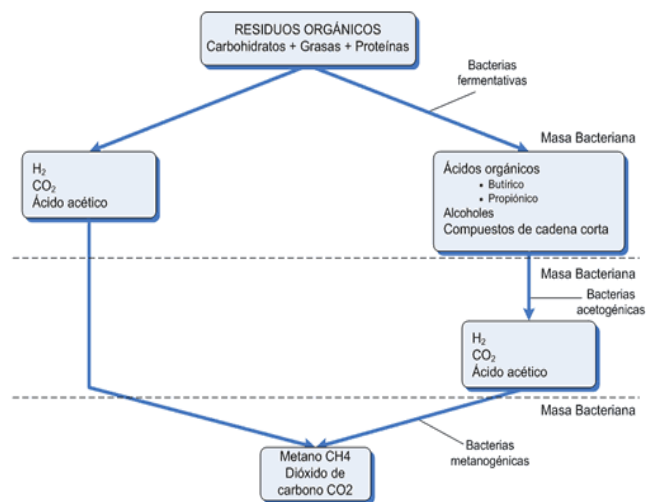
Los animales rumiantes no poseen enzimas que ayuden a la digestión de la celulosa, pectina o hemicelulosa, bacterias, hongos y protozoarios (celulolíticos, hemicelulíticos, pectinolíticos, aminolíticos, ureolíticos, etc), ayudan a fermentar el alimento, y así generar el suplemento nutritivo para el animal. Las bacterias se encargan de transformar los tejidos vegetales en ácidos grasos, dióxido de carbono y metano, los últimos dos compuestos, son expulsados como producto residual al medio ambiente debido a que no genera ninguna importancia nutricional; los ácidos grasos orgánicos de bajo peso molecular, principalmente el acetato, son los que aportan a la nutrición la vaca. La temperatura óptima en la digestión del rumiante para los microorganismos encargados de transformar la alimentación es de 30 a 40°C y el pH varía entre 5,5 y 7,0.²⁰

1.3.1 Etapas de fermentación. El proceso de fermentación para este proyecto se asemeja al mecanismo que llevan a cabo los animales rumiantes anteriormente descrito (**ver figura 8**), a continuación, se definirán las cuatro etapas que se llevan a cabo en la transformación de la biomasa en los reactores.

¹⁹ Biología 4, 10mo grado, Enseñanza preuniversitaria. Editorial Pueblo y Educación. 2005.

²⁰ EL RUMEN [En línea]. [Consultado 26, marzo, 2019]. Disponible en:
<http://www.ugr.es/~cjl/rumen.pdf>

Figura 8. Mecanismo de transformación de la biomasa



Fuente. Textos científicos. Fermentación anaeróbica, Fase de acidificación [En línea]. Textos Científicos, 27 de noviembre de 2005. [Consultado 30, marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>

1.3.1.1 Hidrólisis. En la primera etapa de la fermentación de la biomasa se descomponen las cadenas largas de la materia orgánica para poder obtener productos intermedios. Esto se lleva a cabo gracias a las bacterias hidrolíticas presentes en el rumen mediante la hidrolización de las moléculas solubles en agua (grasas, proteínas, carbohidratos) transformándolas en polímeros simples. En la etapa de la hidrólisis ya hay producción de CO₂ en el proceso.

El rango óptimo de pH en la hidrólisis está entre 5,3 y 6,7.²¹

1.3.1.2 Acidogénesis. Los productos sintetizados en la etapa de hidrólisis, se convierten en ácido acético, hidrógeno y dióxido de hidrógeno. Así como en la anterior, aquí también actúan las bacterias hidrolíticas, sin embargo, aquí también actúan las acidogénicas y acetogénicas las cuales hidrolizan y fermentan las cadenas más complejas y largas de la biomasa en ácidos orgánicos simples, principalmente el acético, tal y como se describió el proceso de digestión de los animales rumiantes anteriormente mencionado.

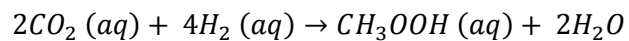
²¹ AQUALIMPIA. Fases de la digestión anaeróbica. Aqualimpia [En línea]. 8 de agosto de 2017. [Consultado 30, marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>

El valor óptimo de pH en esta etapa de transformación de la materia orgánica oscila entre 5,5 y 6,7 tal y como la etapa anterior.²² En esta etapa se forman los gases de sulfuro de hidrógeno H₂S, CO₂ y amoníaco (NH₃).

1.3.1.3 Acetogénesis. Los procesos metabólicos se aceleran con transformación enzimática o hidrólisis de lípidos, polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos, en otros compuestos que se usan como fuentes de energía. Allí los ácidos grasos volátiles se convierten en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno. El ácido acético es producido por dos mecanismos diferentes:²³

Acetogénesis por hidrogenación, en la cual se produce acetato (CH₃ COO⁻) como producto final de la reducción de dióxido de carbono (CO₂) e hidrogeno (H) (**ver ecuación 1**).

Ecuación 1. Acetogénesis



Fuente: Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Constanza Corrales, L., Antolínez Romero, DM. 26 de octubre de 2015. En línea: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>

Y acetogénesis por deshidrogenación en donde las bacterias son inhibidas por pocas cantidades de oxígeno (O₂) y por lo tanto solo sobreviven en asociaciones con microorganismos que consumen hidrogeno como las bacterias homoacetogénicas (fermentación láctica) y bacterias sulfato reductoras.

El proceso de transformación de biomasa en la etapa de acetogénesis es la que más tiempo lleva, debido a la complejidad de reacciones y necesidades energéticas de la población microbiana. Se puede interrumpir fácilmente debido a la acumulación de hidrógeno disuelto en el medio acuoso.²⁴

1.3.1.4 Metanogenesis. A partir de ácido acético producido en las etapas de acidogénesis y principalmente en la de acetogénesis o mezclas de hidrógeno

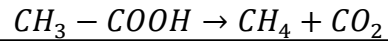
²² Tomado de: Fermentación anaeróbica, Fase de acidificación [En línea]. Textos Científicos, 27 de noviembre de 2005. [Consultado 30, marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>

²³ Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Lucía Constanza Corrales MS, Diana Marcela Antolínez Romero, Johanna Azucena Bohórquez Macías, Aura Marcela Corredor Vargas. 26 de octubre de 2015. En línea: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>

²⁴ VARNERO MORENO. MT. Op. Cit., p 35-44.

dimolecular y CO₂ principalmente, se produce el metano (CH₄).²⁵ La reacción de fermentación del ácido acético se muestra a continuación en la **ecuación 2**.

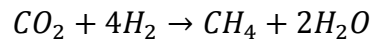
Ecuación 2. Fermentación del ácido acético.



Fuente: ACOSTA LORENZA, Y., OBAYA ABREU, MC. La Digestión Anaerobia. Aspectos técnicos Parte I. La Habana, Cuba. 2005. p 35.

En este proceso, los minerales presentes en la biomasa (oxígeno, hierro, sulfato, nitrato y manganeso) se reducen y a su vez, se acumulan las emisiones de H₂ y dióxido de carbono. En la metanogénesis, las bacterias metanogénicas utilizan el dióxido de carbono como aceptor de electrones para la producción de metano llevando a cabo la siguiente reacción (**ver ecuación 3**)

Ecuación 3. Producción de metano.



Fuente: ACOSTA LORENZA, Y., OBAYA ABREU, MC. La Digestión Anaerobia. Aspectos técnicos Parte I. La Habana, Cuba. 2005. p 35.

Los ácidos orgánicos también son transformados en metano y dióxido de carbono mediante la acción de las bacterias metanogénicas estrictamente anaeróbicas. En esta última etapa se produce cerca del 90% de metano en el proceso de fermentación. El pH óptimo en esta etapa está entre 6,8 y 7,5.²⁶

1.3.2 Mecanismos de fermentación. A continuación, se describen los mecanismos de fermentación anaerobia y aerobia.

²⁵ ACOSTA LORENZA, Y., OBAYA ABREU, MC. La Digestión Anaerobia. Aspectos técnicos Parte I. La Habana, Cuba. 2005. p 35.

²⁶ UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Energías y Medio Ambiente [En línea], Universidad de Salamanca, pág 44 [Consultado 3, abril, 2019]. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=h_ujoW5p4v4C&pg=PA44&lpg=PA44&dq=proceso+de+acetogenesis&source=bl&ots=zT4hFMBDOS&sig=ACfU3U2-raUK7M8ay2yVt6J7SYi1UPJ6pw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjLwLeYnJjkAhUS11kKHVX6AmA4ChDoATAKeQICRAB#v=onepage&q=acetogenesis&f=false

1.3.1.1 Mecanismo de fermentación anaerobia. El proceso de fermentación anaerobia se produce en cinco fases desde las primeras descomposiciones microbianas de la materia orgánica hasta la estabilización del producto. Dichas fases se describen a continuación:²⁷

➤ **Fase uno (Ajuste inicial).** La descomposición microbiana de los residuos sólidos orgánicos se realiza bajo condiciones aerobias, mientras se ejecutan las operaciones necesarias para introducir la materia orgánica en un medio en condiciones anaeróbicas (biodigestores, túneles de fermentación, vertedero, etc.)

➤ **Fase dos.** Descenso paulatino de las condiciones aerobias, hasta su completa desaparición y así comenzar la etapa anaeróbica. El oxígeno desaparece del metabolismo respiratorio y es reemplazado por compuestos oxidados, como el nitrito y sulfito que son sometidos a un potencial de oxidorreducción.

➤ **Fase tres (Ácida).** Acelera la actividad microbiana iniciada en la segunda fase con la producción de ácidos orgánicos y pequeñas cantidades de gas de hidrogeno. Lo que más caracteriza a esta fase ácida son la generación de diversos compuestos gaseosos, principalmente dióxido de carbono y de gas de hidrogeno, el pH de la fase líquida del medio (si existe) caerá hasta un valor de 5 o menos por la presencia de ácidos orgánicos y elevadas concentraciones de dióxido de carbono y además se disuelven los constituyentes inorgánicos como metales pesados debido a los valores del pH.

➤ **Fase cuatro (fermentación del metano).** Es dominada por microorganismos que se generan al final de la fase ácida, estrictamente metanogénicos que se caracterizan por la conversión del ácido acético y el gas de hidrogeno.

Gracias a la transformación de los ácidos y el gas de hidrogeno en metano y dióxido de carbono en metano y dióxido de carbono, el pH de la fase líquida sube a valores más neutros (6.8 – 8), con este incremento de pH se genera una disminución de concentración de constituyentes inorgánicos en la disolución y la concentración de metales pesados presentes en el líquido también se reducirán.

➤ **Fase cinco (maduración).** Se caracteriza por la disminución de la humedad y la conversión del material biodegradable.

La duración del proceso de fermentación anaeróbica varía según la distribución de los componentes orgánicos, la disponibilidad de nutrientes, el contenido de humedad, el grado de humedad del medio y el grado de compactación inicial.

²⁷ AMBIETUM. Mecanismos fermentación anaeróbica [En línea]. [Consultado 3, abril, 2019].

Disponible en:

https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/mecanismos_fermentacion_anaerobia.asp

1.3.2.2 Mecanismo de fermentación aerobia. Consiste en la asimilación de la materia orgánica por microorganismos en presencia de oxígeno y nutrientes, a diferencia del mecanismo de fermentación anaeróbica, la fermentación aeróbica se da en tres fases secuenciales:²⁸

➤ **Fase mesófila.** Se caracteriza por una reacción de síntesis que consiste en la asimilación de elementos nutritivos de materia orgánica a los microorganismos, utilizando una parte de los compuestos orgánicos como fuente de energía y otra para formar una nueva masa de microorganismos.

En este proceso se produce un aumento de la temperatura que puede llegar a alcanzar un pico de 75°C. Este aumento representa la retención de calor producido por la explosión del crecimiento microbiano que degrada los sustratos simples contenidos en la materia orgánica.

➤ **Fase termófila.** En esta fase se producen reacciones de autooxidación del microorganismo cuando falta materia orgánica usada como alimento en la fase mesófila. En el desarrollo se liberan nutrientes que se usan previamente en la síntesis de células nuevas.

En el proceso de asimilación una fracción de microorganismo es transformada en agua y dióxido de carbono, de tal manera que la masa orgánica disminuye.

Este proceso comienza por encima de 40°C lo cual provoca una disminución de crecimiento de la microflora mesófila. Partiendo de estas condiciones, se genera una nueva explosión de actividad por parte de microorganismos termófilos contenidos en la materia orgánica, que conllevan el proceso a condiciones mesófilas hasta la metabolización completa de los sustratos simples quedando los materiales más resistentes degradándose lentamente.

➤ **Fase de enfriamiento y maduración.** Mientras se reduzca la actividad microbiana se pierde más calor del sistema del que se genera. La materia se enfría, llegando a la estabilización del mismo.

En el proceso de fermentación aerobia existen zonas interiores donde hay menor presencia de oxígeno lo cual quiere decir que hay menor actividad microbiana de carácter aerobio, por lo tanto, debe tener un correcto volteo de pila para mejor resultado.

1.3.2 Características y parámetros del proceso de fermentación. Hay un gran número de factores que influyen en la fermentación de los materiales orgánicos, a continuación, se describen algunos de ellos.

²⁸ ESTRUCPLAN. Mecanismos fermentación aerobia [En línea]. Anónimo [Consultado 10, abril, 2019]. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/articulos/mecanismos-de-la-fermentacion-aerobia/>

1.3.3.1 Sustrato. El material orgánico que llevará acabo su transformación en el reactor mediante procesos bioquímicos y químicos en éste. El sustrato que se alimenta en los reactores proporciona la fauna microbiana que se requiere para llevar a cabo las cuatro etapas de digestión anaerobia y a su vez, proporcionarles la energía que requieren para la producción del bioabono.²⁹

1.3.3.2 Agitación. Consiste en buscar la homogeneidad en el proceso anóxico para mejorar la producción de ácidos orgánicos y alcoholes a partir de la degradación del material orgánico mediante actividad microbiana. Ligado a esto, está el factor de aireación del sistema, donde, al abrir el sistema, ingresan pequeñas cantidades de oxígeno que requieren algunos microorganismos facultativos del estiércol involucrados en el sistema.³⁰

En los procesos químicos y biológicos es muy importante una buena agitación debido a que genera una eficiente distribución de reactivos, de temperatura y distribución de oxígeno. La producción de abono orgánico depende del grado de agitación ya que favorece a la reacción.

Este parámetro tiene algunos beneficios como que mejora la disponibilidad de nutrientes en el medio de producción, disminuye el efecto de la concentración de reactivos y productos sobre el metabolismo de MO al evitar zonas de concentración y mejora la transferencia de calor proporcionando una temperatura homogénea en todo el biorreactor.³¹

Existen diferentes equipos de agitación, a continuación, se expondrán algunos:³²

➤ **Agitadores de hélice.** Es de flujo axial que opera a velocidad elevada. Los agitadores pequeños giran a velocidades entre 1150 a 1750 rpm, las mayores giran entre 400 y 800 rpm. Las corrientes de flujo que parten del agitador se mueven a través del material en una dirección determinada hasta que se desvían por el fondo a las paredes de tanque. Las palas de la hélice cortan o

²⁹ JARAMILLO GUTIERREZ, M, TAMAYO MATEUS, D, Evaluación de Producción de Biogás a partir de Lodos Residuales Recolectados de una PTAR, en un Reactor de la Pontificia Universidad Javeriana: *FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA*. 2019.

³⁰ MEDRANO ROLDAN, H., Estudio sobre los Parámetros de Fermentación de importancia Industrial Durante la Propagación de *Bacillus thuringiensis* var. *Kumanotoensis*: *El Papel del Mezclado en un Reactor Biológico* [En línea]. Monterrey, octubre 1992. Pág 30-32. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/5718/1/1020066520.PDF>

³¹ Universidad abierta y a distancia de México. OPERACIONES UNITARIAS II. Agitación y mezclado. En línea: https://issuu.com/jazinaruizhernandez/docs/unidad_1.agitaci_n_y_mezclado_2004

³² Universidad de San Carlos de Guatemala. DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO. Padilla Velásquez, Brenda Lucia. Septiembre de 2013. En línea: <https://docplayer.es/54001928-Universidad-de-san-carlos-de-guatemala-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-quimica.html>

friccionan el material. Este agitador es eficiente para tanques de gran tamaño. El diámetro este pocas veces es mayor de 45 cm independientemente del tamaño del tanque. En tanques altos se puede disponer de dos o más hélices sobre el mismo eje, las cuales mueven el material en la misma dirección.

La **figura 9** expone diferentes tipos de agitadores de hélice.

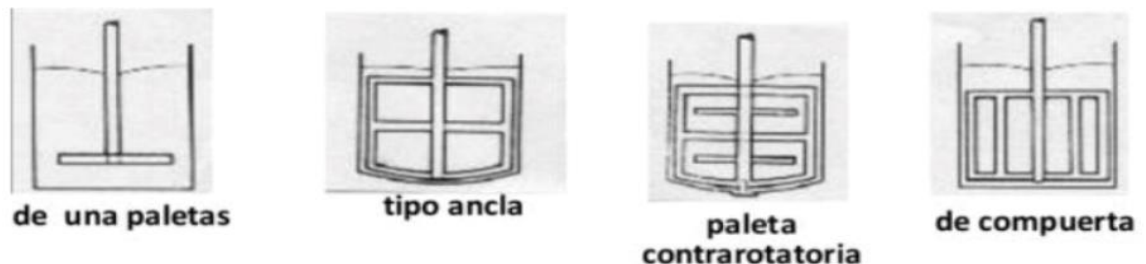
Figura 9. Tipos de agitadores de hélice.



Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO. Padilla Velásquez, Brenda Lucia. Septiembre de 2013.

➤ **Agitadores de paletas.** Son formados por una o varias paletas. Un agitador eficaz se forma por una paleta plana que gira sobre el eje vertical para problemas sencillos. Usualmente las paletas están en posición vertical, pueden girar a velocidades bajas o moderadas en el centro del tanque que gira a velocidades de 20 a 150 rpm, impulsando el fluido de manera radial (flujos paralelos al eje) y tangencial, las corrientes del material se dirigen hacia la pared del tanque y después se siguen hacia arriba o abajo (**ver figura 10**), en tanque altos se utilizan varias paletas unas sobre otras acopladas en el mismo eje

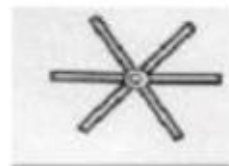
Figura 10. Tipos agitadores de paleta.



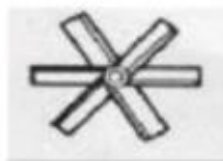
Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO. Padilla Velásquez, Brenda Lucia. Septiembre de 2013.

➤ **Agitadores de turbina.** Se compone de un impulso con más de cuatro hojas fijas en el eje rotatorio. Son más pequeños que los de palas y giran a velocidades de 30 a 500 rpm. El eje debe estar ubicado en el centro del tanque, producen corrientes radiales y rotatorias. El diámetro del rodete esta entre 30 a 50% del diámetro del tanque. Los agitadores de turbina son eficaces para un amplio Interval de viscosidades, las principales corrientes son radiales y tangenciales. Las tangenciales dan lugar a vórtices y torbellinos que se deben evitar con placas deflectoras o un anillo difusor con el fin de que el rodete sea más eficaz (ver figura 11).

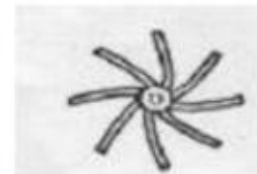
Figura 11. Tipos de turbina



turbina simple de pala recta



turbina de pala inclinada



turbina de pala cóncava

Fuente: Universidad de San Carlos de Guatemala. DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO. Padilla Velásquez, Brenda Lucia. Septiembre de 2013.

1.3.3.3 Temperatura. Este parámetro es uno de los que tiene mayor relevancia en el proceso debido a que ésta determina las zonas en que el proceso puede llevarse a cabo y cuáles son los valores temperatura que favorecen la fermentación de la biomasa para la obtención de bioabono. La temperatura también es un factor que ayuda a aumentar la eficiencia de un proceso.³³

La temperatura es uno de los factores que determina el tiempo de retención de la digestión y degradación de la biomasa. Dentro del tratamiento anaerobio se pueden determinar tres rangos de temperatura:

a) Digestión Psicrófila: Donde la temperatura óptima de trabajo es de 15 a 18°C, sus estructuras son simples y de baja inversión.

b) Digestión Mesófila: El proceso de transformación de la materia prima es más lenta que con la digestión termófila, además consume menos energía. Su rango de temperatura óptima es de 34 a 38°C.

³³ CARTILLA PRÁCTICA PARA LA ELABORACIÓN DE BIOABONO ORGÁNICO COMPOSTADO EN PRODUCCIÓN ECOLÓGICA, ICA, pág 13-14, 2015.

c) Digestión Termofílica: Esta digestión es la más veloz entre los tres procesos referentes a la temperatura en el proceso de fermentación, se tiene un alto rendimiento de efluente y de emisión de gas metano, y corto tiempo de retención en el reactor.³⁴

En el **cuadro 5**, se muestran los diferentes rangos para cada proceso de digestión teniendo en cuenta el parámetro de temperatura del proceso de fermentación anaerobia:

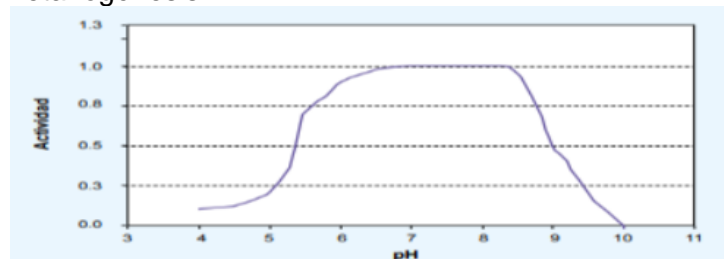
Cuadro 5. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica.

FERMENTACIÓN	MÍNIMO	ÓPTIMO	MÁXIMO
Psicrofílica	4-10°C	15-18°C	25-30°C
Mesofílica	15-20°C	34-38°C	40-45°C
Promedio	17,5°C	36°C	42,5°C
Termofílica	25-45°C	50-60°C	75-80°C

Fuente: Ministerio de energía. Programa de las naciones unidas del desarrollo. 2011.

1.3.3.4 pH. Como se mencionó en la descripción de las etapas de la fermentación, éste es un factor importante para determinar un ambiente óptimo para los microorganismos que realizan el proceso de transformación de la biomasa. En la etapa preliminar (metanogénesis), el rango de pH se encuentra entre 6,5 y 7,5, cuando disminuye a 6,4 o aumenta a 7,6 (**gráfica 1**) el proceso de fermentación puede llegar a inhibirse o detenerse.³⁵

Gráfica 1. Dependencia de pH en la etapa de metanogénesis.



Fuente: SPEECE. R. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. Drexel University. Pensilvania. Estados Unidos. 1983

³⁴ REDAGRÍCOLA. Lo básico para entender el biogás [En línea]. Marzo 2017 [Consultado, 20, agosto, 2018]. Disponible en: <http://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/>

³⁵ GARCÍA M. C. et al. Estudio del proceso bioquímico de fermentación en digestores para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos provenientes del campus de la Universidad de El Salvador. Ciudad Universitaria. El Salvador. Agosto de 2010.

Para estabilizar la acidez en el proceso de la obtención del bioabono se pueden agregar cenizas, agua urea diluida, hidróxido de calcio o una mezcla de estos y licor fermentado³⁶, para un pH básico, se pueden adicionar estos elementos:

- Azufre en polvo: 150 a 250 g/m³.
- Sulfato de hierro: 1 a 3 g/m³.
- Aspirina (ácido acetilsalicílico).

En el **cuadro 6**, se exponen los rangos de pH en el proceso de fermentación en la producción de abono.

Cuadro 6. Rango de pH en el proceso de digestión anaerobia para la producción de bioabono.

Valor pH	Característica
6,5 - 7,5	Óptimo
Menor a 6,4	Retardo de ácidos
Mayor a 7,6	Retardo por amonios

Fuente: CHÁUR BERNAL, Jairo. EL BIOGÁS. Bogotá D.C. 2001.

Para determinar la acidez o alcalinidad del material orgánico, se puede desarrollar en el laboratorio a partir de potenciómetro o, mediante procesos en donde se determina cualitativamente a partir de papel tornasol o distintas prácticas caseras. La técnica de uso del potenciómetro o pH-metro se basa en sumergir un electrodo en la muestra a analizar después de haber sido calibrado el equipo, se debe registrar la media aritmética entre los datos que oscilan.³⁷

1.3.3.5 Tiempo de retención. El tiempo de retención y el flujo de carga orgánica al proceso son los principales parámetros que determinan el diseño del biorreactor. El tiempo de retención depende de la actividad microbiana en la degradación de la materia orgánica y también de la temperatura. Para la digestión anaerobia del estiércol de ganado, con la temperatura de la región, el tiempo de retención varía como se muestra en el **cuadro 7**.³⁸

³⁶ CHÁUR BERNAL, J. "EL BIOGÁS" Boletín Didáctico N° 32. Bogotá, D.C., abril de 2001.

³⁷ KLOSTER, N., AZCARATE, M., BABINEC, F., BONO, A., COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL pH DEL SUELO: pH EN PASTA DE SATURACIÓN Y EN RELACIÓN SUELO-AGUA 1:2,5: *Medición del pH*. Argentina. 13 al 16 de mayo 2008.

³⁸ FAO. MANUAL DE BIOGÁS, FAO. 2011, pág 40

Cuadro 7. Tiempo de retención de estiércol de ganado en distintas regiones.

Tiempo de retención	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos.
60 – 90 días	Clima templado con inviernos fríos.

Fuente: MANUAL DE BIOGÁS. FAO. Colombia. 2011

1.3.3.6 Humedad. En la digestión anaerobia para la producción de abonos, la humedad es un factor clave para determinar o aproximar el tiempo de retención en el biorreactor o la actividad microbiana. Para la alimentación, lo más recomendable, es que el porcentaje de humedad se registre entre 50 a 70%. Si la alimentación es muy seca, el proceso de fermentación es más lento y disminuye la actividad microbiana; pero, si la alimentación tiene alto porcentaje de humedad, el material orgánico puede pudrirse, es más propenso a contener microorganismos patógenos y presencia de malos olores (producción de sulfuros).³⁹ Para conocer el valor de la humedad se realizan tres pasos, se debe pesar la muestra antes de llevar al horno o mufla la cual tiene paredes hechas de placas de materiales térmicos y aislantes, y además puede alcanzar temperaturas hasta de 1200 grados centígrados, después se debe secar a una temperatura de 105°C durante 24 horas para garantizar la eliminación de las trazas de agua en el material orgánico y finalmente, se pesa la muestra seca.⁴⁰

Figura 12. Horno PID autocontrol.



Fuente: **Brother furnace.**
 Horno PID autocontrol. En línea:
<https://spanish.alibaba.com/product-detail/high-quality-pid-auto-control-high-temperature-muffle-furnace-calibration-60594115493.html>

³⁹ ICA. Cartilla Práctica para la Elaboración de un Abono Orgánico Compostado en Producción Ecológica [En línea], 2015. PÁG 11.

⁴⁰ DECAGON DEVICES. Métodos de medida del contenido de agua en el suelo y aplicaciones en campo: *Contenido de agua directo: Técnica Gravimétrica* [En línea]. [Consultado 28, julio, 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/LabFerrer/medida-del-contenido-de-humedad-del-suelo>

A partir del horno que se muestra en la **figura 12**, se logra llegar a altas temperaturas para la eliminación de las trazas de agua en el material orgánico. La ecuación para conocer el porcentaje de humedad en la muestra de material orgánico es la siguiente:

Ecuación 4. Porcentaje de humedad.

$$\%Humedad = \frac{P_i - P_f}{P_i} * 100$$

Fuente: Métodos de medida del contenido de agua en el suelo y aplicaciones en campo: *Contenido de agua directo: Técnica Gravimétrica* [En línea]. [Consultado 28, julio, 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/LabFerrer/medida-del-contenido-de-humedad-del-suelo>

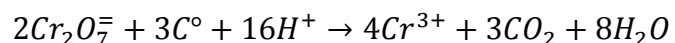
Donde P_i es el peso de la muestra antes de entrar al horno y P_f es el peso de la muestra después de estar en el horno a 105°C durante 24 horas.

1.3.3.7 Carbono Orgánico Oxidable (COOx). Esta característica de la materia orgánica se relaciona con la sustentabilidad de los sistemas agrícolas, al rendimiento sostenido de los cultivos y a la mejora de las propiedades del suelo. El carbono orgánico del material orgánico le proporciona coloides con alta capacidad de intercambio catiónico al suelo, además de aumentar la solubilidad de varios nutrientes.⁴¹ El Carbono se encuentra en varios niveles de oxidación en la materia orgánica junto con el Oxígeno e Hidrógeno. Para conocer el valor del COOx se determinó que el carbono reacciona con el dicromato. A partir de un proceso experimental, se determina una relación proporcional entre CO_2 que se genera en la oxidación por vía húmeda, y la cantidad de ácido crómico reducido; se asume que cada átomo de C se oxida desde un nivel 0 a +4, de ese modo se evidencia el intercambio electrónico en la reacción (**ver ecuación 5**).⁴²

⁴¹ MARTÍNEZ, E., FUENTES, J, ACEVEDO, E., CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. Chile, 2008. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-27912008000100006&script=sci_arttext

⁴² CARREIRA, D., CARBONO ORGÁNICO (Método de WLAKLEY & BLACK) [En línea]. Disponible en: [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos/002010_Ronda%202010/000003_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20\(Carbono%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno\)/000008_Carbono%20oxidable%20-M%C3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20y%20en%20Nitr%C3%B3geno%20Kjeldahl%20\(Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira\)%20-%20Resumen.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos/002010_Ronda%202010/000003_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20(Carbono%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno)/000008_Carbono%20oxidable%20-M%C3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20y%20en%20Nitr%C3%B3geno%20Kjeldahl%20(Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira)%20-%20Resumen.pdf)

Ecuación 5. Reacción método de Walkley & Black.



Fuente: GARCÍA GALVIS, J., BALLESTEROS GONZÁLEZ, M., Revista Colombiana de Química, Vol 34. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS: Técnica colorimétrica. 16 de junio de 2005. Pág 203.

A esta técnica se le conoce como Walkley & Black. La técnica colorimétrica de este método se basa en determinar la absorbancia de la muestra de suelo analizada. A partir de un sistema óptico de doble haz y un rango de longitud de onda de 190 a 1100 nm, las mediciones de absorbancia para este proceso se registran en un espectrofotómetro UV/Vis 4260/50 (ver figura 13).⁴³

Figura 13. Espectrofotómetro.



Fuente: TECNYLAB. Espectrofotómetro UV/Vis 4260/50. En línea: <https://www.tecnylab.es/es/espectro-fotometros/4868-espectrofotometro-uvvis-426050.html>

La ecuación para conocer el valor de COOx mediante el método de Walkley & Black es:

Ecuación 6. Carbono Orgánico Oxidable.

$$COO_x\% = \frac{B-T}{g} (N)(0,39) mcf$$

Fuente: GARCÍA GALVIS, J., BALLESTEROS GONZÁLEZ, M., Revista Colombiana de Química, Vol 34. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS: Técnica colorimétrica. 16 de junio de 2005.

⁴³ GARCÍA GALVIS, J., BALLESTEROS GONZÁLEZ, M., Revista Colombiana de Química, Vol 34. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS: *Técnica colorimétrica*. [En línea]. 16 de junio de 2005. Pág 203.

Donde B es el volumen de sulfato ferroso para valorar el blanco de los reactivos (mL), T es el volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (mL), N es la normalidad del sulfato ferroso, g es el peso de la muestra (g) y mcf es el factor de corrección de humedad.⁴⁴ El factor de corrección de humedad se determina después de realizar la preparación y secado del material orgánico, éste se determina mediante la siguiente ecuación:⁴⁵

Ecuación 7. Factor de corrección de humedad.

$$\text{Factor de humedad} = \frac{1}{100 - \text{Humedad \%}} * 100$$

Fuente: HERNÁNDEZ, 2015.

1.3.3.8. Nitrógeno Total. En el material orgánico, el porcentaje de nitrógeno orgánico que contiene está entre el 90 al 95%, de esta manera, no es asimilado fácilmente por el suelo, debe ser mineralizado, es decir, que se encuentre en forma de amonio (NH_4^+) y nitrato (NO_3^-) (en mayor parte, en este último). El nitrógeno es absorbido por el suelo por las lluvias o a través de la fijación de este mineral por microorganismos.⁴⁶ El método que se utiliza para la determinación de Nitrógeno en la muestra es Kjeldhal. Esta técnica consta de tres etapas: digestión, donde el nitrógeno orgánico se transforma de iones amonio (NH_4^+); destilación, donde el amoniaco (NH_3) se destila y se recoge y, por último, la valoración o titulación, donde se determina el valor del Nitrógeno total. El proceso de determinación de nitrógeno se lleva a cabo en un equipo denominado Scrubber (figura 14).⁴⁷

Figura 14. Scrubber.



Fuente: DILABO S.A [En línea]. Consultado 10, agosto, 2019. Disponible en: http://www.dilabo.com/producto_27960_NombreProd.html

⁴⁴ CIIDIRSINALOA. Metales potencialmente tóxicos en tejido de Rhizophora mangle y sedimentos del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule: *Recolecta y análisis de muestras* [En línea]. 2003. Disponible en: <http://www.ciidirsinaloa.com.mx/metales/metodos.html>

⁴⁵ HERNÁNDEZ, J.P, Cátedra de Edafología. UNER Agropecuarias, Facultad de Ciencias. Argentina. 2015. P. 7

⁴⁶ TÉCNICO AGRÍCOLA. Ciclo del Nitrógeno en el Suelo [En línea]. 25 de abril de 2013. Disponible en: <https://www.tecnicoagricola.es/ciclo-del-nitrogeno-en-el-suelo/>

⁴⁷ PanReac AppliChem. Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldhal. [En línea]. Pág 2-5. Disponible en: https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173_ES.pdf

La ecuación que permite conocer el valor de Nitrógeno total en la muestra es la siguiente.⁴⁸

Ecuación 8. Nitrógeno Total.

$$N\% = \frac{14 \cdot (V1 - V0) \cdot N}{P} * 100\%$$

Fuente: UNAD. Determinación de Proteínas por el Método de Kjeldhal [En línea]. 2015. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/6147469/>

Donde V1 es el volumen de ácido consumido en la valoración (ácido clorhídrico o sulfhídrico) (mL), V0 es el volumen de ácido consumido en el blanco (mL), N es la normalidad del ácido y P es el peso de la muestra.

1.3.3.9 Relación C/N. En el proceso de digestión anaerobia, la cantidad de nutrientes debe estar por encima de la cantidad óptima, debido a la inhibición en el proceso de metanogénesis se debe a la falta de nutrientes para las bacterias que llevan a cabo la transformación en esta etapa. El carbono y el nitrógeno son los principales nutrientes para las bacterias metanogénicas, donde el carbono es la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Debido al alto consumo de energía para la transformación del material orgánico, las bacterias consumen 30 veces más aproximadamente de carbono, el rango óptimo de se encuentra de 30:1 a 20:1.

Cuando se registra alto contenido de carbono en la materia prima, su degradación es más lenta, debido a que, por falta de nitrógeno, el desarrollo y multiplicación de las bacterias es bajo, si la relación C/N es más bajo de 8:1 la actividad microbiana se inhibe debido a la falta de nutrientes y por la producción excesiva de amonio en cantidades tóxicas.⁴⁹

1.3.3.10 Conductividad eléctrica (CE). La concentración de sales presentes en el material orgánico, se cuantifican a través de la CE, entre mayor sea el valor de la conductividad, mayor contenido de sales en el sustrato. Es recomendable que la concentración de sales en el sustrato sea baja (valores inferiores a 1 dS/m), ya que esto facilita la fermentación y evita problemas de fitotoxicidad en el cultivo, es decir, que se evite un efecto tóxico para el crecimiento de las plantas. Si la conductividad eléctrica de un abono o fertilizantes es alta, quiere decir que éste es

⁴⁸ UNAD. Determinación de Proteínas por el Método de Kjeldhal [En línea]. 2015. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/6147469/>

⁴⁹ MANUAL DE BIOGÁS, FAO. 2011, pág 36.

insoluble o su capacidad interna catiónica es alta.⁵⁰ Para la obtención del valor de CE del material orgánico o bioabono, se utiliza de manera directa un conductímetro (**ver figura 15**).

Figura 15. Conductímetro.



Fuente: IMM. Medidor de Conductividad Eléctrica Field Scout directo en suelo. [En línea]. Consultado 15, agosto, 2019. Disponible en: <http://instrumentosparamedir.com/inicio/detalle/19>

Con el conductímetro Field Scout, se pueden realizar mediciones directas e instantáneas de las sales disueltas en el material orgánico o suelo.⁵¹

1.3.3.11 Capacidad de intercambio catiónico (CIC). Se refiere a la cantidad de carga negativa disponible.⁵² Este parámetro indica el potencial del sustrato para retener e intercambiar nutrientes a partir de la estimación de su capacidad para retener cationes (sustancias con carga positiva). Por lo general, el suelo y la materia orgánica tienen carga negativa sobre su superficie, los cationes atraen a estas partículas mediante fuerzas electrostáticas, por lo tanto, la carga neta del suelo debe ser cero.

Los suelos con valores altos de CIC, suelen tener un exceso de arcilla y/o materia orgánica, estos suelen considerarse más fértiles debido a la retención de nutrientes. La CIC se mide en miliequivalentes en 100 gramos de sustrato, en la

⁵⁰ BARBARO, L, KARLANIAN, M, MATA, D. Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para las plantas. Ministeria de Agricultura, Ganadería y Pesca. PÁG 7-9

⁵¹ IMM. Medidor de Conductividad Eléctrica Field Scout directo en suelo [En línea]. México. Consultado el 15 de agosto de 2019. Disponible en: <http://instrumentosparamedir.com/inicio/detalle/19>

⁵² Intagri, La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo [En línea]. [Consultado 14, septiembre, 2019]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

siguiente tabla se muestran algunos valores de la capacidad de intercambio catiónico de diferentes componentes y tipos de suelo.⁵³

En la **tabla 5**, se exponen algunos valores para diferentes tipos de suelo, coloides, entre otros componentes.

Tabla 5. CIC de algunos componentes y tipos de suelo.

Material	CEC (meq/100g)
Arcillas	
Caolinita	3-15
Illita	15-40
Montmorillonita	80-100
Materia orgánica	200-400
Textura del suelo	
Arena	1-5
Arenoso franco a franco arenoso	5-10
Franco	5-15
Franco Arcilloso	15-30
Arcilloso	>30

Fuente: SMART, FERTILIZER MANAGEMENT. La Capacidad de Intercambio Catiónico, 2017 [En línea]. [Consultado 14, septiembre, 2019]. Disponible en: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/Cation-Exchange-Capacity>.

Los cationes predominantes en los suelos agrícolas son: K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , Al^{3+} y H^+ ; en menores cantidades también se encuentran NH_4^+ , Fe^{2+} , Mn^{2+} y Cu^{2+} .

Para la determinación de la CIC, se realiza un método de titulación, la muestra de material o abono orgánicos se mezcla con acetato de amonio, el indicador es el formaldeído, la sustancia utilizada para la titulación es el hidróxido de sodio 0,1N.⁵⁴ Las fórmulas para conocer la CIC son las siguientes:

⁵³ SMART, FERTILIZER MANAGEMENT. La Capacidad de Intercambio Catiónico, 2017 [En línea]. Disponible en: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articulos/Cation-Exchange-Capacity>

⁵⁴ ATUESTA RENGIFO, C., COMPARACIÓN DE CINCO MÉTODOS PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO EN SUELOS ALCALINOS: *Método de Acetato de Amonio 1N pH 7 – Titulación*. Pág: 74-75. Colombia. 2011.

Ecuación 9. Equivalente.

$$\text{equivalente} = \frac{\text{peso (g)}}{\text{carga del ion}}$$

Fuente: ATUESTA RENGIFO, C., COMPARACIÓN DE CINCO MÉTODOS PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN SUELOS ALCALINOS: Método de Acetato de Amonio 1N pH 7 – Titulación. Pág: 74-75. Colombia.

Ecuación 10. Capacidad de Intercambio Catiónico.

$$\text{CIC} = \frac{\text{miliequivalente}}{100 \text{ g de muestra}}$$

Fuente: ATUESTA RENGIFO, C., COMPARACIÓN DE CINCO MÉTODOS PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN SUELOS ALCALINOS: Método de Acetato de Amonio 1N pH 7 – Titulación. Pág: 74-75. Colombia.

Donde, en la primera ecuación, el peso se refiere a la cantidad de acetato de amonio utilizado en la muestra.

1.3.3.12 Densidad Real. Es la relación entre el peso del material orgánico y el volumen de éste sin tener en cuenta el volumen de los poros.⁵⁵ Para determinar este parámetro del material orgánico y bioabono en el laboratorio, se requiere un picnómetro y una balanza. La fórmula para conocer el valor es:

Ecuación 11. Densidad Real.

$$\text{Densidad Real} = \frac{S}{S + A - (s + a)}$$

Fuente: PÉREZ, D., Densidad Real y Densidad Aparente [En línea]. 29de mayo de 2012. [Consultado 14, septiembre, 2019]. Disponible en:

<https://perezquarinos.wordpress.com/2012/05/29/densidad-real-y-densidad-aparente/>

⁵⁵ PÉREZ, D., Densidad Real y Densidad Aparente [En línea]. 29de mayo de 2012. [Consultado 14, septiembre, 2019]. Disponible en: <https://perezquarinos.wordpress.com/2012/05/29/densidad-real-y-densidad-aparente/>

Donde S es el peso de la muestra, A es peso del agua y (s+a) es el peso de la muestra del agua y el material orgánico mezclados.⁵⁶

1.4 REGLAMENTACIÓN PARA FERTILIZANTES O ABONOS EN COLOMBIA.

El abono orgánico resultante de la fermentación del estiércol del ganado bovino y las aguas residuales de la finca El Valle ubicada en Subachoque, no tiene un registro estricto con entidades en el país debido a que es un producto de uso exclusivo del lugar donde se genera, se pretende cumplir con los parámetros establecido para los fertilizantes en Colombia por el ICA. A continuación, se exponen las principales resoluciones y normativa para el producto de interés.

Los valores reglamentarios para abonos y fertilizantes según el ICA y la NTC 5167 para los parámetros y características se muestran en el siguiente **cuadro (8)**.

Cuadro 8. Características para abonos y fertilizantes orgánicos.

Parámetro	Criterios de clasificación del producto
Humedad	Para material de origen animal: máximo 20%
pH	Mayor de 4 y menos de 9
COOx	Mínimo 15%
N, P ₂ O ₅ , K ₂ O	Menor a 1%
Relación C/N	---
CIC	Mínimo 30 cmol(+) kg ⁻¹ (meq/100g)
Densidad Real (en base seca)	Máximo 0,6 g/cm ³

Fuente: Icontec. NTC 5167. Colombia, 31 de marzo de 2011. Pág 3.

1.4.1 Resolución 000698 del 4 de febrero de 2011. Ésta establece los requisitos del productor, importador y de los departamentos técnicos de ensayos de eficiencia de materia prima y/o productos terminados que deben cumplir las personas naturales o jurídicas que realicen prácticas relacionadas con las pruebas de eficiencia o produzca, ya sea para la comercialización de bioinsumos o productos de uso agrícola.⁵⁷

⁵⁶ Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Determinación de la Densidad Real y Porosidad del Suelo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ciencias Biológicas. Chiapas, 18 de marzo de 2010. Pág 5

⁵⁷ COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Resolución 000698 (4 de febrero de 2011). Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de departamentos técnicos de ensayos de eficiencia. En: Institución Colombiano Agropecuario. Bogotá D.C. 2011. 14-25 p.

1.4.2 Resolución 00150 del 21 de enero de 2003. Esta resolución expone el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos en Colombia. El ICA como institución nacional reguladora, se enfoca en la buena calidad de producción de alimentos, por esta razón, vela por la aplicación eficaz y la mitigación de riesgos para el hombre mediante el correcto uso de fertilizantes y acondicionadores de suelos. De esta resolución, se hace mayor énfasis en el capítulo VI el cual habla acerca de los parámetros legales de la experimentación.

Los ensayos de eficiencia de fertilizantes y acondicionadores de suelos que se van a comercializar deben ser evaluados ante las unidades técnicas de ensayos de eficiencia del ICA. En caso de ser productos realizados con base a nuevas tecnologías o fertilizantes compuestos (NPK), y que no se tenga documentación agronómica de relacionado con la eficiencia, se exceptúan.⁵⁸

1.4.3 Resolución 187 del 31 de julio de 2006. El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural expone la reglamentación para la producción primaria, procesamiento, empaçado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación, comercialización y se establece el Sistema de Control de Productos Agropecuarios Ecológicos. Para sistemas ecológicos o de producción agrícola ecológica, deben existir regulaciones en cuanto a unidades de producción para garantizar el bajo riesgo ante la contaminación y mezcla de productos.

Durante la producción, comercialización y/o procesamiento de productos agropecuarios ecológicos, no se deben utilizar productos químicos de síntesis. El uso de sustancias permitidas debe ser de modo excepcional del organismo de control autorizado.

Para la prevención de las fuentes contaminantes se tendrá que disponer de barreras físicas o naturales adecuadas para garantizar la integridad del área. Las sustancias contaminantes deben ser identificadas, separadas y dispuestas de forma que se evite la contaminación de otros productos o que se distribuya para el consumo.

No se admite el almacenamiento de materias primas e insumos sin separación en la unidad productiva.⁵⁹

⁵⁸ COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Resolución 00150 (21 de enero de 2003). Por la cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia. En: Institución Colombiano Agropecuario. Bogotá D.C. 2003. 8-18 p.

⁵⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Resolución 187 (31 de julio de 2006). Por la cual se adopta el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaçado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación, comercialización y se establece el Sistema de Control de Productos Agropecuarios Ecológicos. En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá D.C. 2006.

2. SELECCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN

2.1 GENERALIDADES DE LA FINCA

La finca El Valle, ubicada en la vereda El Valle del municipio de Subachoque, en el departamento de Cundinamarca, entre los 2500 y 3200 m.s.n.m., en una zona con un clima templado con temperaturas entre 15,9°C a 20,9°C⁶⁰. Su extensión aproximada es de 250 hectáreas distribuidas para diferentes actividades agropecuarias. Su actividad principal es la producción de leche para la compañía Parmalat para lo cual cuenta con sesenta (60) cabezas de ganado vacuno de ordeño de raza Holstein y Ayrshire. La **figura 16** muestra la ubicación de la finca El Valle.

Figura 16. Ubicación Finca El Valle.



Fuente: Google Maps. Subachoque, 2019.

Durante el proceso de ordeño mecánico se genera un alto volumen de estiércol el cual es recolectado por medio de un lavado del área de ordeño con agua dura transportado hasta el desarenador (**figura 17**) con dimensiones de 0.6m x 0.6m x 0.5m, con un volumen de 180 Litros, posteriormente este material junto con otras sustancias es llevado al tanque estercolero (**figura 18**) con dimensiones de 5 metros de profundidad por 5 metros de diámetro y un volumen de 98000 Litros.

⁶⁰CAR. Plan de Manejo Subachoque, CAR, 2009. PÁG 39-42 [En línea]. [Consultado 15, agosto 2018]. Disponible en:

http://archivo.car.gov.co/sites/default/files/recursos_user/CONSEJO%20DIRECTIVO/SESION%20170412/PLAN%20DE%20MANEJO%20SUBACHOQUE%20Y%20PANTANO%20DE%20ARCE.pdf

Figura 17.Desarenador



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Tanque estercolero.



Fuente: elaboración propia.

2.2 SELECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA.

Actualmente en la Finca el Valle se utiliza el material orgánico proveniente del tanque estercolero como materia prima para el forraje del cultivo, debido a esto, se realizaron pruebas fisicoquímicas de este material para determinar si es adecuado utilizarlo como materia prima en el proceso de producción de abono orgánico, sin embargo, también se ejecutó un estudio fisicoquímico de los residuos del desarenador, debido a que el material que contiene se transporta al tanque estercolero, por esta razón se toma como opción para realizar un desarrollo experimental y así seleccionar la materia más adecuada para la producción de bioabono.

A partir de documentos a cerca de la elaboración de abonos orgánicos, se seleccionaron diferentes productos para realizar la producción del bioabono entre los cuales están: (i) EM-1, (ii) Melaza y (iii) Cenizas de leña. A continuación, se describe el criterio de uso y los beneficios que aportan al suelo y las plantas.

Los EM-1 son microorganismos eficientes y su principio fundamental es la introducción de un grupo de microorganismos benéficos para mejorar las

condiciones del suelo, evitar enfermedades y patógenos, mejora la eficacia del uso de la materia orgánica para las plantas y aumenta significativamente el biocontrol de plagas.

Investigaciones muestran que la inoculación de EM-1 al suelo o plantas mejora la calidad y salud del suelo y el crecimiento, producción, calidad del producto deseado. Además, los EM-1 ayudan a la descomposición de los materiales orgánicos y durante la fermentación produce ácidos orgánicos como: ácidos lácticos, ácidos acéticos, aminoácidos y ácidos málicos, sustancias bioactivas y vitaminas.

Los principales microorganismos presentes en los EM-1 son las bacterias (i) fototróficas (*Rhodospirillum rubrum*) que sintetizan sustancias útiles de secreción de las raíces, materia orgánica y gases dañinos con el uso de luz solar y calor del suelo como fuente de energía. (ii) bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus*) producen ácido láctico de azúcares y otros carbohidratos, producidos por bacterias fototróficas y levaduras. Sin embargo, el ácido láctico actúa como un compuesto esterilizante que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de la lignina y celulosa fermentándolos y removiendo efectos no deseables de la materia orgánica no descompuesta. Finalmente están (iii) las levaduras (*Saccharomyces*) las cuales sintetizan sustancias antimicrobianas requerida para el crecimiento de las plantas a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fototróficas, materia orgánica y raíces de las plantas.

Es importante conocer que el EM-1 se encuentra en estado inactivo, por lo cual se debe activar, para realizar la activación de este se debe hacer en un recipiente donde se mezcla 5% de melaza y 5% de EM y se diluye en 90% de agua limpia.⁶¹

Por otro lado, la melaza es un acelerador de descomposición de la materia orgánica y además es fuente de energía para los microorganismos en la fermentación del abono orgánico y beneficia la actividad microbiana. También es portadora de nutrientes como el sodio, hierro, fósforo, potasio, calcio, magnesio y contiene micronutrientes principalmente como el boro.⁶²

Finalmente, las cenizas mejoran la calidad del suelo y aumentan su fertilidad, son fuente de energía y aportan alta cantidad de potasio el cual favorece al crecimiento del follaje, frutos y mejora la tolerancia de la planta ante la falta de agua, neutraliza la acidez del suelo y estimula la actividad de las bacterias que fijan el nitrógeno en la tierra.

⁶¹ GUIA DE LA TECNOLOGÍA DE EM. EM Producción y tecnología S.A. (EMPOTREC). En línea: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Boletin%20Tecnologia%20%20EM.pdf>

⁶² Corporación Universitaria Lasallista. ABONOS ORGANICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS SUELOS. Pág 25. Arango Orozco, María Juliana. 2017.

A partir de lo anterior, se propusieron cuatro preparaciones de mezcla de alimentación como materia prima, las cuales se asignaron de esta manera: (i) Material de tanque estercolero Y EM-1. (ii) Material de desarenador y EM-1. (iii) Material de tanque estercolero, melaza, cenizas y EM-1. (iv) Material de desarenador, melaza, cenizas y EM-1.

Con la colaboración del laboratorio AGRILAB se realizaron las pruebas anteriormente mencionadas, asimismo, proporcionaron los resultados de estas, los cuales se reflejan a continuación:

Cuadro 9. Características tanque estercolero y EM-1.

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	65.6	%
pH	6.16	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	1.10	dS/m
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	13.6	meq/100g
Densidad real (en base seca)	0.651	g/cm ³
Carbono Orgánico Oxidable (COOx)	9.24	%
Relación C/N	24.9	Adimensional
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Nitrógeno Orgánico (N Orgánico)	0.372	%
Nitrógeno total	1.08	%
Fósforo total	0.195	%
Potasio total	0.974	%
Calcio total	1.61	%
Magnesio total	0.325	%
Azufre total	0.261	%
Cobre total	14.6	mg/Kg
Zinc total	46.4	mg/Kg
Boro total	11.2	mg/Kg
Sodio total	0.078	%
Silicio total	3.27	%

Fuente: Agrilab, Colombia, 2019.

Cuadro 10. Características desarenador y EM-1.

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	88.2	%
pH	7.68	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	3.34	dS/m
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	7.66	meq/100g
Densidad real (en base seca)	0.207	g/cm ³
Carbono Orgánico Oxidable (COOx)	2.75	%
Relación C/N	144	Adimensional
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Nitrógeno Orgánico (N Orgánico)	0.162	%
Nitrógeno total	1.37	%
Fósforo total	0.122	%
Potasio total	0.150	%
Calcio total	0.169	%
Magnesio total	0.055	%
Azufre total	0.033	%
Cobre total	3.93	mg/Kg
Zinc total	14.8	mg/Kg
Boro total	4.60	mg/Kg
Sodio total	0.015	%
Silicio total	3.08	%

Fuente. Agrilab, Colombia, 2019.

Cuadro 11. Características Tanque estercolero, melaza, ceniza y EM-1.

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	85.8	%
pH	6.76	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	2.03	dS/m
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	11.8	meq/100g
Densidad real (en base seca)	0.289	g/cm ³
Carbono Orgánico Oxidable (COOx)	4.32	%
Relación C/N	16.8	Adimensional
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Nitrógeno Orgánico (N Orgánico)	0.257	%
Nitrógeno total	1.81	%
Fósforo total	0.154	%
Potasio total	0.096	%
Calcio total	0.198	%
Magnesio total	0.052	%
Azufre total	0.044	%

Cuadro 12. (Continuación)

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Cobre total	10.3	mg/Kg
Zinc total	28.1	mg/Kg
Boro total	3.12	mg/Kg
Sodio total	0.015	%
Silicio total	2.83	%

Fuente. Agrilab, Colombia, 2019

Cuadro 13. Características Desarenador, melaza, ceniza y EM-1

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	76.1	%
pH	5.84	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	22.3	dS/m
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	7.85	meq/100g
Densidad real (en base seca)	0.641	g/cm ³
Carbono Orgánico Oxidable (COOx)	6.78	%
Relación C/N	27.8	Adimensional
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Nitrógeno Orgánico (N Orgánico)	0.244	%
Nitrógeno total	1.02	%
Fósforo total	0.125	%
Potasio total	0.749	%
Calcio total	0.937	%
Magnesio total	0.210	%
Azufre total	0.174	%
Cobre total	7.18	mg/Kg
Zinc total	69.4	mg/Kg
Boro total	6.33	mg/Kg
Sodio total	0.044	%
Silicio total	1.82	%

Fuente: Agrilab, Colombia, 2019.

Según los datos obtenidos en la caracterización de la materia prima para la producción del abono orgánico, se puede evidenciar que el resultado de pH en todas las mezclas de alimentación se encuentra dentro del rango aceptado por el Instituto Agropecuario Colombiano (ICA) en la cartilla “Elaboración de Abono Orgánico Compostado en Producción Ecológica”. Asimismo, la humedad del material orgánico antes de iniciar su degradación debe estar entre 60 y 75%. Según los resultados obtenidos, el único que cumple con este parámetro es el material del biorreactor 1 con material del estercolero.

Es importante tener en cuenta que la conductividad eléctrica y la densidad real son aspectos significativos para la selección de un material orgánico como materia prima, debido a que la conductividad eléctrica muestra la concentración de sales presentes en el material orgánico, sin embargo, a partir de la normativa y bibliografía, es recomendable que la concentración en el sustrato sea baja. Según los resultados expuestos anteriormente, se muestra que los valores son superiores a 1 dS/m lo cual quiere decir que el material puede ser propenso a problemas de fototoxicidad en el cultivo que afecten el crecimiento de las plantas.

Los valores adecuados para la densidad real se encuentran en un rango menor o igual a $0,6 \text{ g/cm}^3$, asimismo, según las pruebas realizadas por el laboratorio AGRILAB se comprobó que en los biorreactores 2 y 3 (Desarenador y Tanque estercolero con melaza y cenizas respectivamente) se obtuvieron valores dentro del rango adecuado (**cuadro 10, 11 y 12**).

Para la relación C/N se tiene en cuenta que cuando se registra un alto contenido de carbono en la materia prima, su degradación es más lenta por la falta de nitrógeno, el desarrollo de bacterias es bajo, por lo cual si la relación C/N es más bajo de 8:1 la actividad microbiana se inhibe por falta de nutrientes. El rango adecuado para la relación C/N es entre 20:1 y 30:1. A partir de los resultados reflejados en las tablas 11 y 14 se puede ver que el material orgánico de los biorreactores 1 y 4 están entre los parámetros requeridos, en cambio el contenido de la materia prima del biorreactor 2 (**cuadro 10**) tiene un valor demasiado alto lo que quiere decir que este material tiene un alto contenido de sustrato, por lo contrario el biorreactor 3 (**cuadro 11 y 12**) tiene bajo contenido de sustrato.

El nitrógeno, el potasio y el fósforo son nutrientes para beneficiar nutricionalmente al suelo, sin embargo, el material orgánico que se aplique en el suelo debe contener un porcentaje máximo de 1% de lo contrario tendría que hacerse un tratamiento en el material para disminuir la cantidad de estos nutrientes. Según los resultados reflejados en los **cuadros 9, 10, 11, 12 y 13**, se muestra que los valores de fósforo y potasio totales están entre el rango adecuado para uso en el cultivo, por el contrario, el nitrógeno tiene valores por encima de 1%.

Teniendo en cuenta que el nitrógeno orgánico encontrado en el estiércol se mineraliza con lentitud en el suelo y cumple con las características según bibliografía, es viable usarlo como materia prima para la producción de abono orgánico debido a que es beneficioso para el suelo y el desarrollo vegetal.

Según los resultados arrojados por el laboratorio AGRILAB, se evidencia que las materias primas caracterizadas son apropiadas para un proceso de fermentación con el fin de producir abono orgánico, con un tratamiento previo de ajustes en ellas a partir de la adición de diferentes materiales para mejorar sus propiedades y hacer más efectiva la degradación del material orgánico.

2.3 SELECCIÓN DE LOS PARÁMETROS.

En la producción de abono orgánico (líquido y sólido), los factores influyentes en su preparación son la temperatura, agitación, composición de la mezcla, carga del material orgánico y tiempo de retención en el biorreactor. Los autores y entidades reglamentarios del país determinan los valores adecuados para la elaboración del proceso y características para poder contar con un producto de calidad.

Como se mencionó anteriormente, Subachoque cuenta con una temperatura promedio de 13.8°C; a partir de la revisión bibliográfica de la FAO, el tiempo de retención del material orgánico y del ICA, la degradación dura entre 25 días a 90 días según sea la composición de la materia prima. La agitación varía según el proceso experimental de obtención de abono orgánicos sólido y líquido desarrollado en el proyecto. Estos datos se describen en el **cuadro 14**.

Cuadro 14. Parámetros del proceso experimental.

PARÁMETRO	OBSERVACIÓN
Temperatura	Al iniciar y finalizar el proceso, la temperatura debe ser la del ambiente (13.8°C promedio en la Finca El Valle, Subachoque). Durante el proceso, la temperatura puede aumentar hasta 65°C. ⁶³
Tiempo de retención	20 90 días de fermentación.

Fuente: ICA. Cartilla Práctica para la Elaboración de un Abono Orgánico Compostado en Producción Ecológica. 2015. P.8 - 14.

2.3.1 SELECCIÓN TIPO DE ABONO. Se seleccionó el tipo de abono orgánico que se implementó en el proceso de producción a partir de las ventajas y desventajas que presentan según bibliografía, las cuales se exponen a continuación (ver cuadros 15 y 16).

⁶³ ICA. Cartilla practica para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológica. 2015. Pág 14. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/agricultura-ecologica-1/documentos/cartilla-elaboracion-abono-organico-solido-28-11-2.aspx>

Cuadro 15. Ventajas y desventajas de los abonos orgánicos líquidos

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>ABONO ORGÁNICO LÍQUIDO</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Permiten que las plantas crezcan y se desarrollen naturalmente. - No degradan la vida del suelo ni acaban con los microorganismos de las plantas. Ayudan a la proliferación de la flora del suelo que reestructura el equilibrio del suelo. - Permiten la fijación de carbono en el suelo, así como la absorción de agua. - Tiene mayor distribución de nutrientes, la mezcla líquida tiene mejor homogeneidad. - Su composición química posee formas simples que son absorbidas directamente por las plantas, es decir, hay nutrientes inmediatamente disponibles. - Uniformidad y velocidad en la aplicación. - Para el proceso experimental de obtención del lixiviado generado en la fermentación de los materiales orgánicos, se utilizan únicamente los residuos generados en el ordeño del ganado. 	<ul style="list-style-type: none"> - La precipitación de Subchoque es significativa, al aplicar el abono orgánico líquido no habría mayor absorción de éste en el suelo, partiendo de esto, la planta no tendría mayor eficiencia en su crecimiento y desarrollo. - Se necesita una operación adicional ya que al almacenar el abono líquido se requiere adicionar un estabilizante.⁶⁴ - Al no tener monitoreo constante y no tener en cuenta el parámetro de agitación-aireación en el proceso, los microorganismos facultativos no realizan su función de manera adecuada. - Se dificulta el control de olores y la forma de aplicación del abono.⁶⁵

Fuente: elaboración propia

⁶⁴ AGRILAB. Recomendaciones y parámetros para análisis de materiales orgánicos líquidos. 2019.

⁶⁵ QUIROZ, I, PÉREZ, A. Vinaza y Compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. Texcoco. Junio 2013.

Cuadro 16. Ventajas y desventajas de abono orgánico sólido

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>ABONO ORGÁNICO SÓLIDO ⁶⁶</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Mejora las propiedades químicas y biológicas del suelo, la estructura, aireación y capacidad de la retención de agua de éste. - No se requieren grandes costos en la producción del producto. - No genera dependencia de otros productos (ejemplo: plaguicidas, fungicidas, entre otros). - Su producción y uso son tareas ambientalmente responsables. - Con la adición de los microorganismos eficientes (EM-1), se puede acelerar el proceso de transformación del material orgánico y también se puede proteger el sistema y el producto de agentes patógenos. - Mediante la fuente de minerales (ceniza), de energía (melaza) y los EM, se puede lograr obtener un producto adecuado en menor tiempo.⁶⁷ 	<ul style="list-style-type: none"> - Se requiere de una operación adicional para la obtención del producto final, por ejemplo: filtración, molienda, secado, entre otras. - Si no se hacen los tratamientos adecuados al material orgánico y no se realiza un monitoreo del sistema anaerobio, podría ser fuente de microorganismos patógenos. - Requiere de monitoreo constante en el proceso de producción. - El productor debe conocer a cerca del manejo del estiércol y del volteo de éste y así evitar la propagación de microorganismos patógenos.⁶⁸

Fuente: elaboración propia

⁶⁶ ICA. Cartilla Práctica Para la Elaboración de Abono Orgánico Compostado en Producción Ecológica, 2015, PÁG 8.

⁶⁷ ARANGO, M. Abonos Orgánicos como Alternativa para la Conversión y Mejoramiento de Suelos.

⁶⁸ TOALA, E. Diseño de un Biodigestor de Polietileno para la Obtención de Biogás a partir del Estiércol de Ganado en el Rancho Verónica. Ecuador. 2013. P 3.

A partir de las ventajas y desventajas expuestas, se optó por realizar un proceso de producción de abono orgánico sólido debido a que presenta más beneficios según las características de la Finca el Valle.

2.4 DESARROLLO EXPERIMENTAL

Para el desarrollo experimental de la obtención de abono orgánico se realizó la construcción de los biorreactores, el análisis químico y físico de los materiales a fermentar y de los abonos obtenidos.

2.4.1 Construcción de biorreactores. Para la elaboración de los biorreactores se tomó como referencia el modelo que se describe en del trabajo de grado “Desarrollo de la Ingeniería del Proceso de Producción de Biogás mediante los Residuos Orgánicos Provenientes de la Plaza Distrital de Mercado Siete de Agosto” de María Angélica Forero y Andrea Catalina Sánchez⁶⁹ y “Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico” de Jairo Andrés Salamanca Tamayo, donde se sugieren materiales y el mantenimiento de los equipos en el proceso de fermentación teniendo en cuenta la generación de emisiones y la salida del afluente del sistema.⁷⁰




Se requirieron cuatro tanques plásticos (polietileno) de 30 L, como base para la elaboración de los biorreactores, asimismo, fue necesario realizar dos orificios en cada tanque, el primero en la parte superior en donde se instaló una manguera con el fin de liberar las emisiones de biogás que se producen en el proceso de fermentación y el segundo se realizó en la parte inferior lateral para instalar una llave que permite recolectar las muestras sin necesidad de abrir los biorreactores. Para realizar las instalaciones de las llaves y las mangueras en los biorreactores fue conveniente utilizar arandelas metálicas y de caucho, para ajustarlas adecuadamente, además se necesitaron tuercas y niples (únicamente para las mangueras) para ensamblar las arandelas, llaves y mangueras. Es recomendable usar abrazaderas para asegurar la manguera con el niple.

Finalmente, debido a que en este proyecto no se busca producir biogás se utilizan botellas plásticas las cuales se llenan de agua y se introduce la manguera para inhibir el biogás producido. A continuación, en los **cuadros 17 y 18** se muestra el proceso de construcción de los biorreactores.

⁶⁹ FORERO, M, SÁNCHEZ, A. Desarrollo de la Ingeniería del Proceso de Producción de Biogás mediante los Residuos Orgánicos Provenientes de la Plaza Distrital Siete de Agosto. Bogotá D.C. 2017. P 50, 51.

⁷⁰ SALAMANCA, J. Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico.

Cuadro 17. Construcción de biorreactores

FIGURA	PASOS DE CONSTRUCCIÓN
	<p>Con una broca de media pulgada, se realizan dos perforaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Tapa, en donde se instala la maguera, para la emisión de biogás. 2. Parte lateral inferior del tanque, en la cual se instala una llave para recoger muestras del material.
	<p>En la parte interior del tanque se utilizó una tuerca, una arandela metálica y una de goma de nitrilo, las cuales son ajustadas en la llave que junto con la cinta enmascarar y silicona negra, se aseguran al tanque.</p>
	<p>Para la parte superior de la tapa se utilizó un niple, el cual atraviesa la tapa del tanque por la perforación.</p> <p>En la parte interior de la tapa, hay una tuerca, una arandela de goma de nitrilo y dos arandelas metálicas.</p>
	<p>En la parte superior de la tapa consta de una arandela de goma de nitrilo y una metálica, para mayor adherencia de las arandelas en la tapa del biorreactor, se utilizó silicona negra.</p>

Cuadro 18. (Continuación)

FIGURA	CONSTRUCCIÓN DE CONSTRUCCIÓN
	<p>Se ubica la manguera de tal manera que se una con la tapa y se asegura con la abrazadera.</p>
	<p>Por último, se instaló la llave para tomar las muestras y en el otro extremo de la manguera se conecta una botella.</p>

Fuente: elaboración propia

Para probar la efectividad del ensamble de las piezas del biorreactor, se realizó una prueba. Ésta consistía en llenar los tanques de agua durante ocho (8) días (ver figura 19).

Figura 19. Prueba de biorreactores



Fuente: elaboración propia

Al comprobar la efectividad del ensamble se procede a iniciar el proceso de producción del abono orgánico sólido.

2.4.2 Metodología para la producción del abono orgánico sólido. Para la producción del abono orgánico sólido, se desarrollaron diferentes procesos experimentales para seleccionar el sistema más adecuado.

Según el folleto de Jairo Restrepo Rivera, y el trabajo de grado “Obtención de un biofertilizante a partir del residuo ultra fino de *Spirulina Platensis*, mediante degradación anaerobia en fase hidrolítica” de Andrea Carolina López Karolys, debido a las emisiones generadas en el proceso de fermentación del material orgánico, la carga que se debe tener en el reactor es de máximo del 75 a 80% de su capacidad total. A partir de esto ya que el tanque es de 30 L, se dispone de 24 L aproximadamente para cada mezcla.

Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de la recolección del material orgánico generado en la Finca el Valle y partiendo de las recomendaciones bibliográficas, es importante exponer qué papel cumplen los sustratos adicionales mencionados en la selección de la materia prima (Melaza, ceniza, EM-1).

2.4.2.1 Composición del material orgánico en el proceso de obtención de abono orgánico sólido. Para poder obtener el bioabono en menor tiempo y con mayor eficiencia, se adiciona aproximadamente 2% de la solución de EM-1 (0,48L) en la mezcla, debido a que según instrucciones de uso y la “Guía de tecnología de EM” se recomienda que para producción de abono orgánico la adición de estos MO sea de un 2% con respecto al volumen que se vaya utilizar.

Como se había mencionado en la descripción de las etapas de fermentación del material orgánico, es recomendable utilizar fuentes de energía para los microorganismos que llevan a cabo el proceso de degradación del material orgánico, en este caso, para hacer la comparación de efectividad entre los procesos, se adicionó melaza y cenizas a los biorreactores 3 y 4, ya que aportan una cantidad de minerales suficientes o superiores para solventar la actividad microbiana. A continuación, la **tablas 6 y 7** muestran el contenido de las sustancias adicionadas para el compostaje.

Tabla 6. Composición de la melaza

Minerales	Cantidad (mg)	CDR(%)
Sodio	43	2.7%
Calcio	218	18.2%
Hierro	6.7	83.8%
Magnesio	0	0%
Fósforo	45	6.4%
Potasio	1238	61.9%

Fuente. VEGAFFINITY. Melaza o miel de caña: Beneficios e información nutricional. En línea: <https://www.vegaffinity.com/alimento/melaza-o-miel-de-cana-beneficios-informacion-nutricional-f278>

Tabla 7. Composición química de las cenizas

	Totales	Asimilables
Humedad (%)	11,5	
pH (H ₂ O)	10,4	
pH (KCl)	10,9	
Materia orgánica (%)	56,1	
C (g kg ⁻¹)	505	
N (g kg ⁻¹)	5,56	
S (g kg ⁻¹)	0,32	
P (g kg ⁻¹)	2,6	0,4 (15 %)
Ca (g kg ⁻¹)	25,0	13,8 (55 %)
Mg (g kg ⁻¹)	6,0	1,5 (25 %)
Na (g kg ⁻¹)	2,4	1,2 (50 %)
K (g kg ⁻¹)	11,1	5,0 (45 %)
Al (g kg ⁻¹)	16,2	n.d.
Cd (mg kg ⁻¹)	1,8	1,1 (59 %)
Cr (mg kg ⁻¹)	23,7	3,7 (15 %)
Cu (mg kg ⁻¹)	32,9	4,5 (14 %)
Fe (mg kg ⁻¹)	1.390	380 (27 %)
Mn (mg kg ⁻¹)	1.470	354 (24%)
Ni (mg kg ⁻¹)	14,0	8,1 (58 %)
Pb (mg kg ⁻¹)	47,0	14,0 (30 %)
Zn (mg kg ⁻¹)	1.700	44,0 (2,6 %)

n.d.= no determinado

Fuente: Evaluación del aporte de cenizas de madera como fertilizante de un suelo ácido mediante un ensayo de laboratorio. SOLLA-GULLÓN, F., RODRÍGUEZ- SOALLEIRO, R. 2001. En línea: http://www.inia.es/GCONTREC/PUB/solla_1161156613093.pdf

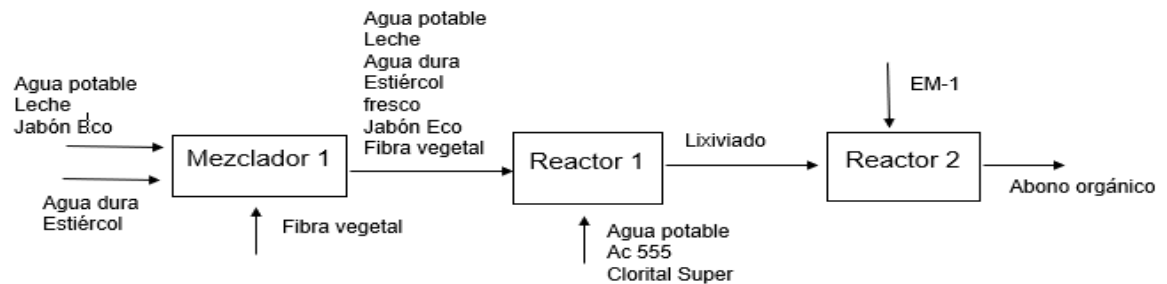
- **Biorreactor 1.** Para el proceso de preparación de la materia prima para la producción del abono orgánico en el biorreactor (1), se utiliza el material orgánico proveniente del tanque estercolero, adicionalmente, decide aplicar EM-1 debido a que mejora las condiciones del proceso y la eficiencia del material orgánico.

A partir de lo anterior, es importante conocer la composición del material orgánico del tanque estercolero debido a que, gracias a esto, se establece el tratamiento

adecuado para la obtención de un abono orgánico benéfico para el suelo de la Finca El Valle.

A continuación, la **figura 20** expone el diagrama de proceso de producción de abono.

Figura 20. Diagrama de proceso para el biorreactor 1



Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta el diagrama anteriormente descrito, es indispensable conocer de dónde se originan los componentes del tanque estercolero.

Primero se realiza un lavado del tanque de frío donde se ejecuta el tratamiento de la leche, para esto se utiliza jabón Eco (corriente 1) y agua potable (corriente 2). Al hacer el lavado se mezcla el jabón Eco, el agua potable y trazas de leche que queda en el tanque de frío, estos residuos son llevados directamente al desarenador (corriente 3).

Por otro lado, en el momento en que se va a realizar el ordeño las vacas, estas deben esperar su turno en la sala de espera. Al terminar este proceso, quedan residuos orgánicos estiércol y la orina, los cuales son arrastrados bajo presión con agua dura y son procesados al desarenador (corriente 4). Ahora, teniendo en cuenta que el desarenador se encuentra en la intemperie, este está expuesto a contener fibra vegetal (corriente 5). A partir de este proceso, el lixiviado presente en el desarenador se dirige hacia el tanque estercolero (corriente 6).

Para tener claro que componentes tiene el tanque estercolero, debemos hablar del lavado de equipos de ordeño, debido a que cuando se realiza este proceso, los residuos son llevados por otro conducto allí. Para esto utilizan productos como Ac 555, Clorital super y agua potable (corriente 7).

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, en el tanque estercolero se realiza una mezcla con el lixiviado del desarenador y los residuos de lavado de equipos de ordeño los cuales reaccionan allí.

Para realizar el proceso experimental se toman 24 Litros de muestra del tanque estercolero (corriente 8) y se llevan al biorreactor 1 (R-102) en donde es mezclado

con EM-1 (corriente 9). Después de unos días de proceso de fermentación el producto final es abono orgánico (corriente 10).

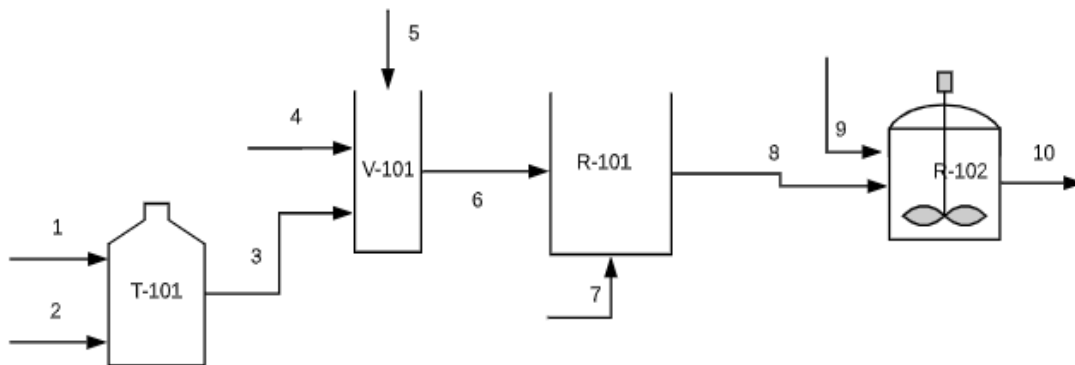
A continuación, la **figura 21** muestra el proceso para la elaboración del abono orgánico en el biorreactor (1) y la composición de este (**cuadro 20**).

Cuadro 19. Equipos

T-101	V-101	R-101	R-102
Tanque de frío	Mezclador (desarenador)	Reactor (estercolero)	Biorreactor (1)

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Diagrama PFD producción abono orgánico biorreactor 1



Fuente: elaboración propia.

Cuadro 20. Datos de flujos masicos (Kg/día) y temperaturas por corriente para la producción de abono orgánico biorreactor 1

Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estiércol	-	-	-	85,7952	-	85,7952	-	6,7540	-	-
Agua dura	-	-	-	57,6	-	57,6	-	4,5337	-	-
Agua potable	-	0,00225	0,00225	-	-	0,00225	160	12,5951	-	-
Leche	-	-	Trazas	-	-	Trazas	-	Trazas	-	-
Jabón eco	0,000250	-	0,000250	-	-	0,000250	-	1,968E-05	-	-
Ac 555	-	-	-	-	-	-	0,2	0,0157	-	-
Fibra vegetal	-	-	-	-	Trazas	Trazas	-	Trazas	-	-
Clorital super	-	-	-	-	-	-	2,5E-04	1,968E-05	-	-
EM-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,576	-
Bioabono	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,7
Total	0,000225	0,00225	0,0025	143,3952	Trazas	143,3977	160,2002	23,9	0,576	23,7
Temperatura (°C)	13,9	13,9	13,9	30	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9
Composiciones										
Estiércol	-	-	-	0,8005	-	0,5983	-	0,2826	-	-
Agua dura	-	-	-	0,1995	-	0,4017	-	0,1897	-	-
Agua potable	-	1	0,9	-	-	0,0000157	0,99875	0,5270	-	-
Leche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jabón eco	1	-	0,1	-	-	0,00000174	-	8,234E-07	-	-
Ac 555	-	-	-	-	-	-	0,0125	6,588E-04	-	-
Fibra vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorital super	-	-	-	-	-	-	0,00156	8,234E-07	-	-
EM-1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
Bioabono	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Fuente: elaboración propia

Para los cálculos de los valores anteriormente expuestos en el cuadro 27, se realizó el siguiente procedimiento.

El propietario de la Finca El Valle aportó algunos datos de las cantidades utilizadas para operaciones en el proceso de producción por día. El lavado del tanque de frío se realiza 2 veces al día para lo cual se usan 250 mg de jabón ECO por cada lavado siendo el 10% de la mezcla y el 90% es agua potable.

Al realizar el lavado del tanque de frío salen trazas de leche que se mezclan con el agua potable y el jabón ECO. Por otro lado, en la corriente cuatro cuando se realiza el arrastre por presión de agua del estiércol fresco se mezclan aproximadamente 85,792 Kg/día de estiércol y 57,6 Kg/día de agua dura, estos valores salen del análisis a partir del volumen del desarenador y teniendo en cuenta que esta mezcla ocupa aproximadamente el 99% de este y el 1% restante se compone de la mezcla del jabón ECO, agua potable, trazas de leche y trazas de fibra vegetal; todo el material orgánico del desarenador se lleva al tanque estercolero.

Por otro lado, para realizar el lavado de los equipos de ordeño se utilizan $1,25 \times 10^{-4}$ Kg de clorital super por cada lavado y 80 cm^3 de Ac 555, para obtener el peso de este último se tiene en cuenta la densidad de $1,254 \text{ g/cm}^3$. A partir de lo anterior,

se efectúa el lavado dos veces al día por lo cual para el clorital super se utilizan $2,5 \times 10^{-4}$ Kg/día y de Ac 555 0,2 Kg/día, este material es llevado al tanque estercolero y se mezcla con el material del desarenador.

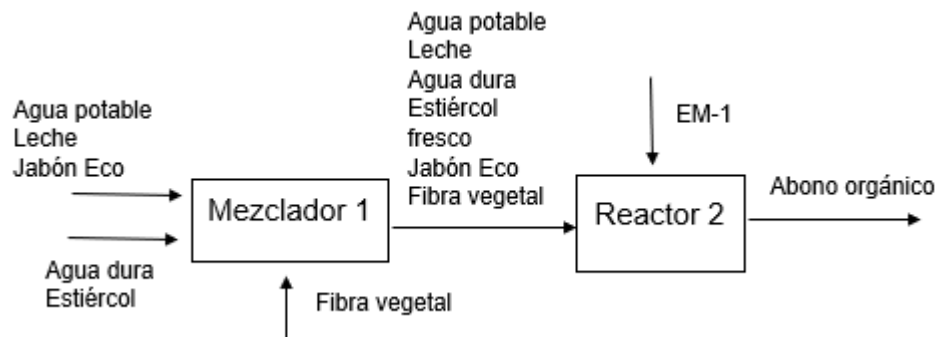
Para ejecutar el desarrollo experimental se toma una muestra de 24 Litros del material del tanque estercolero, el cual tiene un peso total de 23,9 Kg/día a una temperatura de 13,9°C, finalmente se adicionan 0,48 Litros de EM-1.

• **Biorreactor 2.** Para el proceso de preparación de la materia prima para la producción del abono orgánico en el biorreactor (2), se utiliza el material orgánico proveniente del desarenador y además aplica EM-1 debido a que mejora las condiciones del proceso y la eficiencia del material orgánico.

A partir de lo anterior, es importante conocer la composición del material orgánico del desarenador debido a que, gracias a esto, se establece el tratamiento adecuado para la obtención de un abono orgánico benéfico para el suelo de la Finca El Valle.

A continuación, la **figura 22** expone el diagrama de proceso de producción de abono.

Figura 22. Diagrama de proceso para el biorreactor 2



Fuente: elaboración propia

Para el proceso de producción de abono orgánico en el biorreactor 2, primero se realiza un lavado del tanque de frío donde se ejecuta el tratamiento de la leche, para esto se utiliza jabón Eco (corriente 1) y agua potable (corriente 2). Al hacer el lavado se mezcla el jabón Eco, el agua potable y trazas de leche que queda en el tanque de frío, estos residuos son llevados directamente al desarenador (corriente 3).

Por otro lado, en el momento en que se va a realizar el ordeño las vacas, estas deben esperar su turno en la sala de espera. Al terminar este proceso, quedan residuos orgánicos estiércol y la orina, los cuales son arrastrados bajo presión con agua dura y son procesados al desarenador (corriente 4). Ahora, teniendo en

cuenta que el desarenador se encuentra en la intemperie, este está expuesto a contener fibra vegetal (corriente 5).

En este caso, para el proceso experimental se toma una muestra de 24 Litros del material orgánico proveniente del desarenador y es llevado al biorreactor 2 (R-103, corriente 6) en donde se mezcla con EM-1 (corriente 7), Después de unos días de proceso de fermentación el producto final es abono orgánico (corriente 8).

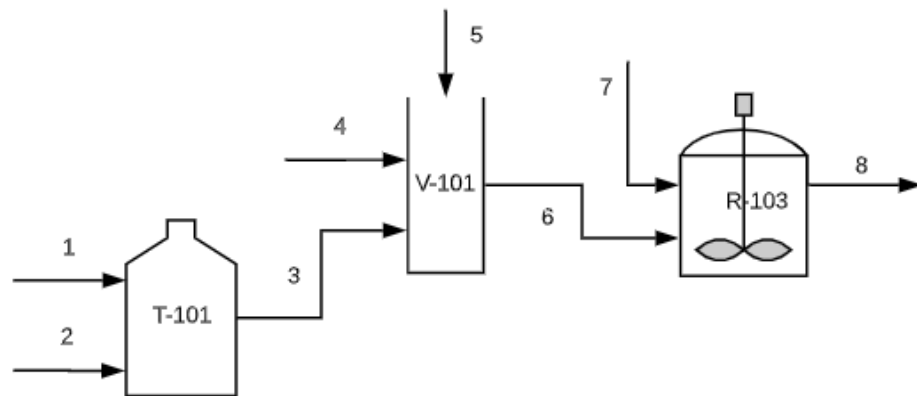
A continuación, la **figura 23** muestra el proceso para la elaboración del abono orgánico en el biorreactor (2) y la composición de este (**cuadro 22**).

Cuadro 21. Equipos

T-101	V-101	R-103
Tanque de frío	Mezclador (desarenador)	Biorreactor (2)

Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Diagrama PFD producción abono orgánico biorreactor 2



Fuente: elaboración propia

Cuadro 22. Datos de flujos masicos y temperaturas por corriente para la producción de abono orgánico del biorreactor 2

Componente	1	2	3	4	5	6	7	8
Estiércol	-	-	-	85,7952	-	14,2991	-	-
Agua dura	-	-	-	57,6	-	9,6005	-	-
Agua potable	-	0,00225	0,00225	-	-	3,7522E-04	-	-
Leche	-	-	Trazas	-	-	Trazas	-	-
Jabón eco	0,000250	-	0,000250	-	-	4,1585E-05	-	-
Fibra vegetal	-	-	-	-	Trazas	Trazas	-	-
EM-1	-	-	-	-	-	-	0,576	-
Abono Orgánico	-	-	-	-	-	-	-	23,7
Total	0,000250	0,00225	0,0025	143,3952	Trazas	23,90	0,576	23,7
Temperatura (°C)	13,9	13,9	13,9	30	13,9	13,9	13,9	13,9
Composiciones								
Estiércol	-	-	-	0,5983	-	0,5983	-	-
Agua dura	-	-	-	0,4017	-	0,4017	-	-
Agua potable	-	1	0,9	-	-	1,57E-05	-	-
Leche	-	-	-	-	-	-	-	-
Jabón eco	1	-	0,1	-	-	1,74E-04	-	-
Fibra Vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-
EM-1	-	-	-	-	-	-	1	-
Abono orgánico								1

Fuente: elaboración propia

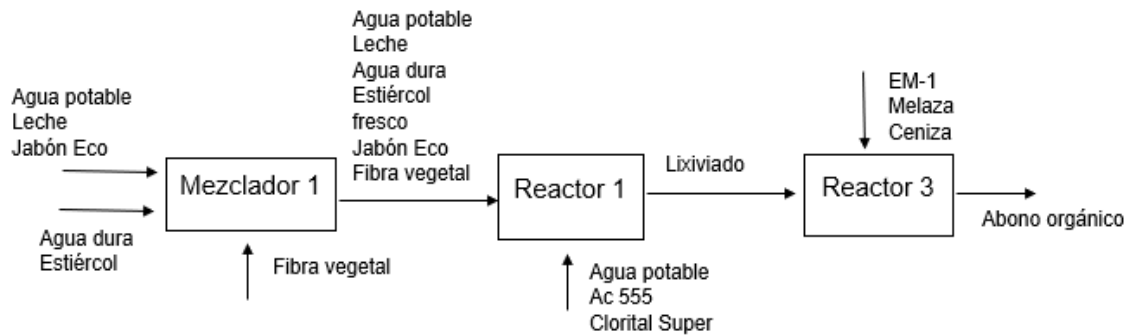
Para los cálculos de los valores anteriormente expuestos en el cuadro 25 se realizó el siguiente procedimiento.

Para el biorreactor dos se tiene en cuenta el mismo flujo masico que ingresa al desarenador, pero en este caso para el desarrollo experimental se toma una muestra de 24 Litros del material orgánico del desarenador, el cual tiene un peso total de 23,9 Kg/día a una temperatura de 13,9°C, finalmente se adicionan 0,48 Litros (0,576 Kg/día) de EM-1.

• **Biorreactor 3.** Para el proceso de preparación de la materia prima para la producción del abono orgánico en el biorreactor (3), se utiliza el material orgánico proveniente del tanque estercolero, adicionalmente se decide aplicar EM-1, melaza y cenizas debido a que mejora las condiciones del proceso, la eficiencia del material orgánico y la composición nutricional del abono orgánico.

A continuación, la **figura 24** expone el diagrama de proceso para la producción de abono.

Figura 24. Diagrama de proceso para el biorreactor 3



Fuente: elaboración propia

Para el proceso de producción de abono orgánico en el biorreactor 3, primero se realiza un lavado del tanque de frío donde se ejecuta el tratamiento de la leche, para esto se utiliza jabón Eco (corriente 1) y agua potable (corriente 2). Al hacer el lavado se mezcla el jabón Eco, el agua potable y trazas de leche que queda en el tanque de frío, estos residuos son llevados directamente al desarenador (corriente 3).

Por otro lado, en el momento en que se va a realizar el ordeño las vacas, estas deben esperar su turno en la sala de espera. Al terminar este proceso, quedan residuos orgánicos estiércol y la orina, los cuales son arrastrados bajo presión con agua dura y son procesados al desarenador (corriente 4). Ahora, teniendo en cuenta que el desarenador se encuentra en la intemperie, este está expuesto a contener fibra vegetal (corriente 5). A partir de este proceso, el lixiviado presente en el desarenador se dirige hacia el tanque estercolero (corriente 6).

Para tener claro que componentes tiene el tanque estercolero, debemos hablar del lavado de equipos de ordeño, debido a que cuando se realiza este proceso, los residuos son llevados por otro conducto allí. Para esto utilizan productos como Ac 555, Clorital super y agua potable (corriente 7).

Teniendo en cuenta lo anteriormente planteado, en el tanque estercolero se realiza una mezcla con el lixiviado del desarenador y los residuos de lavado de equipos de ordeño los cuales reaccionan allí.

Para realizar el proceso experimental se toman 24 Litros de muestra del tanque estercolero (corriente 8) y se llevan al biorreactor 3 (R-104) en donde es mezclado con EM-1, melaza y cenizas (corriente 9). Después de unos días de proceso de fermentación el producto final es abono orgánico (corriente 10).

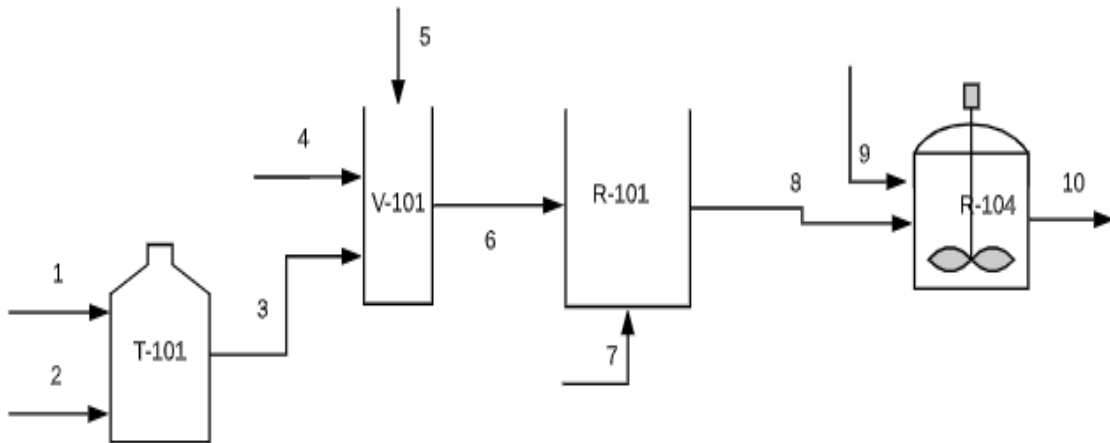
A continuación, la **figura 25** se muestra el proceso para la elaboración del abono orgánico en el biorreactor (3) y la composición de este (**cuadro 24**).

Cuadro 23. Equipos

T-101	V-101	R-101	R-104
Tanque de frío	Mezclador (desarenador)	Reactor (estercolero)	Biorreactor (3)

Fuente: elaboración propia.

Figura 25. Diagrama PFD producción abono orgánico biorreactor 3



Fuente: elaboración propia

Cuadro 24. Datos de flujos masicos y temperaturas por corriente para la producción de abono orgánico del biorreactor 3

Componente	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Estiércol	-	-	-	85,7952	-	85,7952	-	5,0512	-	-
Agua dura	-	-	-	57,6	-	57,6	-	3,3907	-	-
Agua potable	-	0,00225	0,00225	-	-	0,00225	160	9,4196	-	-
Leche	-	-	Trazas	-	-	Trazas	-	Trazas	-	-
Jabón eco	0,000250	-	0,000250	-	-	0,000250	-	1,47E-05	-	-
Ac 555	-	-	-	-	-	-	0,2	0,0117	-	-
Fibra vegetal	-	-	-	-	Trazas	Trazas	-	Trazas	-	-
Clorital super	-	-	-	-	-	-	2,5E-04	1,472E-05	-	-
EM-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,576	-
Melaza	-	-	-	-	-	-	-	-	5,6	-
Cenizas	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	-
Bioabono	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23,661
Total	0,000250	0,00225	0,00250	143,3952	Trazas	143,4179	160,20	17,873	7,876	23,661
Temperatura (°C)	13,9	13,9	13,9	30	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9

Composiciones										
Estiércol	-	-	-	0,5983	-	0,5982	-	0,2826	-	-
Agua dura	-	-	-	0,4017	-	0,4016	-	0,1897	-	-
Agua potable	-	1	0,9	-	-	1,56E-05	0,9987	0,5270	-	-
Leche	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Jabón eco	1	-	0,1	-	-	1,74E-06	-	8,234E-07	-	-
Ac 555	-	-	-	-	-	-	1,25E-03	6,588E-04	-	-
Fibra vegetal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Clorital super	-	-	-	-	-	-	1,56E-06	8,234E-07	-	-
EM-1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,07313	-
Melaza	-	-	-	-	-	-	-	-	0,7110	-
Cenizas	-	-	-	-	-	-	-	-	0,2158	-
Bioabono	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1

Fuente: elaboración propia

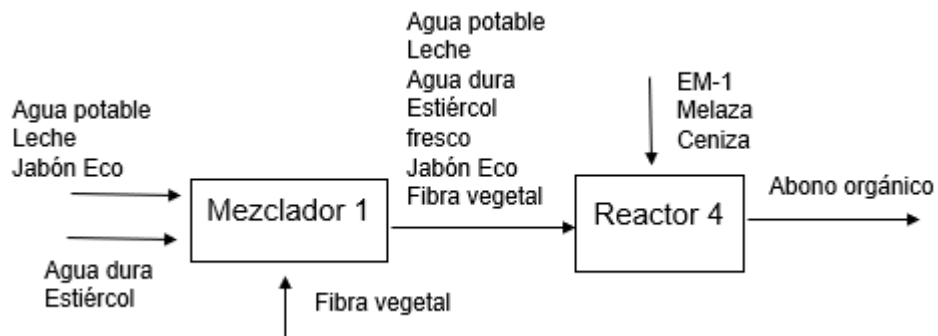
Para los cálculos de los valores anteriormente expuestos en el cuadro 27 se realizó el siguiente procedimiento.

Para el biorreactor dos se tiene en cuenta el mismo flujo masico que ingresa al desarenador y tanque estercolero del biorreactor uno, pero en este caso para el desarrollo experimental se toma una muestra de 24 Litros del material orgánico del tanque estercolero, el cual tiene un peso total de 17,873 Kg/día a una temperatura de 13,9°C, finalmente se adicionan 0,48 Litros (0,672Kg/día) de EM-1, 5,6 Kg/día de melaza y 1,7 Kg/día de ceniza para el biorreactor.

• **Biorreactor 4.** Para el proceso de preparación de la materia prima para la producción del abono orgánico en el biorreactor (4), se utiliza el material orgánico proveniente del desarenador y además aplica EM-1, melaza y cenizas de leña, debido a que mejora las condiciones del proceso, la eficiencia del material orgánico y la composición nutricional del abono orgánico.

A continuación, la **figura 26** expone el diagrama de proceso de producción de abono.

Figura 26. Diagrama de proceso para el biorreactor 4



Fuente: elaboración propia

Para el proceso de producción de abono orgánico en el biorreactor 4, primero se realiza un lavado del tanque de frío donde se ejecuta el tratamiento de la leche, para esto se utiliza jabón Eco (corriente 1) y agua potable (corriente 2). Al hacer el lavado se mezcla el jabón Eco, el agua potable y trazas de leche que queda en el tanque de frío, estos residuos son llevados directamente al desarenador (corriente 3).

Por otro lado, en el momento en que se va a realizar el ordeño las vacas, estas deben esperar su turno en la sala de espera. Al terminar este proceso, quedan residuos orgánicos estiércol y la orina, los cuales son arrastrados bajo presión con agua dura y son procesados al desarenador (corriente 4). Ahora, teniendo en cuenta que el desarenador se encuentra en la intemperie, este está expuesto a contener fibra vegetal (corriente 5).

En este caso, para el proceso experimental se toma una muestra de 24 Litros del material orgánico proveniente del desarenador y es llevado al biorreactor 4 (R-105, corriente 6) en donde se mezcla con EM-1, melaza y cenizas (corriente 7), Después de unos días de proceso de fermentación el producto final es abono orgánico (corriente 8).

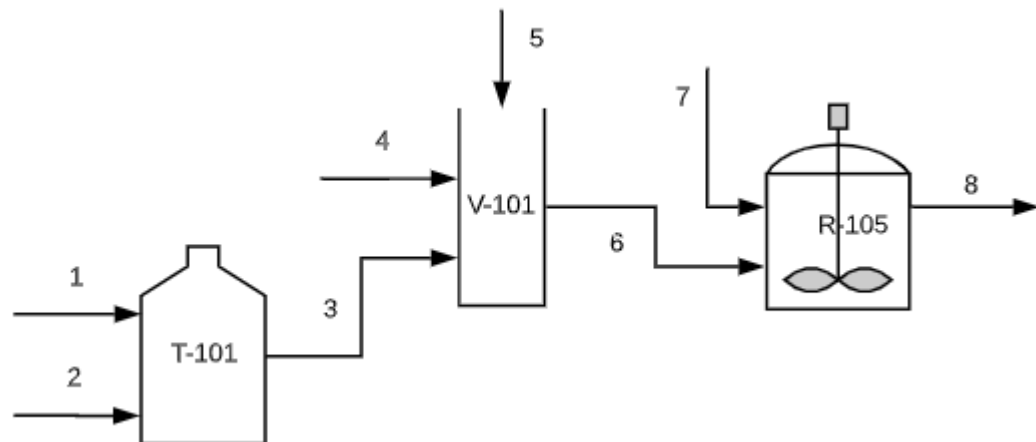
A continuación, la **figura 27** muestra el proceso para la elaboración del abono orgánico en el biorreactor (4) y la composición de este (**cuadro 26**).

Cuadro 25. Equipos

T-101	V-101	R-105
Tanque de frío	Mezclador (desarenador)	Biorreactor (4)

Fuente: elaboración propia.

Figura 27. Diagrama PFD producción abono orgánico biorreactor 4



Fuente: elaboración propia

Cuadro 26. Datos de flujos másicos y temperaturas por corriente para la producción de abono orgánico biorreactor 4

Componente	1	2	3	4	5	6	7	8
Estiércol	-	-		85,7952	-	10,6940	-	-
Agua dura	-	-		57,6	-	7,1799	-	-
Agua potable	-	0,00225	0,00225	-	-	2,81E-03	-	-
Leche	-	-	Trazas	-	-	Trazas	-	Trazas
Jabón eco	0,000250	-	0,000250	-	-	7,43E-04	-	-
Fibra vegetal	-	-	-	-	Trazas	Trazas	-	-
EM-1	-	-	-	-	-	-	0,576	-
Melaza	-	-	-	-	-	-	5,6	-
Cenizas	-	-	-	-	-	-	1,7	-
Abono Orgánico	-	-	-	-	-	-	-	-
Total	0,000250	0,00225	0,00250	143,3952	Trazas	17,87	7,876	-
Temperatura (°C)	13,9	13,9	13,9	30	13,9	13,9	13	13,9

Composiciones								
Estiércol	-	-	-	0,5983	-	0,5982	-	-
Agua dura	-	-	-	0,4017	-	0,4017	-	-
Agua potable	-	1	0,9	-	-	1,5E-05	-	-
Leche	-	-	-	-	-	-	-	-
Jabón eco	1	-	0,1	-	-	1,74E-06	-	-
Fibra Vegetal	-	-	-	-	1	-	-	-
EM-1	-	-	-	-	-	-	0,07313	-
Melaza	-	-	-	-	-	-	0,7110	-
Cenizas	-	-	-	-	-	-	0,2158	-
Abono orgánico	-	-	-	-	-	-	-	1

Fuente: elaboración propia

Para los cálculos de los valores anteriormente expuestos en el **cuadro 25** se realizó el siguiente procedimiento.

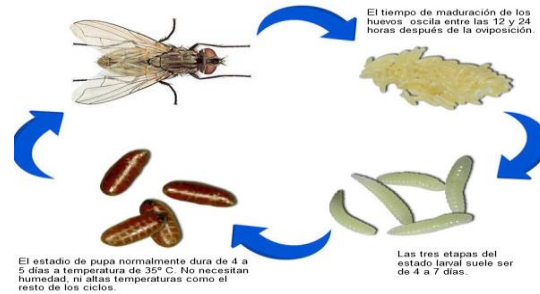
Para el biorreactor dos se tiene en cuenta el mismo flujo masico que ingresa al desarenador, pero en este caso para el desarrollo experimental se toma una muestra de 17 Litros del material orgánico del desarenador, el cual tiene un peso total de 17,87 Kg/día a una temperatura de 13,9°C, finalmente se adicionan 0,48 Litros (0,576 Kg/día) de EM-1, 5,6 Kg/día de melaza y 1,7 Kg/día de ceniza para el biorreactor.

2.4.2.2 Producción de abono orgánico sólido. El 28 de agosto del 2019 se dispuso de un lugar donde se pueden tener los biodigestores en una zona seca y bajo techo para proteger los sistemas anóxicos de la precipitación de la zona, animales de la finca y habitantes con el fin de que el proceso no se vea afectado por factores externos.

Al séptimo día de la degradación del material orgánico (4 de septiembre de 2019), se encontraron larvas en la superficie del biorreactor número cuatro como se muestra en la **figura 31**. Esto se debe a que el desarenador se encuentra a la intemperie y su contenido es bastante húmedo, las plagas, como las moscas,

depositan sus huevos en el material orgánico con una temperatura por encima de 35°C y una humedad por encima del 90%. Siguiendo su ciclo larvario que cumple cuatro fases (adulto, huevo, larva y pupa), el tiempo de maduración de los huevos oscila entre las 12 y 24 horas después de la oviposición⁷¹; al salir de los huevecillos, buscan las zonas con mayor luz y menor humedad y temperatura en el sistema, a partir de estas condiciones las larvas se instalan en la superficie de la biomasa fermentada, donde dejan de alimentarse y prepararse para empupar (ver figura 28).

Figura 28. Ciclo larvario



Fuente: HERNANDEZ LÓPEZ, R., Biología e importancia de las Moscas en la Producción Porcina [En línea]. 18 de mayo de 2016. Disponible en: https://www.3tres3.com/articulos/biologia-e-importancia-de-las-moscas-en-la-produccion-porcina_36558/

A continuación, se muestran los biorreactores en el día siete.

Figura 29. Fermentación biorreactor 1



Fuente: elaboración Propia

Figura 30. Fermentación biorreactor 2



Fuente: elaboración propia

⁷¹ HERNANDEZ LÓPEZ, R., Biología e importancia de las Moscas en la Producción Porcina [En línea]. 18 de mayo de 2016. Disponible en: https://www.3tres3.com/articulos/biologia-e-importancia-de-las-moscas-en-la-produccion-porcina_36558/

Figura 32. Fermentación
biorreactor 3



Fuente: elaboración propia

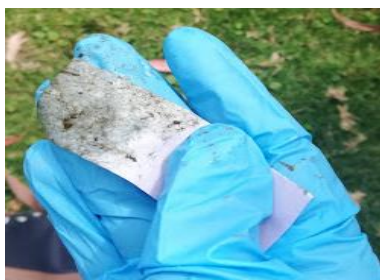
Figura 31. Fermentación
biorreactor 4



Fuente: elaboración propia

El registro de pH se realizó con un medidor casero que se hizo a partir del pigmento soluble en agua contenidas en las hojas del repollo morado (antocianina) (revisar anexo D). Según los parámetros de pH en las etapas de la fermentación (Capítulo 1), se determinó que el proceso de fermentación podría estar en la etapa de acetogénesis o metanogénesis, ya que su valor se empieza a estabilizar como se muestra a continuación (**ver figuras 33, 34, 35 y 36**).

Figura 34. pH día siete,
biorreactores 1



Fuente: elaboración propia

Figura 33. pH día siete,
biorreactor 2



Fuente: elaboración propia

Figura 35. pH día siete,
biorreactor 3



Fuente: elaboración propia

Figura 36. pH día siete,
biorreactor 4



Fuente: elaboración propia

A partir de el **cuadro 27** de de calibración del medidor de pH elaborado con repollo, los valores en el día 7 de la degradación del material orgánico de este parámetro son los siguientes:

Cuadro 27. pH día 7 en el proceso de obtención de bioabono sólido

BIOREACTOR	pH
1	8 (aproximadamente)
2	9 (aproximadamente)
3	7 (no pigmentó)
4	7 (no pigmentó)

Fuente: elaboración propia

El último volteo se realizó el día 14 desde su inicio de degradación (11 de septiembre de 2019), el olor del material orgánico contenido en cada biorreactor era de fermento dulce y, a comparación del proceso de obtención de abono orgánico líquido, no fueron tan susceptibles a contaminación y malos olores debido al manejo de parámetros agitación-aireación. El último registro de pH realizado con el medidor casero dio como resultado que la degradación del material orgánico contenido en los biorreactores 1 y 2, son más alcalinos que el monitoreo de los 7 días de la transformación de la materia prima como se muestra a continuación.

Figura 37. pH día 14 biorreactor 1



Fuente: elaboración propia

Figura 38. pH día 14 biorreactor 2



Fuente: elaboración propia

Figura 40. pH día 14 biorreactor 3



Fuente: elaboración propia

Figura 39. pH día 14 biorreactor 4



Fuente: elaboración de propia

El registro de pH en el día 14 de la fermentación se muestra a continuación en el **cuadro 28**.

Cuadro 28. pH día 14 en el proceso de obtención de abono sólido

BIOREACTOR	pH
1	9 (aproximadamente)
2	10 (aproximadamente)
3	7 (no pigmentó)
4	7 (no pigmentó)

Fuente: elaboración propia

Para poder obtener un producto sólido, se realizó un proceso de filtración manual a partir del prensado de la materia orgánica.

Figura 41. Abono orgánico sólido



Fuente: elaboración Propia

Los parámetros que se tomaron en cuenta para las propuestas de producción de bioabono en la Finca El Valle se reflejan en el **cuadro 29**.

Cuadro 29. Parámetros del proceso experimental

PARÁMETRO	OBSERVACIÓN
Temperatura	Inicio del proceso: 16°C Durante el proceso: 40°C. Final del proceso: 13°C.
Agitación	Se realizó una vez por semana de 5 a 10 minutos hasta que el material orgánico tenga una contextura uniforme.
Tiempo de retención	14 días (28 de agosto a 11 de septiembre).

Fuente: elaboración propia

2.5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este apartado se expondrán los resultados de los procedimientos anteriormente descritos, para ello se realizó revisión bibliográfica con el fin de ampliar la información para el análisis de la caracterización, parámetros y proceso durante el proyecto.

Así mismo, se determinó cuál fue la importancia de la selección del abono más adecuado para la implementación de éste en la finca El Valle y el uso de los biorreactores como base para una mejor transformación del material orgánico. La duración del proyecto fue de aproximadamente 120 días en los cuales se presentaron inconvenientes en el proceso que pudieron solventarse y tomarse en cuenta para mejorar la elaboración del bioabono.

La fijación de los parámetros trazados a partir de la revisión bibliográfica, fue acorde al proceso realizado para la transformación de los materiales orgánicos analizados en este proyecto. La agitación se consideró como el parámetro más importante del proceso, pues, al tratarse de un proceso anaeróbico y de un material orgánico que contiene microorganismos facultativos, se requiere de la relación agitación-aireación para un buen desarrollo de la fauna bacteriana y la homogeneidad de las propiedades en la mezcla a durante el tiempo de retención en la operación Batch.

El principal inconveniente en la producción del abono orgánico sólido en un biorreactor Batch, es el no realizar agitación de la alimentación durante la degradación, debido a que, a pesar de tratarse de una transformación más ágil comparada con la digestión anaerobia, ésta genera mayores emisiones que pueden provocar malos olores y/o ser propenso a adquirir microorganismos patógenos que dañen el producto. Uno de los grupos de microorganismos facultativos que se encuentran en el material orgánico son las bacterias sulfatorreductoras, éstas son las encargadas de disminuir la cantidad de sulfatos generados a partir del H₂S generado en la etapa de acidogénesis.⁷²

Para la selección del abono más adecuado se realizaron pruebas de caracterización de los abonos resultantes con la colaboración del laboratorio AGRILAB. A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos a partir de las pruebas mencionadas en el anexo C.

⁷² CORRALES, L., ANTOLINEZ ROMERO, D., BOHORQUEZ MACÍS, J., CORREDOR VARGAS, A., Bacterias Anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida del planeta.

2.5.1 Abonos orgánicos obtenidos en el proceso experimental. Debido a que el proceso más conveniente para la Finca El Valle es el de obtención de bioabono sólido, se analizaron los cuatro abonos provenientes de la degradación, partiendo de esto se obtuvieron resultados de “*Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos*” del producto final. A continuación, se presentan los datos del análisis experimental generado por AGRILAB (**ver cuadros 30, 31, 32 y 33**)

Cuadro 30. Características abono orgánico sólido biorreactor 1

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	35	%
pH	8,72	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	3,39	dS/m
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	15	meq/100g
Densidad real (en base seca)	0,357	g/cm ³
Carbono Orgánico Oxidable (COOx)	5,82	%
Relación C/N	59	Adimensional
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Nitrógeno Orgánico (N Orgánico)	0,446	%
Nitrógeno total	0,446	%

Cuadro 31. (continuación) Características abono orgánico sólido biorreactor 1

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Fósforo total	0,278	%
Potasio total	0,115	%
Calcio total	0,319	%
Magnesio total	0,079	%
Azufre total	0,056	%
Cobre total	16,5	mg/Kg
Zinc total	56,2	mg/Kg
Boro total	0,130	mg/Kg
Sodio total	0,018	%

Fuente: Agrilab, Colombia, septiembre 2019.

Cuadro 32. Características abono orgánico sólido biorreactor 2

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	30,2	%
pH	9,3	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	3,56	dS/m
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	18,2	meq/100g
Densidad real (en base seca)	0,380	g/cm ³
Carbono Orgánico Oxidable (COOx)	6,38	%
Relación C/N	19,3	Adimensional
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Nitrógeno Orgánico (N Orgánico)	0,331	%
Nitrógeno total	0,331	%
Fósforo total	0,250	%
Potasio total	0,254	%
Calcio total	0,398	%
Magnesio total	0,130	%
Azufre total	0,068	%
Cobre total	10,1	mg/Kg
Zinc total	56,6	mg/Kg
Boro total	0,235	mg/Kg
Sodio total	0,022	%

Fuente: Agrilab, Colombia, septiembre 2019

Cuadro 33. Características abono orgánico sólido biorreactor 3

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	43,5	%
pH	7,79	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	34,7	dS/m
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	19,8	meq/100g
Densidad real (en base seca)	0,619	g/cm ³
Carbono Orgánico Oxidable (COOx)	7,51	%
Relación C/N	19,8	Adimensional
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Nitrógeno Orgánico (N Orgánico)	0,380	%
Nitrógeno total	0,380	%
Fósforo total	0,245	%
Potasio total	0,928	%
Calcio total	1,08	%
Magnesio total	0,292	%
Azufre total	0,254	%

Cuadro 33. (Continuación)

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Cobre total	16,1	mg/Kg
Zinc total	63,7	mg/Kg
Boro total	0,344	mg/Kg
Sodio total	0,063	%

Fuente: Agrilab, Colombia, septiembre 2019

Cuadro 34. Características abono orgánico sólido biorreactor 4

CARACTERÍSTICA	RESULTADOS	UNIDADES
Humedad	38,7	%
pH	6,92	Unidades de pH
Conductividad eléctrica (CE)	12,8	dS/m
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	30,1	meq/100g
Densidad real (en base seca)	0,393	g/cm ³
Carbono Orgánico Oxidable (COOx)	7,7	%
Relación C/N	26,2	Adimensional
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL		
Nitrógeno Orgánico (N Orgánico)	0,294	%
Nitrógeno total	0,294	%
Fósforo total	0,155	%
Potasio total	0,671	%
Calcio total	0,998	%
Magnesio total	0,200	%
Azufre total	0,187	%
Cobre total	9,25	mg/Kg
Zinc total	48,9	mg/Kg
Boro total	0,094	mg/Kg
Sodio total	0,041	%
Silicio total	6,11	%

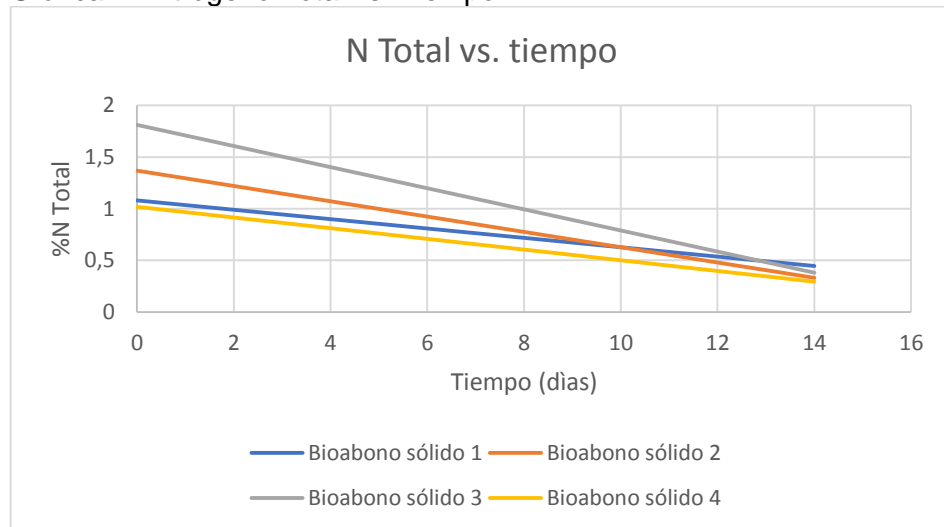
Fuente: Agrilab, septiembre 2019

Partiendo de las características determinadas por el ICA en la NTC 5167 para abonos y fertilizantes sólidos, la humedad para materiales de origen animal es de máximo 20% en el producto final, como se evidencia en los resultados ninguno de los abonos orgánicos elaborados en este proyecto cumplió con el requisito de la normativa, teniendo en cuenta que, con altos niveles de humedad, el abono orgánico puede ser susceptible a adquirir microorganismos patógenos.

El pH para un abono sólido debe encontrarse en un rango entre 4 y 9, los bioabonos generados en el proceso experimental provenientes de los biorreactores 1, 3 y 4 cumplen con el rango establecido por la normativa; sin

embargo, al no existir estudios del suelo de la finca El Valle, se prefieren los abonos orgánicos con un pH neutro (provenientes de los biorreactores 3 y 4). No existen valores específicos para evaluar la calidad de un abono sólido a partir de la relación C/N, sin embargo, el porcentaje de COOx debe ser mínimo de 15%, los resultados de las pruebas de caracterización muestran que ningún abono generado en el proceso experimental cumple con este valor, esto puede ocasionar un rendimiento y mejora de las propiedades del suelo. Para el Nitrógeno Total, según los valores exigidos en la normativa (menor a 1%), todos los abonos del proceso experimental cumplen este requisito. Teniendo en cuenta los valores del Nitrógeno Total desde el día 0 y hasta el día 14, se puede inferir si el material orgánico se humificó o mineralizó; la humificación es la descomposición de los materiales nitrogenados orgánicos sin gran producción de minerales (NH_4^+ y NO_3^-), para que el suelo asimile con mayor facilidad el abono, los componentes nitrogenados deben mineralizarse.

Gráfica 2. Nitrógeno Total vs. Tiempo



Fuente: elaboración propia.

Debido a que las rectas de la **gráfica 2** tienen tendencia descendente, se puede determinar que los abonos orgánicos generados se mineralizaron y pueden aportar con mayor facilidad el macronutriente primario del Nitrógeno. El abono orgánico sólido del proceso experimental con mayor mineralización fue el generado en el biorreactor 3 (tanque estercolero, melaza y cenizas de leña).

La CIC según la normatividad debe ser mínimo de 30 cmol (+) /kg, como se muestra en el cuadro 36, el único abono orgánico que cumple con el valor restringido por la NTC 5167 es el proveniente del biorreactor 4. Es decir, los abonos que no alcanzaron el valor mínimo de CIC, no tienen un gran potencial para retener e intercambiar nutrientes entre el suelo y el producto. Para la CE, como se mencionó anteriormente, para materiales orgánicos y abonos, es

recomendable que tengan valores inferiores a 1 dS/m, según los datos obtenidos de la caracterización de los abonos, ninguno de los abonos presenta el valor adecuado. La CE es un indicador de sales, entre mayor sea su valor, el producto puede generar mayores problemas de fototoxicidad en el crecimiento de las plantas, de acuerdo con esto, el abono menos conveniente es el abono proveniente del biorreactor 3.

Junto con el análisis de resultados, se realizó una valoración de las características obtenidas en el laboratorio para la selección del abono orgánico más adecuado y la implementación del proceso de fermentación para su producción en la finca El Valle.

2.5.2 Selección del abono orgánico sólido a partir del desarrollo experimental. Para la selección del bioabono entre los cuatro procesos de obtención de abono orgánico sólido comparados con las características del lixiviado que se implementa actualmente en la Finca el Valle, se comparan las características de cada uno teniendo en cuenta los valores establecidos por el ICA en la NTC 5167. En la siguiente tabla se muestra con 1 si cumple y 0 si no cumple, el producto que tenga mayor puntuación es el proceso más adecuado.

Cuadro 35. Selección de abono orgánico

CARACTERÍSTICA	Lixiviado	A1	A2	A3	A4
Humedad	-	0	0	0	0
pH	1	1	0	1	1
COOx	0	0	0	0	0
N	0	1	1	1	1
P	1	1	1	1	1
K	1	1	1	1	1
CIC	0	0	0	0	1
Densidad Real	0	1	1	0	1
TOTAL	3	5	4	4	6

Fuente: Elaboración propia

A pesar de no cumplir con los valores de humedad y de COOx, el abono orgánico sólido resultante de la transformación del material orgánico del desarenado mezclado con melaza y cenizas y de leña, fue el producto de mejor calidad a partir de la caracterización física y química de éste teniendo en cuenta los valores del **cuadro 34**.

3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A partir del proceso experimental desarrollado y la selección del más adecuado para la obtención de un abono orgánico con características apropiadas para utilizar en la Finca El Valle, se determinan algunas especificaciones para la implementación de éste.

3.1 DIMENSIÓN DE LOS BIOREACTORES.

Para la producción de bioabono sólido propuesto en el desarrollo experimental, se sugiere un sistema de seis reactores de una capacidad de 1000 L, estos, al igual que los que se utilizaron en el proceso experimental, operan de modo discontinuo. La red de reactores para la digestión anóxica se requiere debido a que los factores de producción del material orgánico diario y el tiempo de retención juegan un papel importante en el proceso de producción del abono orgánico sólido. A partir del análisis de la producción del bioabono, el tiempo de retención del material orgánico para la transformación de la materia prima del abono sólido del biorreactor 4 es de 14 días.

Al tratarse de un material orgánico que requiere de la fijación de parámetros como la agitación, temperatura y aireación debido a la actividad microbiana, se sugiere un corto tiempo de almacenamiento de la materia prima en los biorreactores para que no genere problemas al producto final.

El tiempo de retención del material orgánico en el desarenador es de un día y la capacidad de éste es de 180 Litros, de acuerdo con esto, el flujo volumétrico del desarenador se expone a continuación, partiendo de las dimensiones de éste.

$$Carga \frac{L}{día} = 0,60 * 0,60 * 0,50 = 0,180 m^3$$

La cantidad máxima del material orgánico que puede contener cada uno de los biorreactores que se sugiere implementar en la fermentación es de 800 L (80% de la capacidad) debido a la generación de emisiones en la digestión anóxica. El almacenamiento del material orgánico es de 3 días en cada biorreactor teniendo en cuenta la producción diaria y la adición de los microorganismos eficientes, melaza y cenizas.

Con la selección del proceso de producción más adecuado, se determina que los sustratos de melaza, ceniza y EM-1, mejoran las características del producto y pueden reducir el tiempo de retención del material orgánico en el biorreactor. Las cantidades de cada sustrato en los reactores se muestran a continuación.

Ecuación 12. Volumen del sustrato

$$V_{\text{sustrato}} = V * \text{porcentaje en el material orgánico.}$$

Fuente: elaboración Propia

$$\begin{aligned} V_{EM} &= 800 \text{ L} * 0,02 = 16 \text{ L} \\ V_{\text{melaza}} &= 800 \text{ L} * 0,17 = 136 \text{ L} \\ V_{\text{cenizas}} &= 800 \text{ L} * 0,08 = 64 \text{ L} \end{aligned}$$

En cada biorreactor, el volumen de las materias primas adicionales es de 216 L, este volumen se tiene en cuenta junto al volumen del material orgánico generado en el desarenador para determinar el tiempo que se requiere para completar una capacidad aproximada al porcentaje máximo de los biorreactores e iniciar la producción del bioabono como se muestra en los **cuadros 35 y 36**.

Cuadro 36. Volumen del material orgánico sin adición de sustratos

Volumen del material orgánico sin adición de sustratos	
# Días	Volumen (L)
1	180
2	360
3	540
4	720
5	900

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 37. Volumen del material orgánico con adición de sustratos

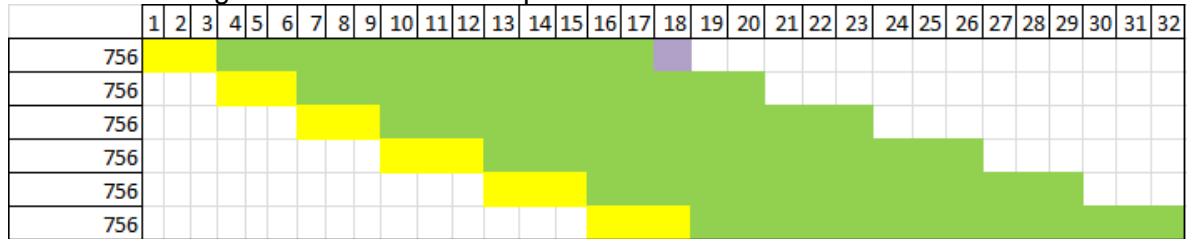
Volumen del material orgánico con adición de sustratos	
# Días	Volumen (L)
1	396
2	576
3	756
4	936
5	1116

Fuente: elaboración propia.

El funcionamiento de los biorreactores en orden cronológico se muestra en el **cuadro 38**, donde las casillas amarillas corresponden al tiempo en el que se le

adiciona el material orgánico a cada biorreactor, las casillas verdes al tiempo de retención de estos materiales para la producción del bioabono y, el cuadro violeta representa el día de mantenimiento y lavado del equipo que termina el proceso.

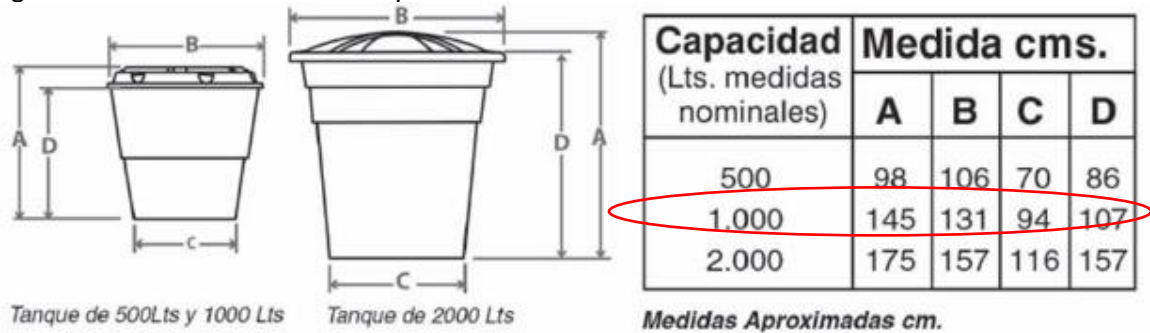
Cuadro 38. Diagrama de Gram de la producción de bioabono en la finca El Valle



Fuente: elaboración propia.

Las dimensiones de cada biorreactor están dadas por el catálogo de Rotoplast como guía en el diagrama de distribución de estos en el sistema (ver figura 42).

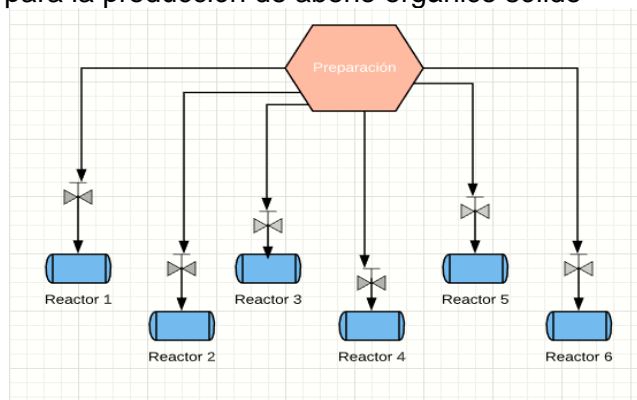
Figura 42. Dimensiones de tanques de biorreactores



Fuente: Rotoplast. ¿Qué es un sistema séptico? Línea ambiental. En línea: <http://www.rotoplast.com.co/sistema-septico-domiciliario/>

El sistema de biorreactores que se recomienda implementar para la transformación del material orgánico realizado en el programa online LucidChart se muestra en la figura 43.

Figura 43. Funcionamiento de los biorreactores para la producción de abono orgánico sólido



Fuente: elaboración propia.

El bloque de “preparación” hace referencia a los materiales orgánicos que llegan al desarenador. Se sugiere durante los tres días de almacenamiento agitar el material orgánico, y en el día tres adicionar los sustratos de EM-1, melaza y cenizas.

3.1.1 Equipos y accesorios para la producción de bioabono sólido. A continuación, se describen los equipos y accesorios necesarios para la producción de abono orgánico sólido en la Finca El Valle teniendo en cuenta los parámetros que se analizaron en el proceso experimental.

- **Tanques de digestión.** A partir de la producción de material orgánico en la Finca El Valle en el proceso de ordeño del ganado y tiempo de retención en el proceso experimental, se sugiere utilizar seis tanques de capacidad de 1000 L para el almacenamiento y fermentación de la materia prima.
- **Tubos y accesorios.** Para la construcción del biorreactor en la Finca El Valle, se sugieren los siguientes accesorios registrados en el **cuadro 39**.

Cuadro 39. Tuberías y accesorios para la producción de bioabono

DESCRPCIÓN	UNIDAD
Tubo PVC 5”	12
Tubo de cobre de gas tipo L ½”	6
Codo PVC 5”	5
Termómetro	6
Soldadura PVC	1
Válvula de compuerta	6

Fuente: elaboración propia.

Se sugiere el uso de accesorios de PVC debido a su uso para conductos sanitarios, a que este material no se corroe fácilmente y a su bajo costo.

3.2 SISTEMA DE AGITACIÓN.

Basándonos en los sistemas de agitación descritos en el capítulo 1, la relación de aireación y agitación es un parámetro importante en el proceso de fermentación, pues permite una adecuada transferencia de oxígeno y energía, y homogeneidad en el proceso (pH, temperatura, concentración del sustrato).⁷³ A partir de las recomendaciones de terceros y basándose en la descripción y en los costos de los diferentes tipos de agitadores, este proyecto sugiere instalar un agitador de paletas. El mezclador de paletas o brazos es utilizado comúnmente para conseguir una alta homogeneidad, se recomienda en la industria minera, de productos agroquímicos, y productos de altas densidades como yeso, metal, goma, entre otras. Este agitador cuenta con paletas horizontales, verticales o inclinadas unidas a un eje horizontal o vertical que gira axialmente en el biorreactor⁷⁴ (**ver figura 44**).

Figura 44. Agitador de paletas cruzadas



Fuente: RVT. SYSTEME.
Agitador de Paletas
Cruzadas.

Para la aireación del sistema, o bien se puede abrir el tanque de tres a cuatro veces durante la fermentación o inyectar aire al sistema en beneficio a los microorganismos facultativos del material orgánico.⁷⁵

⁷³ SOLER, A., BUITRAGO H, G., Evaluación de la transferencia de oxígeno en cultivos con *Lactococcus lactis* empleando un sistema de fermentación con aireación externa. Revista Colombiana de Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia. Vol XII, 2 de diciembre de 2010. Pp 124-138.

⁷⁴ CAIZA, R. Diseño, Construcción y Operación de un Mezclador para Producir Abono Orgánico a partir de los Residuos Orgánicos. Ecuador. 2013. P 51.

⁷⁵ MEDRANO ROLDAN, H., Estudio sobre los Parámetros de Fermentación de importancia Industrial Durante la Propagación de *Bacillus thuringiensis* var. Kumanotoensis: *El Papel del Mezclado en un Reactor Biológico* [En línea]. Monterrey, octubre 1992. Pág 30-32.

En caso de no poder adquirir un sistema de agitación y aireación en el proceso de degradación del material orgánico en los biorreactores, por los volúmenes que se manejan, se puede seguir haciendo de manera manual. Debido a que los reactores contienen mayor cantidad de material orgánico, se debe abrir el tanque y agitar cada 5 días.

3.3 MEDIDORES Y RECOMENDACIONES DE TEMPERATURA Y pH.

3.3.1 Temperatura. Para la medición de temperatura en el proceso de fermentación, se sugiere el uso de un termómetro bimetálico como se muestra en la **figura 45**, este termómetro convencional se sugiere para el monitoreo de esta variable de proceso, debido a que no requiere de un elevado aumento de ésta.⁷⁶

Figura 45. Termómetro de vidrio



Fuente: RS. Termómetro de vidrio, +110°C, Alcohol Rojo, ± 1 división, Laboratorio, Inmersión, Centígrado. En línea: <https://es.rs-online.com/web/p/termometros-de-vidrio/2068878/>

En caso de registrar temperaturas inferiores a 60°C, que es la temperatura que debe alcanzar el proceso para poder eliminar a los microorganismos patógenos, es necesario aumentar la velocidad de agitación del sistema.

3.3.2 pH. En caso de no tener un pH-metro digital para poder tener mayor precisión del valor del potencial de Hidrógeno para el monitoreo de la degradación del material orgánico, se puede seguir utilizando el medidor casero de pH teniendo en cuenta la tabla de calibración que se muestra en los anexos.

⁷⁶ CRIOLLO, E, GUZMÁN, A. Elaboración de un Biodigestor Piloto Tubular para la Producción de Biogás a partir de Estiércol de Ganado Vacuno, en una Vivienda de la Comunidad de Tembo. Ecuador. 2013. P 40.

- En caso de que el abono sea ácido, se recomienda utilizar cal dolomita o agrícola. No se recomienda utilizar durante el proceso debido a que esta sustancia puede inhibir la actividad microbiana de los EM.
- En caso de obtener un abono alcalino, el pH puede disminuir agregando alguna de estas alternativas:⁷⁷

- Azufre elemental: Éste es oxidado lentamente a ácido sulfúrico el cual neutraliza los elementos alcalinos trayendo consecuencias a largo plazo.

- Sulfato de hierro: Este componente también aporta azufre, es un acidificante a corto plazo y, adicional a esto, aporta hierro.

⁷⁷ AGROLOGICA. Corrección de un suelo alcalino (pH básico). [En línea]. 17 de octubre de 2012. Disponible en: <http://blog.agrologica.es/correcion-de-un-suelo-alcalino-ph-basico/>

4. ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero está enfocado en la construcción de seis biorreactores a escala industrial para realizar una propuesta de implementación de éste y aprovecharlo para la producción de bioabono a partir de estiércol bovino en la finca El Valle, Subachoque, Cundinamarca.

Un buen manejo del estiércol bovino consiste en hacer un buen uso de éste de acuerdo con las necesidades de la finca, aprovechándolas como fuente de nutrientes para el suelo y las plantas. La finca actualmente produce 180 L de material orgánico diario proveniente del desarenador, lo que se utiliza es el lixiviado de la transformación del material orgánico del tanque estercolero, el cual no tiene ningún estudio hasta este proyecto. Por lo anterior, resulta de gran ayuda la implementación de un proceso donde se obtiene abono orgánico adecuado para el cultivo.

A partir de lo anterior, es conveniente realizar un análisis financiero para el cual es necesario tener en cuenta los costos de inversión, operacionales actuales en la finca El Valle y del proyecto que conlleva a un mejoramiento en el aprovechamiento de la materia orgánica y la calidad de los cultivos.

4.1 COSTOS OPERACIONALES ACTUALES

Como se expuso a lo largo del proyecto, la finca El Valle utiliza el material orgánico proveniente del tanque estercolero, adicionalmente compran abono para sustentar una parte nutricional del suelo y el cultivo que se pierde por el mal uso del material del tanque estercolero. Para esta materia prima se invierte mensualmente \$850.000,00 que equivale a 500Kg de abono orgánico. Con respecto a la mano de obra, se contratan a cinco trabajadores para realizar el forraje y el mantenimiento de este proceso, para el salario de estos se tienen en cuenta las obligaciones sociales como la seguridad social (aportes a salud, aportes a pensión y riegos laborales), aportes parafiscales (caja de compensación familiar) y prestaciones sociales (prima, vacaciones, cesantías e intereses sobre las cesantías). En cuanto a servicios y mantenimiento son valores que aportó el propietario de la finca, en el **cuadro 40** se muestran los costos correspondientes a lo mencionado anteriormente.

Cuadro 40. Costos operacionales actuales

	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Materia prima	\$ 850.000,00	\$ 10.200.000,00
Mano de obra	\$ 5.852.057,00	\$ 70.224.684,00
Servicios	\$ 650.000,00	\$ 7.800.000,00
Mantenimiento	\$ 150.000,00	\$ 1.800.000,00
Total	\$ 7.502.057,00	\$ 90.024.684,00

Fuente: elaboración propia

4.2 COSTO DE INVERSIÓN

Para realizar una adecuada planificación acerca de la construcción de los biorreactores se tienen en cuenta parámetros como: (i) material para la elaboración del sistema de producción. (ii) adecuación del terreno. (iii) cubrimiento del montaje.

Con el fin de conocer el valor de cada uno de los costos de inversión, se realizaron diferentes cotizaciones en centros de construcción principalmente en Homecenter y Corona, además, se tuvo en cuenta la vida útil de cada material. A partir de lo anterior, los tanques con capacidad de 1000 litros tienen vida útil aproximadamente de 25 años, claramente para el sistema se debe realizar un mantenimiento adecuado; con respecto a otros materiales se requiere hacer renovación en un tiempo de 10 a 15 años como lo son las tuberías y válvulas.

Como se mencionó anteriormente, las cotizaciones se realizaron a partir de la "Guía maestra de la construcción y la reparación" de Constructor (Homecenter, y Corona).

Para la construcción de los biorreactores se propone usar tubo de PVC para las tuberías debido a que tiene poca probabilidad de oxidación, además, es aconsejable para tubería sanitaria.

Partiendo de las cotizaciones realizadas, en los **cuadros 41 y 42** se muestran reflejados dichos costos:

Cuadro 41. Costos materiales para la construcción de los biorreactores

MATERIAL	UNIDAD	VALOR POR UNIDAD	VALOR	VIDA ÚTIL (años)
Tanque (1000 L)	6	\$ 99.900,00	\$599.400,00	25 o más
Tubo PVC 5"	10	\$ 81.900,00	\$819.000,00	15 o más
Tubo cobre de gas tipo L 1/2 "	5	\$ 69.900,00	\$349.500,00	10 o más
Codo PVC 5"	5	\$ 6.400,00	\$32.000,00	15 o más
Termómetro para cilindro	5	\$ 34.900,00	\$174.500,00	1-2 meses
Soldadura PVC	1	\$ 6.000,00	\$6.000,00	15 o más
Válvula tipo bola	5	\$150.000,00	\$750.000,00	20 o más
Total			\$ 2.730.400,00	

Fuente: elaboración propia

Para que el proceso sea eficiente y adecuado para la producción del abono orgánico propuesto, los biorreactores deben estar bajo sombra, por este motivo es importante proponer una cubierta, para esto se toma en cuenta a partir de la "Guía maestra de la construcción y la reparación" de Constructor (Homecenter, y Corona). A continuación, se exponen los costos para la construcción de este (**cuadro 41**).

Cuadro 42. Costos materiales para la construcción del cubrimiento

MATERIAL	MEDIDAS	UNIDAD	VALOR POR UNIDAD	VALOR
Tejas de policarbonato	Ancho (0,99m) Largo (1,22m)	30	\$67.000,00	\$2'010.000,00
Tubería estructural cerrada metálica	Largo (3,50m)	2	\$23.040,00	\$46.081,00
Tubería estructural cerrada metálica	Largo (3,20m)	2	\$21.065,00	\$42.130,00
Tubería estructural cerrada metálica	Largo (3m)	9	\$19.749,00	\$177.741,00
Tornillos cubierta auto perforante arandela	2"	100	-	\$61.900
			Total	\$2'337.852,00

Fuente: elaboración propia

4.2.1 Costos directos. Los costos directos lo conforman la mano de obra, los materiales de construcción de los biorreactores, materiales para la construcción del cubrimiento.

El costo asociado a la mano de obra se genera a partir del tiempo empleado para la adecuación del terreno, la construcción del sistema de producción y la cubierta, para el cual se contratan dos personas, con respecto al salario de estos se tienen en cuenta las obligaciones sociales como la seguridad social (aportes a salud (12,5%), aportes a pensión (16%) y riesgos laborales), aportes parafiscales (caja de compensación familiar (4%)) y prestaciones sociales (prima (4,17%), cesantías (8,33%) e intereses sobre las cesantías (12%)).

El resumen de los costos directos está relacionado en el **cuadro 43**:

Cuadro 43. Costos directos

DESCRIPCIÓN	VALOR
Mano de obra (2)	\$ 2.340.822,00
Costos de construcción biodigestor	\$ 2.730.400,00
Costos de construcción del cubrimiento	\$ 2.337.852,00
Total	\$ 7.409.074,00

Fuente: elaboración propia

4.2.2 Costos indirectos. Los costos indirectos lo conforman otras actividades o materiales que no son directamente asociados a la producción, sin embargo, estos están atribuidos a la misma. En la construcción del biodigestor se representan costos como la herramienta (\$200.000) y servicios para el implemento del sistema de producción (\$150.000).

4.3 COSTOS DE OPERACIÓN PARA EL PROYECTO.

Para los costos operacionales se tienen en cuenta varios parámetros, como lo son: (i) materias primas, (ii) mano de obra, (iii) servicios y (iv) mantenimiento. A partir de estos parámetros, se requiere cotizar los costos de la materia prima, el mantenimiento que se requiere hacer en el sistema y los costos de los servicios que se gastaran mientras el sistema este en producción.

Con respecto a la mano de obra, se contratan tres trabajadores para realizar las operaciones de la producción del abono orgánico y el mantenimiento de este proceso, para el salario de estos se tienen en cuenta las obligaciones sociales como la seguridad social (aportes a salud (12,5%), aportes a pensión (16%) y riesgos laborales), aportes parafiscales (caja de compensación familiar (4%)) y prestaciones sociales (prima (4,17%), cesantías (8,33%) e intereses sobre las cesantías(12%)). En cuanto a servicios únicamente toman valores respecto a

servicios de agua y energía, actualmente hay un sistema de bombeo para el desarenador, por lo cual la bomba no se toma como algo nuevo en el proyecto, pero si se tiene en cuenta en los costos de servicios. Para el mantenimiento únicamente se requiere hacer lavado de tanques y del equipo, en el **cuadro 44**, se muestran los costos correspondientes a lo mencionado anteriormente.

A continuación, se refleja la relación de estos costos operacionales.

Cuadro 44. Costos operacionales mensuales y anuales

	VALOR MENSUAL	VALOR ANUAL
Materia prima	\$ 3.132.000,00	\$ 37.584.000,00
Mano de obra	\$ 3.511.233,00	\$ 42.134.796,00
Servicios	\$ 650.000,00	\$ 7.800.000,00
Mantenimiento	\$ 150.000,00	\$ 1.800.000,00
Total	\$ 7.443.233,00	\$ 89.318.796,00

Fuente: elaboración propia

4.4 COSTO- BENEFICIO.

Para este proyecto es muy importante tener en cuenta que no se realizará comercialización del abono orgánico que se produce en la “Finca el Valle”, únicamente se quiere lograr una mejora en el uso del material orgánico que se produce allí. Por esto se realiza un análisis de costo-beneficio para verificar si el proyecto beneficia económicamente a la “Finca el Valle”. A partir de esto se pretende comparar los costos operacionales del proyecto y el actual.

La inversión inicial es \$7.309.174,00, los costos operacionales actuales (\$7.502.057,00 mensual y \$90.024.684,00 anual) y los costos operacionales del proyecto (\$ 7.443.233,00 mensual y \$89.318.796,00 anual); partiendo de los valores mencionados anteriormente, se realizó un análisis financiero con flujos de precios constantes evaluado a diez años (**cuadro 45**). Flujo de precios constantes.

Cuadro 45. Flujos precios constantes

		1 año	2 años	3 años	4 años	5 años
costos operacionales actuales	-	\$90.024.684,00	\$90.024.684,00	\$90.024.684,00	\$90.024.684,00	\$90.024.684,00
costos operacionales proyecto	-	\$89.318.796,00	\$89.318.796,00	\$89.318.796,00	\$89.318.796,00	\$89.318.796,00
Ahorro	-	\$705.888,00	\$705.888,00	\$705.888,00	\$705.888,00	\$705.888,00
Inversión	\$7.409.074,00					

6 años	7 años	8 años	9 años	10 años
\$90.024.684,00	\$90.024.684,00	\$90.024.684,00	\$90.024.684,00	\$90.024.684,00
\$89.318.796,00	\$89.318.796,00	\$89.318.796,00	\$89.318.796,00	\$89.318.796,00
\$705.888,00	\$705.888,00	\$705.888,00	\$705.888,00	\$705.888,00

Fuente: elaboración propia

La tasa de depósito a término fijo (DTF) actualmente se encuentra en 4,46% según el banco de la república y la tasa de inversión es 5%, así mismo, la tasa de interés de oportunidad (TIO) se halló a partir la **ecuación 13**:

Ecuación 13. TIO

$$TIO = (1 + DTF) * (1 + Inv) - 1$$

La TIO se encontró con un valor de **9,68%**. Además, se calculó la Tasa interna de retorno (TIR) la cual dio un valor de **-1%**, por lo cual es posible afirmar que el proyecto no es viable debido a que la suma de flujos es menor a la inversión inicial, lo que quiere decir que la inversión no es rentable.

5. CONCLUSIONES

- Se realizó el correspondiente análisis fisicoquímico de la materia prima, en el cual fueron evaluadas las características, donde se tuvo en cuenta el pH, humedad, densidad real, conductividad eléctrica y nutrientes esenciales para el suelo (N, C, P, K, Ca, Mg, etc.), esto con el fin de determinar si el material orgánico generado en la Finca el Valle es adecuado para implementarlo en el proceso de producción de abono orgánico. A partir de los resultados obtenidos se encontró que si es posible obtener un abono orgánico a partir de este material que cumple con la normativa estipulada.
- Se seleccionó el proceso más adecuado mediante un desarrollo experimental. Para esto se realizó una caracterización del abono orgánico sólido resultante de cada uno de los biorreactores y se determinó cuál cumplía con las mejores características fisicoquímicas según la NTC 5167, con el fin de garantizar la efectividad del abono orgánico en el suelo. A partir de los resultados obtenidos se comprobó que el abono orgánico producido en el biorreactor 4 proveniente del desarenador y mezclado con melaza, cenizas y EM, cumple con la mayoría de los valores apropiados para la implementación en la Finca el Valle.
- Partiendo de la selección del proceso más adecuado se establecieron especificaciones técnicas para el implemento del sistema, asimismo, se recomienda que para la producción del abono orgánico sólido a escala piloto en la Finca el Valle se requieren seis tanques de 1000 Litros, un sistema de agitación de paletas, utilizar medidores de pH y temperatura para tener un control constante del proceso para obtener un buen producto, adición de EM-1 para que el proceso sea más rápido y efectivo, implemento de productos como la melaza y la ceniza y tener en cuenta la aireación del tanque por los microorganismos facultativos presentes en el estiércol.
- Teniendo en cuenta que el producto obtenido no se comercializara sino que será de uso exclusivo para la finca, se realizó un análisis financiero de costo-beneficio y ahorro de la implementación del proceso de producción del bioabono en la Finca el Valle, en el cual fueron evaluados los costos de inversión y costos operacionales donde se tuvieron en cuenta equipos, mano de obra, tiempo de vida útil de los equipos y materiales, etc., por lo cual se evidencio que el proyecto no es rentable.

RECOMENDACIONES

Para el presente trabajo se puede continuar con una investigación relacionada con el manejo del material orgánico producido en la finca El Valle, debido a que hay diferentes sistemas que se pueden implementar allí y pueden ser viables económicamente.

Para un mejor desempeño en el sistema de producción de bioabono en este proyecto, se sugieren diferentes aspectos que son importantes tener en cuenta para la transformación del material orgánico en la finca El Valle, las cuales se exponen a continuación.

- Evaluar un proceso semicontinuo para la producción de abono orgánico.
- Para cumplir con los parámetros de CE, CIC y COOx del abono es importante realizar los siguientes tratamientos:
 - CE alta: Lixiviar con agua potable el abono.
 - CIC y COOx bajo: Estas dos características están relacionadas. Si el contenido de Carbono Orgánico Oxidable aumenta, la capacidad de intercambio catiónico también aumentará. En el artículo “Aporte de *Tithonia diversifolia* en Abonos Orgánicos: Efecto en Producción y Suelo en Cauca, Colombia”, se sugiere la incorporación de botón de oro (*Tithonia diversifolia*) para el incremento de la capacidad de intercambio catiónico.⁷⁸ Esta característica puede aumentar con coloides inorgánicos (arcillas cristalinas, geles amorfos, óxidos y sesquióxidos de hierro y aluminio).⁷⁹
- Diseñar un proceso de secado para disminuir el contenido de humedad en el abono resultante debido a que la norma (NTC 5167) dice que debe contener un 20%, este proceso se puede realizar por medio del calor solar o por acción de un horno.

⁷⁸ MORIONES, M, MONTES, C. Aporte de *Tithonia diversifolia* en Abonos Orgánicos: Efecto en Producción y Suelo en Cauca, Colombia. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol 15 No. 2. Colombia. Julio, 2017. P 110.

⁷⁹ MARTÍNEZ, E, FUENTES, J, ACEVEDO, E. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. Vol. 8. No. 1. Temuco. 2008.

BIBLIOGRAFIA

ACEVEDO, I., PIRE, R. Caracterización de sustratos hortícolas enmendados con lombricompost. Venezuela. 2007.

ACOSTA LORENZA, Y., OBAYA ABREU, MC. La Digestión Anaerobia. Aspectos técnicos Parte I. La Habana, Cuba. 2005. p 35.

AGEARTH. Asociación de Graduados de la Earth-Ecuador. Ficha Técnica Em.1 [En línea]. Disponible en: <http://www.agearthecuador.org/wp-content/uploads/2014/FICHA%20TECNICA%20EM%201.pdf>

AGRILAB. Recomendaciones y parámetros para análisis de materiales orgánicos líquidos. 2019.

AGROLOGICA. Corrección de un suelo alcalino (pH básico). [En línea]. 17 de octubre de 2012. Disponible en: <http://blog.agrologica.es/correccion-de-un-suelo-alcalino-ph-basico/>

AMBIETUM. Mecanismos fermentación anaeróbica [En línea]. [Consultado 3, abril, 2019]. Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/mecanismos_fermentacion_anaerobia.asp

AQUALIMPIA. Fases de la digestión anaeróbica. Aqualimpia [En línea]. 8 de agosto de 2017. [Consultado 30, marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.aqualimpia.com/digestion-anaerobica/>

ARANGO, M. Abonos Orgánicos como Alternativa para la Conversión y Mejoramiento de Suelos.

ATUESTA RENGIFO, C., COMPARACIÓN DE CINCO MÉTODOS PARA DETERMINAR CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO EN SUELOS ALCALINOS: Método de Acetato de Amonio 1N pH 7 – Titulación. Pág: 74-75. Colombia.

A. YAGUAL. Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio prototipo de bajo costo, Trabajo de grado. Ingeniería Mecánica. Quito. Universidad San Francisco de Quito. 2015. p43

Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Lucía Constanza Corrales MS, Diana Marcela Antolínez Romero, Johanna Azucena Bohórquez Macías, Aura Marcela Corredor Vargas. 26 de octubre de 2015. En línea: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>

BARBARO, L, KARLANIAN, M, MATA, D. Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para las plantas. Ministeria de Agricultura, Ganadería y Pesca. PÁG 7-9.

BIOEM. Ficha Técnica EM.Compost [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/295752597/Ficha-Tecnica-Em-compost-Bioem-Sac>

Biología 4, 10mo grado, Enseñanza preuniversitaria. Editorial Pueblo y Educación. 2005.

Biorreactores: Modo semicontinuo o fed-batch. [En línea]. [Consultado 10, febrero, 2019]. Disponible en: <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/1608/Capitulo2.pdf>

CAIZA, R. Diseño, Construcción y Operación de un Mezclador para Producir Abono Orgánico a partir de los Residuos Orgánicos. Ecuador. 2013. P 51.

CAR. Plan de Manejo Subachoque, CAR, 2009. PÁG 39-42 [En línea]. [Consultado 15, agosto, 2018]. Disponible en: http://archivo.car.gov.co/sites/default/files/recursos_user/CONSEJO%20DIRECTIVO/SESION%20170412/PLAN%20DE%20MANEJO%20SUBACHOQUE%20Y%20PANTANO%20DE%20ARCE.pdf

CARREIRA, D., CARBONO ORGÁNICO (Método de WLAKLEY & BLACK) [En línea]. [Consultado 13, septiembre, 2019]. Disponible en: [https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos/002010_Ronda%202010/000003_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20\(Carbono%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno\)/000008_Carbono%20oxidable%20M%C3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20y%20en%20Nitr%C3%B3geno%20Kjeldahl%20\(Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira\)%20-%20Resumen.pdf](https://www.agroindustria.gob.ar/sitio/areas/proinsa/informes/_archivos/002010_Ronda%202010/000003_Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira%20(Carbono%20oxidable%20y%20Nitr%C3%B3geno)/000008_Carbono%20oxidable%20M%C3%A9todo%20de%20Walkley&Black-%20y%20en%20Nitr%C3%B3geno%20Kjeldahl%20(Ing.%20Agr.%20Daniel%20Carreira)%20-%20Resumen.pdf)

ICA. Cartilla práctica para la elaboración de bioabono orgánico compostado en producción ecológica, ICA. Colombia. 2015.

CASTRO, H. 2004. Propuesta guía de indicadores analíticos para calificar suelos estables y en proceso de degradación desde el punto de vista físico. En: Memorias Taller Nacional sobre indicadores de calidad del suelo. CIAT, Palmira, Valle, Colombia. P. 37 – 42.

CHÁUR BERNAL, J. “EL BIOGÁS” Boletín Didáctico N° 32. Bogotá, D.C., abril de 2001.

CIIDIRSINALOA. Metales potencialmente tóxicos en tejido de Rhizophora mangle y sedimentos del sistema lagunar San Ignacio-Navachiste-Macapule: Recolecta y análisis de muestras. 2003.

COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Resolución 000698 (4 de febrero de 2011). Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de departamentos técnicos de ensayos de eficiencia. En: Institución Colombiano Agropecuario. Bogotá D.C. 2011. 14-25 p.

COLOMBIA. INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Resolución 00150 (21 de enero de 2003). Por la cual se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia. En: Institución Colombiano Agropecuario. Bogotá D.C. 2003. 8-18 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Resolución 187 (31 de julio de 2006). Por la cual se adopta el reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaçado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación, comercialización y se establece el Sistema de Control de Productos Agropecuarios Ecológicos. En: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Bogotá D.C. 2006.

Corporación Universitaria Lasallista. ABONOS ORGANICOS COMO ALTERNATIVA PARA LA CONSERVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LOS SUELOS. Pág 25. Arango Orozco, María Juliana. 2017.

CORRALES, L., ANTOLINEZ ROMERO, D., BOHORQUEZ MACÍS, J., CORREDOR VARGAS, A., Bacterias Anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida del planeta. 2011

CRIOLLO, E, GUZMÁN, A. Elaboración de un Biodigestor Piloto Tubular para la Producción de Biogás a partir de Estiércol de Ganado Vacuno, en una Vivienda de la Comunidad de Tembo. Ecuador. 2013. P 40.

DECAGON DEVICES. Métodos de medida del contenido de agua en el suelo y aplicaciones en campo: Contenido de agua directo: Técnica Gravimétrica [En línea]. [Consultado 28, julio, 2019]. Disponible en: <https://es.slideshare.net/LabFerrer/medida-del-contenido-de-humedad-del-suelo>

DOCPLAYER. Abonos orgánicos un paso para ir avanzando hacia una agricultura orgánica rentable y sostenible. Cooperación Áustrica para el Desarrollo, IPADE, PADESAF, 2009. Disponible en: <https://docplayer.es/12340545-Guia-tecnica-abonos-organicos.html>

EL RUMEN [En línea]. [Consultado 26, marzo, 2019]. Disponible en: <http://www.ugr.es/~cjl/rumen.pdf>

ESTRUCPLAN. Mecanismos fermentación aerobia [En línea]. Anónimo [Consultado 10, abril, 2019]. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/articulos/mecanismos-de-la-fermentacion-aerobia/>

ESTRUCPLAN. Mecanismos fermentación aerobia [En línea]. Anónimo [Consultado 10, abril, 2019]. Disponible en: <https://estrucplan.com.ar/articulos/mecanismos-de-la-fermentacion-aerobia/>

FAO. MANUAL DE BIOGÁS, FAO. 2011, pág 36 – 40.

FAO. Manual de compostaje del agricultor. Santiago de Chile, 2013. Pp 72,73.

Fermentación anaeróbica, Fase de acidificación [En línea]. Textos Científicos, 27 de noviembre de 2005. [Consultado 30, marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>

FluidMix Effective Mixing. Agitadores de Paletas. [En línea]. Disponible en: <https://www.agitadoresfluidmix.com/agitadores-de-paletas/>

FORERO, M, SÁNCHEZ, A. Desarrollo de la Ingeniería del Proceso de Producción de Biogás mediante los Residuos Orgánicos Provenientes de la Plaza Distrital Siete de Agosto. Bogotá D.C. 2017. P 50, 51.

GARCÍA GALVIS, J., BALLESTEROS GONZÁLEZ, M., Revista Colombiana de Química, Vol 34. EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD PARA LA DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS: Técnica colorimétrica. 16 de junio de 2005. Pág 203.

GARCÍA M. C. et al. Estudio del proceso bioquímico de fermentación en digestores para la producción de biogás y biofertilizante a partir de residuos orgánicos provenientes del campus de la Universidad de El Salvador. Ciudad Universitaria. El Salvador. Agosto de 2010.

Grupo Alvi nutrientes. 7 ventajas de los abonos líquidos [En línea]. 12 de enero de 2015. Disponible en: <http://www.alvinutrientes.com/blog/siete-ventajas-de-los-abonos-liquidos-en-las-plantas/>

Grupo Monterrey. Ficha Técnica de la Melaza [En línea]. Monterrey. 2016. Disponible en: http://www.malca.ec/informes/index.php?option=com_content&view=article&id=13:melaza&catid=13&Itemid=103

HERNANDEZ LÓPEZ, R., Biología e importancia de las Moscas en la Producción Porcina [En línea]. 18 de mayo de 2016. Disponible en: https://www.3tres3.com/articulos/biologia-e-importancia-de-las-moscas-en-la-produccion-porcina_36558/

HERNÁNDEZ, J.P, Cátedra de Edafología. UNER Agropecuarias, Facultad de Ciencias. Argentina. 2015. P. 7

HYDRO ENVIRONMENT. ¿Qué es un fertilizante? [En línea]. Ciudad de México: 2019 [Consultado 20, agosto, 2019]. Disponible: https://www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=249

ICA. Cartilla Práctica para la Elaboración de un Abono Orgánico Compostado en Producción Ecológica. 2015. P.8 - 14.

INFOAGRO. GUÍA DE LA TECNOLOGÍA DE EM [En línea]. Pág 1-4. [Consultado, 28, julio, 2019]. Disponible en: <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documents/Boletin%20Tecnologia%20%20EM.pdf>

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

Intagri, La Capacidad de Intercambio Catiónico del Suelo [En línea]. [Consultado 14, septiembre, 2019]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-capacidad-de-intercambio-cationico-del-suelo>

JARAMILLO GUTIERREZ, M, TAMAYO MATEUS, D, Evaluación de Producción de Biogás a partir de Lodos Residuales Recolectados de una PTAR, en un Reactor de la Pontificia Universidad Javeriana: FACTORES QUE INFLUYEN EN LA DIGESTIÓN ANAEROBIA. 2019.

KLOSTER, N., AZCARATE, M., BABINEC, F., BONO, A., COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL pH DEL SUELO: pH EN PASTA DE SATURACIÓN Y EN RELACIÓN SUELO:AGUA 1:2,5: Medición del pH. Argentina. 13 al 16 de mayo 2008.

LABORBEDARF BOCHEM LAB SUPPLY. ¿En qué se diferencian los tipos de agitadores? [En línea]. Disponible en: <http://www.bochem.com/es/Informaci%C3%B3n+%C3%BAtil/Tipos+de+agitadores.html>

MAG. Elaboración de fermentos y su aplicación como abono foliar. Ministerio de Agricultura y Ganadería. 2009. Pp 2.

MARTÍNEZ, E, FUENTES, J, ACEVEDO, E. Carbono Orgánico y Propiedades del Suelo. Vol. 8. No. 1. Temuco. 2008

MARTÍNEZ, E., FUENTES, J, ACEVEDO, E., CARBONO ORGÁNICO Y PROPIEDADES DEL SUELO. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Forestales, Departamento de Silvicultura. Chile, 2008.

MEDRANO ROLDAN, H., Estudio sobre los Parámetros de Fermentación de importancia Industrial Durante la Propagación de *Bacillus thuringiensis* var. *Kumanotoensis*: El Papel del Mezclado en un Reactor Biológico [En línea]. Monterrey, octubre 1992. Pág 30-32

MORIONES, M, MONTES, C. Aporte de *Tithonia diversifolia* en Abonos Orgánicos: Efecto en Producción y Suelo en Cauca, Colombia. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. Vol 15 No. 2. Colombia. Julio, 2017. P 110.

MOROCHO, M., MORA, M., Microorganismo eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas [En línea]. Ecuador, junio 2019. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093

NEGRO, M, VILLA, F, AIBAR, J, ALARCÓN, R, CIRIA, P, CRISTÓBAL, M, BENITO, A, GARCÍA, A, GARCÍA, G, LABRADOR, C, LACASTA, C, LEZAÚN, J, MECO, R, PARDO, G, SOLANO, M, TORNER, C, ZARAGOZA, C. Producción y Gestión del Compost. 2001.

Ochoa Martínez, Figueroa Viramontes, Cano Ríos, Preciado Rangel, Moreno Reséndez, Rodríguez Dimas. Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculpetum* Mill.) en invernadero. Chapingo. Vol 15. No 3. Septiembre -Diciembre, 2009.

OLIVIARES-CAMPOS MA, HERNÁNDEZ –RODRÍGUEZ A, VENCES-CONTRERAS C, JÁQUEZ-BALDERRAMA JL, OJEDA-BARRIOS D. Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. Villahermosa. Universidad y ciencia Vol 28 no 1. 2012.

PanReac AppliChem. Determinación de Nitrógeno por el Método Kjeldhal. [En línea]. Pág2-5. Disponible en: https://www.itwreagents.com/uploads/20180122/A173_ES.pdf

PÉREZ, D., Densidad Real y Densidad Aparente [En línea]. 29 de mayo de 2012. [Consultado 14, septiembre, 2019]. Disponible en: <https://perezguarinos.wordpress.com/2012/05/29/densidad-real-y-densidad-aparente/>

PRENSA LIBRE. La importancia de los fertilizantes [En línea]. Guatemala, 17 de junio de 2014 [Consultado, 20, septiembre, 2018]. Disponible en: <https://www.prensalibre.com/vida/fertilizantes-plantas-hojas-abono-0-1158484217/>

QUIROZ, I, PÉREZ, A. Vinaza y Compost de cachaza: efecto en la calidad del suelo cultivado con caña de azúcar. Texcoco. Junio 2013.

RAMOS AGÜERO, D., TERRY ALFONSO, E. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. La Habana. Vol 35. 2014.

REDAGRÍCOLA. Lo básico para entender el biogás [En línea]. Marzo 2017 [Consultado, 20, agosto, 2018]. Disponible en: <http://www.redagricola.com/cl/lo-basico-entender-biogas/>

RESTREPO RIVERA, J. BIOFERTILIZANTES PREPARADOS Y FERMENTADOS A BASE DE MIERDA DE VACA. AGRICULTURA ORGÁNICA: A PREGUNTAS DIRECTAS, RESPUESTAS PRÁCTICAS. Fundación Juquira Candirú, Santiago de Cali, Colombia, 2012. Pág 19-35.

ROA, R., Etapas del Desarrollo de las Moscas. [En línea]. Disponible en: <https://agronomaster.com/desarrollo-de-las-moscas/>

RODRÍGUEZ, I. FERTILIZANTES ORGÁNICOS Y CONVENCIONALES: La combinación perfecta para mejores rendimientos [En línea]. Disponible en: <http://2000agro.com.mx/R/56/files/assets/common/downloads/page0044.pdf>

ROTOPLAST. Catálogo de tanques [En línea]. Consultado el 10, septiembre, 2019. Disponible en: <http://www.rotoplast.com.co/sistema-septico-domiciliario/>

SALAMANCA, J. Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico

SMART, FERTILIZER MANAGEMENT. La Capacidad de Intercambio Catiónico, 2017 [En línea]. [Consultado 14, septiembre, 2019]. Disponible en: <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/Cation-Exchange-Capacity>

SOLER, A., BUITRAGO H, G., Evaluación de la transferencia de oxígeno en cultivos con *Lactococcus lactis* empleando un sistema de fermentación con aireación externa. Revista Colombiana de Biotecnología. Universidad Nacional de Colombia. Vol XII, 2 de diciembre de 2010. Pp 124-138.

Soluciones prácticas ITDG. Ficha Técnica Biodigestores. P.1

TÉCNICO AGRÍCOLA. Ciclo del Nitrógeno en el Suelo [En línea]. 25 de abril de 2013. Disponible en: <https://www.tecnicoagricola.es/ciclo-del-nitrogeno-en-el-suelo/>

TEXTOS CIENTÍFICOS. Fermentación anaeróbica, Fase de acidificación [En línea]. Textos Científicos, 27 de noviembre de 2005. [Consultado 30, marzo, 2019]. Disponible en: <https://www.textoscientificos.com/energia/fermentacion>

TOALA, E. Diseño de un Biodigestor de Polietileno para la Obtención de Biogás a partir del Estiércol de Ganado en el Rancho Verónica. Ecuador. 2013. P 3.

UDCA. Práctica de pH. Versión 2.1. Bogotá D.C. 2018 II.

UNAD. Determinación de Proteínas por el Método de Kjeldhal [En línea]. 2015. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/6147469/>

Universidad abierta y a distancia de México. OPERACIONES UNITARIAS II. Agitación y mezclado. En línea: https://issuu.com/jazinaruizhernandez/docs/unidad_1.agitacion_y_mezclado_2004

Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas. Determinación de la Densidad Real y Porosidad del Suelo. Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Facultad de Ciencias Biológicas. Chiapas, 18 de marzo de 2010. Pág 5

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA. Energías y Medio Ambiente [En línea], Universidad de Salamanca, pág 44 [Consultado 3, abril, 2019]. Disponible en: https://books.google.com.co/books?id=h_ujoW5p4v4C&pg=PA44&lpg=PA44&dq=proceso+de+acetogenesis&source=bl&ots=zT4hFMBDOS&sig=ACfU3U2-raUK7M8ay2yVt6J7SYi1UPJ6pw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjlwLeYnJkAhUS11kKHVX6AmA4ChDoATAKegQICRAB#v=onepage&q=acetogenesis&f=false

Universidad de San Carlos de Guatemala. DISEÑO DE UN EVAPORADOR TIPO MARMITA CON AGITADOR Y SERPENTÍN INTERNO PARA LA ELABORACIÓN DE DIVERSOS ALIMENTOS EN PLANTA PILOTO. Padilla Velásquez, Brenda Lucia. Septiembre de 2013. En línea: <https://docplayer.es/54001928-Universidad-de-san-carlos-de-guatemala-facultad-de-ingenieria-escuela-de-ingenieria-quimica.html>

UNIVERSIDAD DE VERACRUZ. Bioingeniería. Unidad 2: Biorreactores y su aplicación [En línea]. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Veracruz [Consultado 10, febrero, 2019]. Disponible en: <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-2-biorreactores-y-su-aplicacion>

VARNERO MORENO. MT. Op. Cit., p 35-44.

Zamora, Castro, Wang, Arauz, Uribe, 2016. Uso potencial de lixiviados y tés de vermicompost en el control del ojo de gallo del cafeto *Mycena citricolor*. Costa Rica. 27 de enero de 2017.

ANEXOS

**ANEXO A.
EM-1**

Cuadro 46. Ficha Técnica EM-1

Nombre del producto	EM-1, EM, Microorganismos eficientes
Contenido mínimo UFC/mL	Bacterias ácido lácticas: 10^4 Bacterias fototróficas: 10^3 Levaduras: 10^3
Dilución del producto	111 mL del producto/L de agua
Estado físico	Líquido
Color	Marrón amarillento
Olor	Fuertemente fermentado
pH	Máximo 3,5
Aplicación del producto	Inoculación de suelos: 2 -5% de EM activado. * Control de malos olores: 5% de EM activado al iniciar el proceso, disminuir la dosis a 2%. Elaboración de abono orgánico: 2 a 5% de EM activado.
Compatibilidad	Compatible con aceites minerales y fertilizantes. No es compatible con cloro, desinfectantes, sulfato de cobre, oxidantes y pesticidas (fungicidas, insecticidas y bactericidas). °

*EM es activado a partir de una solución con 5% EM, 5% melaza y 90% agua.

Fuente: AGEARTH. Asociación de Graduados de la Earth-Ecuador. Ficha Técnica Em.1.

°Fuente: BIOEM. Ficha Técnica EM.Compost.

ANEXO B. MELAZA

Cuadro 47. Ficha Técnica Melaza

Nombre del producto	Melaza
Componentes	Sacarosa, azúcares reductores, agua, sales minerales y cenizas.
Estado	Líquido viscoso
Color	Marrón oscuro característico.
Olor	Dulce característico, libre de olores extraños.
Sabor	Dulce característico, libre de sabores extraños.
Vida útil	12 meses empaque sellado, 6 meses empaque abierto.
Consideraciones y recomendaciones	Conservar en lugar fresco y seco.

Fuente: Grupo Monterrey, 2016. En línea:

http://www.malca.ec/informes/index.php?option=com_content&view=article&id=13:melaza&catid=13&Itemid=103

ANEXO C. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES ORGÁNICOS SÓLIDOS

Los análisis desarrollados en el laboratorio son llamados “*Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos*”. Las muestras de la materia prima y los abonos resultantes tenían un peso aproximado de 300 gramos, éstas debían estar en bolsas ziploc y rotuladas con el nombre del material a analizar.

Figura 46. Presentación de las muestras analizadas



Fuente: elaboración propia

El paquete de caracterización del laboratorio AGRILAB, contiene las siguientes características junto con su método de extracción, técnica y la referencia o normatividad con la que se lleva a cabo cada prueba.


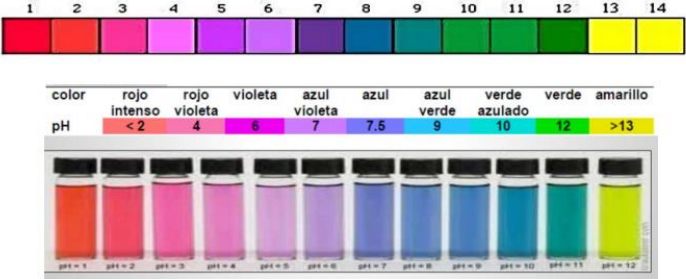
Cuadro 48. Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos

CARACTERÍSTICA	EXTRACTANTE/ TÉCNICA/ REFERENCIA
Humedad	70°C / Gravimétrico / NTC 5167
pH	Pasta de saturación / Potenciométrico/ NTC 5167
Conductividad eléctrica	Pasta de saturación / Conductimétrico / NTC 5167
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de amonio /Volumétrico /NTC 5167
Densidad Real	Directo /Gravimétrico / NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable	Sln. Dicromato de potasio / Colorimétrico / NTC 5167
Relación C/N	Relación C/N
CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL	
Nitrógeno Orgánico	Micro - Kjeldahl / Volumétrico/ NTC 370
Nitrógeno total	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas
Fósforo total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ Colorimétrico/ NTC 234
Potasio total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ EAA/ PlantAnalysisProcedures
Calcio total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ EAA/ PlantAnalysisProcedures
Magnesio total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ EAA/ PlantAnalysisProcedures
Azufre total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ Colorimétrico/ NTC 1154
Cobre total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ EAA/ PlantAnalysisProcedures
Zinc total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ EAA/ PlantAnalysisProcedures
Boro total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ Colorimétrico/ NTC 1154
Sodio total	MVH Ácido Nítrico: ácido perclórico/ EAA/ PlantAnalysisProcedures
Silicio total	MVH HF/ EAA / NTC 5167

Fuente: Agrilab, 2019.

Anexo D. Medidor de pH

Cuadro 49. Medidor de pH

Materiales	<ul style="list-style-type: none"> • 1 taza de repollo morado cortado en tiras. • 2 taza de agua. 																				
Procedimiento	<p>Calentar las dos tazas de agua hasta 100°C, adicionar el repollo morado y calentar durante 15 minutos aproximadamente. Las hojas del repollo morado se tornarán de un color verdoso después de pasar por el agua a 100°C aproximadamente. Entre más concentrada sea la solución, será más efectivo.</p> <p style="text-align: center;">Figura 49. Repollo.</p>  <p style="text-align: center;">Fuente. Propia.</p> <p>Después de la preparación del indicador, es recomendable utilizar una bandeja verter la solución y dejar remojar una hoja bond en ésta. Dejar secar de 15 a 30 minutos y cortar en tiras.</p>																				
Tabla de calibración	<p style="text-align: center;">Figura 50. Tabla de calibración del medidor de pH.</p>  <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>color</th> <th>rojo intenso</th> <th>rojo violeta</th> <th>violeta</th> <th>azul violeta</th> <th>azul</th> <th>azul verde</th> <th>verde azulado</th> <th>verde</th> <th>amarillo</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pH</td> <td>< 2</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>7</td> <td>7.5</td> <td>9</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>>13</td> </tr> </tbody> </table> <p style="text-align: center;">Fuente. UDCA .2018 II</p>	color	rojo intenso	rojo violeta	violeta	azul violeta	azul	azul verde	verde azulado	verde	amarillo	pH	< 2	4	6	7	7.5	9	10	12	>13
color	rojo intenso	rojo violeta	violeta	azul violeta	azul	azul verde	verde azulado	verde	amarillo												
pH	< 2	4	6	7	7.5	9	10	12	>13												

Fuente: UDCA, 2018 II.