

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
ORGÁNICOS EN PLANTAS AGROINDUSTRIALES EN EL PREDIO “LA FAZENDA”



JUAN CAMILO MONTOYA ALFEREZ



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2026

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS
ORGÁNICOS EN PLANTAS AGROINDUSTRIALES EN EL PREDIO “LA FAZENDA”

JUAN CAMILO MONTOYA ALFEREZ

Informe de pasantía presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director

PhD. CHRISTIAN JOSE ROJAS REINA

PhD. M.Sc. Ingeniero Químico

Codirector

Ing. JULIETH GARZÓN MONTAÑA

Ingeniera Ambiental

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2026

Autoridades Académicas

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O. P.

Rector General

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O.P.

Vicerrector Académico General

P. Luis Antonio ALFONSO VARGAS, O. P.

Rector Seccional Villavicencio

P. Juan Francisco CORREA HIGUERA, O.P.

Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN

Secretaria General Seccional Villavicencio

PhD. Raquel Beatriz ROMERO PUENTES

Decano de la Facultad de Ingeniería Ambiental

Contenido

	Pág.
Resumen.....	9
Objetivos.....	10
Objetivo General	10
Objetivos Específicos.....	10
1. Justificación	11
2. Pertinencia Social.....	13
3. Antecedentes	14
4. Marco teórico	16
4.1 Biodigestor.....	16
4.2 Biogás	16
4.3 Proceso anaerobio	17
4.4 Demanda biológica de oxígeno (DBO).....	17
5. Marco legal y normativo.....	18
6. Alcance del proyecto.....	19
7. Metodología.....	20
7.1 Recolección de datos.....	20
7.2 Evaluación de viabilidad.....	20
7.3 Diseño del biodigestor	21
7.4 Capacitación y socialización.....	21
7.5 Validación y registro del proceso	22
8. Análisis y Resultados.....	23
8.1 Caracterización y Cuantificación de Residuos Orgánicos Generados.....	23
8.2 Evaluación de Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental	24
8.2.1 Análisis de Viabilidad Técnica	25
8.2.2 Viabilidad Económica.....	26
8.2.3 Viabilidad Ambiental.....	28
8.3 Diseño y Dimensionamiento del Biodigestor Tipo Domo.....	30

8.3.1	Parámetros de Diseño	30
8.3.2	Cálculos de Dimensionamiento	30
8.3.3	Producción Estimada de Biogás y Biofertilizante — Resultado	31
8.3.4	Análisis del Diseño y Producción Estimada	32
Conclusiones		33
Recomendaciones		34
Referencias.....		35
Anexos		37

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Generación promedio semanal de residuos orgánicos — La Fazenda	23
Tabla 2 Especificaciones de materiales del biodigestor tipo domo	25
Tabla 3 Análisis económico de producción mensual de biogás y biofertilizante — La Fazenda	28
Tabla 4 Parámetros de diseño del biodigestor — La Fazenda.....	30
Tabla 5 A.1.1. Registro de Pesaje — Octubre 2024	37
Tabla 6 A.1.2. Resumen por planta — Octubre 2024.....	38
Tabla 7 A.1.3. Registro de Pesaje — noviembre 2024	38
Tabla 8 A.1.4. Resumen por planta — Noviembre 2024.....	39
Tabla 9 .1.1. Registro de pesaje de residuos orgánicos — Diciembre 2024.....	39
Tabla 10 .1.2. Resumen por planta — Diciembre 2024.....	40
Tabla 11 .1.1. Consolidado trimestral de generación de residuos orgánicos — Oct. a Dic. 2024	40

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 A1. Tiquete de báscula — Gestor Bioagrícola del Llano (Nota. La Fazenda, 2024)...	42
Figura 2 A2. Tiquete de báscula — Gestor Fácil Soluciones (Nota. La Fazenda, 2024).....	42
Figura 3 A3. Registro de pesaje semanal de residuos orgánicos (Nota. La Fazenda, 2024)	43
Figura 4 A4. Remisión de salida de residuos — planta extractora (Nota. La Fazenda, 2024)...	43
Figura 5 A5. Tiquete de báscula — período de acumulación diciembre (Nota. La Fazenda, 2024)	44
Figura 6 A6. Control de rutas de recolección de residuos orgánicos (Nota. La Fazenda, 2024)	44
Figura 7 A7. Formato de despacho de residuos sólidos — ruta consolidada (Nota. La Fazenda, 2024)	45
Figura 8 A8. Soporte documental de gestión de residuos — área de acopio (Nota. La Fazenda, 2024)	45
Figura 9 A9. Formato de despacho de residuos sólidos consolidado al final de la ruta (Nota. La Fazenda, 2024).....	46

Lista de Anexos

	Pág.
Anexo A A.1 Registros de Pesaje de Residuos Orgánicos — Octubre, Noviembre y Diciembre 2024.....	37
Anexo B.1 Registro de Pesaje — Diciembre 2024.....	39
Anexo C.1 Consolidado Trimestral — Octubre a Diciembre 2024.....	40
Anexo D .1 Análisis del Consolidado Trimestral	41
Anexo E Evidencias Documentales — Tiquetes de Báscula.....	41

Resumen

La Fazenda es una empresa agroindustrial ubicada en el municipio de Puerto Gaitán, en el departamento del Meta, reconocida a nivel nacional por su alto desempeño en procesos productivos, desarrollo de cultivos, avances en genética y fortalecimiento de procesos educativos y tecnológicos dentro del sector agroindustrial. Esta organización consolidó su posicionamiento gracias a la implementación de estrategias productivas eficientes y sostenibles, desarrolladas en un área aproximada de 35.000 hectáreas destinadas a cultivos y a la operación de diferentes plantas de procesamiento agroindustrial.

Dentro de sus procesos productivos, se identificó la generación significativa de residuos orgánicos derivados principalmente de las impurezas del maíz y la soya provenientes de la planta de balanceados y de la planta extractora. Estos subproductos, si bien forman parte natural del procesamiento agroindustrial, representaron un desafío en términos de manejo ambiental adecuado y aprovechamiento eficiente de los recursos.

En este proceso, se planteó el diseño de un biodigestor orientado al tratamiento y aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en las plantas agroindustriales de La Fazenda. La propuesta se fundamentó en la aplicación de procesos de digestión anaerobia, mediante los cuales fue posible transformar dichos residuos en biogás, como fuente alternativa de energía, y en biofertilizante, útil para el fortalecimiento de los sistemas productivos agrícolas.

La implementación de esta tecnología puede contribuir al fortalecimiento de estrategias de sostenibilidad ambiental dentro de la empresa, promoviendo la reducción de impactos asociados a la disposición de residuos, la optimización del uso de recursos orgánicos y la disminución de costos energéticos en los procesos productivos. De esta manera, el proyecto se orientó hacia la integración de prácticas de economía circular y gestión ambiental responsable en el contexto agroindustrial.

A partir de los parámetros de generación de residuos se diseñó un biodigestor tipo domo de mezcla completa, el cual fue considerado adecuado para el manejo de residuos orgánicos de origen agroindustrial. El sistema se dimensionó con un volumen total de 57 m³ por reactor (39 m³ cámara de fermentación + 13 m³ domo, con factor de seguridad del 10%), con una carga diaria de 642 kg/día $\rightarrow V_d = 642 \text{ kg (residuos)} + 642 \text{ kg (agua)} = 1.284 \text{ kg/día}$, con una relación de mezcla 1:1 (residuos orgánicos : agua) $\rightarrow$ carga semanal: 8.988 kg/semana $\approx$ 9.000 kg/semana para favorecer el proceso de digestión anaerobia.

Objetivos

Objetivo General

Se diseña un biodigestor para el aprovechamiento de los residuos agrícolas generados en las instalaciones agroindustriales de La Fazenda (Puerto Gaitán, Km 88), mediante la aplicación de procesos de digestión anaerobia que permitieron su transformación en biogás como fuente de energía renovable y en biofertilizante, con el fin de promover la gestión sostenible de los residuos orgánicos, reducir el impacto ambiental y optimizar el aprovechamiento de los recursos energéticos dentro del sistema productivo agroindustrial.

Objetivos Específicos

1. Identificar los residuos orgánicos generados en las plantas de balanceados y en la planta extractora de las instalaciones agroindustriales, con el fin de determinar su composición y potencial de aprovechamiento en procesos de biodigestión.
2. Evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental para la implementación de un biodigestor, considerando las características de los residuos generados, los requerimientos operativos y los posibles beneficios en términos de sostenibilidad y aprovechamiento energético.
3. Diseñar un biodigestor acorde con las características fisicoquímicas y las cantidades de residuos generados en las instalaciones agroindustriales, con el propósito de optimizar su tratamiento mediante procesos de digestión anaerobia y favorecer la producción de biogás y biofertilizante.

1. Justificación

La producción agroindustrial generó grandes volúmenes de residuos orgánicos que, en ausencia de una gestión adecuada, representaron un riesgo ambiental significativo, asociado a la contaminación de suelos y cuerpos de agua, la proliferación de plagas, la generación de olores ofensivos y la emisión de gases de efecto invernadero (Gonzales y Forero, 2020). En el caso de las instalaciones agroindustriales de La Fazenda, los residuos derivados del procesamiento de maíz y soya constituyeron un desafío en términos de manejo, disposición final y tratamiento ambiental.

Durante el desarrollo del estudio se evidenció que, en promedio, las plantas agroindustriales generaron entre 4 y 5 toneladas semanales de residuos orgánicos, alcanzando en algunos periodos hasta 6 toneladas (ver anexos). Debido a esta alta generación de residuos, la empresa recurrió a servicios externos de recolección y disposición final, prestados por las empresas Bioagrícola del Llano y Fácil Soluciones. Sin embargo, al tratarse de una planta agroindustrial con operación continua, la cantidad de residuos generados representó un incremento en los costos operativos asociados a su manejo y disposición.

Frente a esta situación, se planteó la implementación de un biodigestor como una alternativa tecnológica sostenible para el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados. Mediante el proceso de digestión anaerobia, estos residuos pudieron ser transformados en biogás, utilizado como fuente de energía renovable, y en biofertilizante rico en nutrientes, susceptible de ser reincorporado en los sistemas productivos agrícolas. De esta manera, se promovió el aprovechamiento eficiente de los subproductos agroindustriales, contribuyendo a la reducción de los impactos ambientales y al fortalecimiento de prácticas de economía circular dentro de la empresa.

Desde el punto de vista económico, el uso de un biodigestor permitió proyectar una reducción en los costos asociados a la recolección y disposición de residuos, al disminuir el volumen gestionado por los proveedores externos. Asimismo, la producción de biogás representa una fuente alternativa de energía que puede ser aprovechada en los procesos productivos, reduciéndose el consumo de combustibles convencionales. Adicionalmente, el biofertilizante generado constituye un insumo de valor para las actividades agrícolas de la empresa o para su posible comercialización, generando un valor agregado a partir de residuos que anteriormente eran considerados desechos.

En este sentido, el desarrollo del presente proceso contribuye al fortalecimiento de estrategias de gestión ambiental sostenible dentro del sector agroindustrial, mediante la implementación de alternativas tecnológicas orientadas al aprovechamiento eficiente de los residuos orgánicos generados en los procesos productivos. A partir de este enfoque, se promovió la valorización de dichos residuos a través de su transformación en recursos útiles, lo que permitió disminuir los impactos ambientales asociados a su disposición inadecuada y optimizar el uso de los recursos energéticos dentro del sistema productivo, consolidando así un modelo de gestión basado en principios de sostenibilidad y economía circular.

2. Pertinencia Social

En términos de responsabilidad social y ambiental, el desarrollo de este proyecto **fortaleció la gestión corporativa de la empresa**, al alinearla con principios de sostenibilidad y compromiso con la protección del medio ambiente. Asimismo, promovió una gestión más eficiente de los recursos naturales mediante la implementación de estrategias orientadas al aprovechamiento de residuos orgánicos, contribuyendo a la mitigación de los efectos asociados al cambio climático y al cumplimiento de la normativa ambiental vigente.

En este contexto, el proyecto no solo representó una alternativa tecnológica para la gestión y valorización de los residuos agroindustriales, sino también una oportunidad para transformar una problemática ambiental en un beneficio económico y ecológico para la organización. A través del diseño del biodigestor, fue posible plantear un modelo de aprovechamiento sostenible que favoreció la reducción de impactos ambientales y el fortalecimiento de la eficiencia en los procesos productivos.

De igual manera, esta propuesta se articuló con enfoques de gestión ambiental empresarial orientados al mejoramiento continuo y a la sostenibilidad, como los promovidos por estándares internacionales de gestión ambiental, entre ellos la norma **ISO 14001:2015**, la cual orienta a las organizaciones hacia la reducción de su huella ambiental, el uso responsable de los recursos naturales y la implementación de acciones encaminadas a la mitigación del cambio climático. De esta manera, el proyecto contribuyó al fortalecimiento de prácticas empresariales responsables y a la consolidación de un modelo de producción más sostenible en el sector agroindustrial.

3. Antecedentes

Los biodigestores han sido ampliamente utilizados como una alternativa tecnológica para el manejo y aprovechamiento de residuos orgánicos en diferentes contextos agroindustriales, debido a su capacidad para transformar la biomasa residual en fuentes de energía renovable y subproductos con valor agronómico.

En Colombia, un estudio desarrollado por K. L. Sandoval Niño presentó el diseño teórico de un biodigestor tipo chino para el tratamiento de gallinaza en una finca avícola. En esta investigación se seleccionó dicho modelo debido a su eficiencia en términos de costos, durabilidad y capacidad de producción de biogás. El diseño incluyó cálculos técnicos relacionados con la capacidad de los tanques de mezcla, digestión y compensación, así como la estimación de los costos de implementación. El objetivo principal consistió en aprovechar los residuos orgánicos generados en la actividad avícola para la producción de biogás, contribuyendo a la reducción de la dependencia de combustibles fósiles (Sandoval Niño, 2021).

De manera similar, en la provincia de Guayas, en Ecuador, J. Arce Cabrera desarrolló un proyecto enfocado en la implementación de un biodigestor para la producción de biogás y fertilizantes orgánicos a partir de estiércol animal. Este estudio evidenció la capacidad de esta tecnología para mitigar los impactos ambientales derivados de la actividad ganadera, al mismo tiempo que favoreció la autosuficiencia energética en zonas rurales (Arce Cabrera, 2011).

Por otra parte, investigaciones desarrolladas por N. L. Panwar y A. K. Kurchania destacaron que el biogás producido mediante digestión anaerobia de biomasa en digestores domésticos de bajo costo representó una alternativa viable para la transición hacia fuentes de energía renovable, especialmente en áreas rurales. Según estos autores, la digestión anaerobia constituyó una tecnología atractiva para la generación de energía debido a su bajo costo de implementación y a la optimización continua de sus procesos. Asimismo, señalaron que diversos sustratos, como aguas residuales, residuos de origen animal y lodos de depuradora, fueron ampliamente utilizados en sistemas de digestión anaerobia (Panwar y Kurchania, 2010).

En el contexto regional, estudios realizados en el departamento del Meta, particularmente en el municipio de Lejanías, evidenciaron condiciones favorables para el desarrollo de proyectos de aprovechamiento energético de biomasa. De acuerdo con D. Hernández, D. Mateus y J. Orlando, los suelos de esta región se caracterizaron por su adecuado drenaje y alta fertilidad, lo

que posicionó al territorio como una zona con alto potencial agronómico dentro de la Orinoquía colombiana (Hernández, Mateus y Orlando, 2014).

En este mismo contexto, investigaciones desarrolladas por F. Müller y P. A. Victoria de Oliveira analizaron el aprovechamiento de subproductos agropecuarios mediante biodigestores de flujo continuo tipo tubular, fabricados en polietileno y con periodos específicos de retención. Estos sistemas permitieron proyectar capacidades orientadas a la sustitución de fuentes convencionales de energía contaminante, al tiempo que generaron subproductos estabilizados como el biol, utilizado como fertilizante orgánico en los sistemas productivos agrícolas (Müller y Victoria de Oliveira, 2011).

Finalmente, en el manejo de residuos agrícolas, particularmente del maíz, los estudios desarrollados por Cardoso Martínez y Escobar Rojas demostraron que los efluentes derivados de procesos de digestión anaerobia constituyeron una fuente efectiva de biofertilizante. Los resultados evidenciaron mejoras en las propiedades del suelo, tales como el pH y el contenido de materia orgánica, así como un mejor aprovechamiento de los residuos de maíz dentro de los sistemas productivos agrícolas (Martínez y Escobar Rojas, 2019).

Estos antecedentes evidenciaron la viabilidad técnica, ambiental y energética de los biodigestores como alternativa para el manejo sostenible de residuos orgánicos, así como su potencial para contribuir al aprovechamiento de subproductos agroindustriales y a la generación de energía renovable.

4. Marco teórico

4.1 Biodigestor

El biodigestor se define como un sistema cerrado o semihermético diseñado para el tratamiento y aprovechamiento de residuos orgánicos mediante procesos de digestión anaerobia. En este sistema, la materia orgánica se degrada por la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno, generando una mezcla gaseosa compuesta principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas concentraciones de otros gases como ácido sulfhídrico (H_2S) e hidrógeno (H_2).

Los biodigestores se clasifican de acuerdo con diferentes criterios técnicos, entre los cuales se destacan la tecnología de producción de gas, el tiempo de retención hidráulica, el tipo de alimentación o carga del sistema (continua o discontinua) y los materiales utilizados en su construcción. Estos sistemas representan una alternativa eficiente para el tratamiento de residuos orgánicos, permitiendo su transformación en fuentes de energía renovable y subproductos con valor agronómico, tales como biofertilizantes (González y Forero, 2020).

4.2 Biogás

El biogás se describe como una mezcla gaseosa generada a partir de la descomposición de materia orgánica mediante procesos de digestión anaerobia. Su composición constituye principalmente metano y dióxido de carbono, acompañados de pequeñas cantidades de otros gases como vapor de agua, hidrógeno y ácido sulfhídrico.

Debido a su alto contenido de metano, el biogás presenta un importante potencial energético, lo que permitió su aprovechamiento como fuente de energía renovable para la generación de calor, electricidad o combustible en diferentes procesos productivos. En este sentido, la producción de biogás representa una alternativa sostenible para el tratamiento y valorización de residuos orgánicos, contribuyendo al aprovechamiento de la biomasa residual y al fortalecimiento de estrategias de desarrollo energético sostenible (González y Forero, 2020).

4.3 Proceso anaerobio

El proceso anaerobio es un proceso biológico mediante el cual la materia orgánica se degrada en ausencia de oxígeno por la acción de microorganismos anaerobios. Este proceso se desarrolla a través de una serie de reacciones bioquímicas complejas que permiten la transformación de compuestos orgánicos en productos finales como metano, dióxido de carbono y biomasa microbiana.

La digestión anaerobia se lleva a cabo en cuatro etapas principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Durante la fase de hidrólisis, los compuestos orgánicos complejos, como carbohidratos, proteínas y lípidos, se descomponen en moléculas más simples mediante la acción de enzimas hidrolíticas. Posteriormente, en la etapa de acidogénesis, estos productos se transforman en ácidos orgánicos volátiles, alcoholes, dióxido de carbono e hidrógeno. En la fase de acetogénesis, los compuestos intermedios generados se convierten principalmente en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, que finalmente se transforman en metano durante la etapa de metanogénesis, proceso llevado a cabo por microorganismos metanogénicos especializados (Manrique, Muñico y Torre, 2015).

4.4 Demanda biológica de oxígeno (DBO)

Durante el proceso de digestión anaerobia se produce una reducción significativa de la carga orgánica de los residuos, la cual se evalúa comúnmente mediante parámetros como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO). Este indicador permite determinar la cantidad de oxígeno requerida por los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en un medio determinado, constituyéndose en un parámetro fundamental para evaluar el grado de contaminación orgánica y la eficiencia de los procesos de tratamiento biológico (Pedraza, Chara y Giraldo, 2002).

5. Marco legal y normativo

El desarrollo del presente proyecto se fundamentó en el cumplimiento de la normativa ambiental vigente en Colombia, orientada a la protección del medio ambiente, el manejo adecuado de residuos y la promoción del uso de tecnologías sostenibles para el aprovechamiento de recursos naturales.

En primer lugar, la gestión ambiental en Colombia se estructura a partir de la Ley 99 de 1993, mediante la cual se creó el Ministerio de Ambiente y el Sistema Nacional Ambiental (SINA). Esta normativa estableció los principios generales para la protección del medio ambiente y el uso sostenible de los recursos naturales, promoviendo la implementación de estrategias que permitieran prevenir, mitigar y controlar los impactos ambientales generados por las actividades productivas.

Asimismo, el marco regulatorio ambiental colombiano se consolidó a través del Decreto 1076 de 2015, conocido como el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta norma compiló las disposiciones relacionadas con la gestión ambiental, el manejo de recursos naturales y la regulación de actividades que puedan generar impactos sobre el entorno, estableciendo lineamientos para el control y prevención de la contaminación ambiental.

6. Alcance del proyecto

El presente proyecto contempló el diseño, la implementación y la evaluación de un biodigestor en las instalaciones agroindustriales de La Fazenda, ubicadas en Puerto Gaitán, con el propósito de optimizar la gestión de los residuos orgánicos generados en los procesos de procesamiento de maíz y soya. Para el cumplimiento de este objetivo, el estudio se desarrolló a través de varias fases orientadas al análisis técnico de los residuos, el diseño del sistema, su implementación operativa y la capacitación del personal involucrado.

En una primera etapa, se realizó la **caracterización de los residuos orgánicos generados en las plantas agroindustriales**, mediante un análisis detallado de los desechos provenientes de los procesos de extracción y transformación de maíz y soya. En esta fase se determinó el volumen de generación, su composición fisicoquímica y su grado de biodegradabilidad. Asimismo, se identificaron las impurezas predominantes y se evaluaron parámetros como el contenido de humedad, carbono, nitrógeno y otros elementos relevantes para establecer la viabilidad de estos residuos como sustrato en el proceso de digestión anaerobia. De igual manera, se analizó la frecuencia de generación de los residuos y su variabilidad temporal, con el fin de definir los parámetros adecuados de alimentación del biodigestor.

Posteriormente, se desarrolló el **diseño técnico del biodigestor**, el cual fue adaptado a las condiciones operativas y a las necesidades específicas de la empresa. En esta fase se definieron las características estructurales del sistema, incluyendo su capacidad de almacenamiento, los materiales de construcción, el sistema de alimentación de residuos, las cámaras de digestión y los mecanismos para la extracción de biogás y biofertilizante. Asimismo, se seleccionó el tipo de biodigestor más adecuado de acuerdo con el volumen de residuos generados y las condiciones operativas del sistema productivo. Adicionalmente, se planteó un sistema de monitoreo y control de variables operativas como temperatura, pH y tiempo de retención hidráulica, con el propósito de optimizar la eficiencia del proceso de digestión anaerobia. En esta etapa también se realizaron proyecciones relacionadas con la producción potencial de biogás y biofertilizante, con el fin de evaluar su impacto en la reducción de costos energéticos y en la sostenibilidad del sistema agroindustrial.

7. Metodología

La metodología empleada para el desarrollo del presente proyecto se estructuró en varias fases orientadas a la recolección de información, evaluación de viabilidad, diseño técnico del biodigestor y capacitación del personal. Estas etapas permitieron consolidar una propuesta técnica fundamentada en el análisis de las condiciones operativas de la empresa y en el aprovechamiento sostenible de los residuos orgánicos generados en las plantas agroindustriales de **La Fazenda**, ubicadas en **Puerto Gaitán**.

7.1 Recolección de datos

En la primera fase se realizó la recopilación y análisis de información relacionada con la generación de residuos orgánicos provenientes de las plantas de Balanceado y Extractora. Para ello, se llevó a cabo el seguimiento sistemático de los registros de pesaje contenidos en los tickets de báscula suministrados por las empresas gestoras encargadas de la recolección de residuos, **Bioagrícola del Llano y Fácil Soluciones**.

A partir de esta información se determinó el promedio semanal de generación de residuos orgánicos. Esta caracterización permitió identificar el volumen de residuos disponibles para el proceso de digestión anaerobia y establecer parámetros preliminares de alimentación para el sistema propuesto.

De manera complementaria, se realizó una estimación de las condiciones ambientales y físicas del predio destinadas a la posible instalación del biodigestor, considerando variables como disponibilidad de espacio, accesibilidad logística, condiciones climáticas de la región y características del suelo.

7.2 Evaluación de viabilidad

En una segunda etapa se efectuó la evaluación de la viabilidad técnica, económica y ambiental del sistema propuesto. Para ello se desarrolló un análisis costo-beneficio orientado a estimar los posibles ahorros derivados de la reducción en los costos de recolección externa de residuos y del aprovechamiento energético del biogás generado.

Desde el punto de vista económico, se proyectó una disminución en los costos asociados a la disposición final de residuos, al reducir el volumen total enviado a gestores externos. Asimismo, se estimó un ahorro potencial derivado del aprovechamiento del biogás en procesos térmicos internos de la empresa y del uso del biofertilizante como insumo agrícola en cultivos propios, lo cual contribuiría a disminuir la adquisición de fertilizantes comerciales.

Adicionalmente, se realizó una estimación preliminar del potencial de producción de biogás a partir de los residuos caracterizados, con el fin de determinar la viabilidad energética del sistema dentro del contexto productivo de la empresa.

7.3 Diseño del biodigestor

Con base en la información obtenida durante la caracterización de residuos y el análisis de viabilidad, se procedió al diseño técnico del biodigestor. En esta fase se seleccionaron los materiales más adecuados para la construcción del sistema, priorizando el uso de **concreto reforzado con acero inoxidable y estructura tipo domo** debido a su vida útil superior a 20 años, su resistencia estructural y su capacidad de operar con grandes volúmenes de residuos orgánicos en condiciones industriales.

Durante esta fase también se evaluaron las condiciones técnicas y ambientales del predio para la posible instalación del biodigestor, verificándose que el clima de la región y las características del suelo presentaban condiciones favorables para el desarrollo del proceso de digestión anaerobia.

7.4 Capacitación y socialización

Finalmente, se desarrolló un proceso de capacitación dirigido al personal operativo de la empresa. Para ello se programaron jornadas de formación en las tres jornadas laborales de la planta, con el propósito de socializar las ventajas de un biodigestor, los principios del proceso de digestión anaerobia y los beneficios ambientales y productivos derivados del aprovechamiento del biogás y del biofertilizante.

Estas actividades permitieron fortalecer el conocimiento del personal sobre la importancia del manejo adecuado de los residuos orgánicos y su contribución a las estrategias de sostenibilidad de la empresa.

7.5 Validación y registro del proceso

Como parte final de la metodología, se elaboró un cronograma de actividades ejecutadas durante el periodo de práctica profesional, el cual permitió validar cada una de las fases del proyecto. Este proceso fue respaldado mediante registros documentales, evidencias fotográficas de los residuos generados, las rutas de recolección y el diseño estructural propuesto del biodigestor.

La sistematización de esta información permitió evidenciar el cumplimiento de las actividades planteadas y consolidar la propuesta técnica orientada al aprovechamiento sostenible de los residuos orgánicos generados en el sistema agroindustrial.

8. Análisis y Resultados

8.1 Caracterización y Cuantificación de Residuos Orgánicos Generados

A partir del seguimiento sistemático de los registros de pesaje contenidos en los tickets de báscula (Anexo A) suministrados por las empresas gestoras Bioagrícola del Llano y Fácil Soluciones, se determinó que, en condiciones normales de operación, el volumen de residuos orgánicos generados en las plantas de Balanceado y Extractora osciló entre 4.000 kg y 5.000 kg semanales (ver Tabla 1). Los residuos identificados estuvieron compuestos principalmente por impurezas derivadas del maíz y la soya, subproductos propios del proceso agroindustrial.

El cronograma de recolección operó bajo la siguiente lógica logística:

- Gestor Bioagrícola del Llano: recolección programada los días sábado y lunes.
- Gestor Fácil Soluciones: recolección programada los días miércoles.

Durante el mes de diciembre se registró una variación atípica con acumulaciones que superaron los 6.000 kg semanales, originada por la ausencia temporal del gestor responsable durante el período de receso de fin de año.

Tabla 1 *Generación promedio semanal de residuos orgánicos — La Fazenda*

Período / Condición	Generación mínima (kg/sem)	Generación máxima (kg/sem)	Observación
Operación normal	4.000	5.000	Flujo regular
Receso de fin de año (diciembre)	5.500	6.000+	Acumulación
Promedio ponderado	4.500	642 kg/día	Base de diseño

Nota. Elaborado con base en tickets de báscula — Bioagrícola del Llano y Fácil Soluciones.

Los datos obtenidos revelaron un flujo de residuos relativamente estable y técnicamente viable para su tratamiento mediante digestión anaerobia de escala mediana. Con una generación promedio de 4.500 kg semanales (equivalente a 642 kg/día), se proyectó una carga orgánica continua capaz de sostener la operación eficiente de un biodigestor bajo condiciones controladas de temperatura, pH y tiempo de retención hidráulica.

Según González y Forero (2020), los biodigestores se desempeñan de manera óptima cuando reciben sustratos con carga orgánica estable, lo cual favorece la colonización y el metabolismo de los microorganismos anaerobios responsables de la producción de biogás. En este contexto, la regularidad observada en la generación de residuos de La Fazenda constituye una condición favorable para el proceso biológico.

La variación atípica registrada en diciembre —que superó los 6.000 kg semanales— evidenció una vulnerabilidad estructural en el modelo de gestión actual, basado exclusivamente en la recolección externa. Esta situación refuerza la pertinencia de implementar un sistema interno de biodigestión que permita absorber los picos de generación y garantizar el tratamiento continuo de los residuos, independientemente de la disponibilidad de gestores externos. Tal como señala Sandoval Niño (2021), la disposición irregular de residuos orgánicos puede comprometer la eficiencia del proceso y generar impactos ambientales no deseados.

Asimismo, la composición de los residuos —mayoritariamente impurezas de maíz y soya— confiere al sustrato un adecuado potencial de biodegradabilidad. Martínez y Escobar Rojas (2019) demostraron que los efluentes derivados de la digestión anaerobia de residuos de maíz constituyen una fuente efectiva de biofertilizante, con mejoras documentadas en propiedades del suelo como pH y contenido de materia orgánica.

8.2 Evaluación de Viabilidad Técnica, Económica y Ambiental

Con base en los resultados de la caracterización de residuos y el análisis de las condiciones operativas de la empresa, se determinó la viabilidad técnica de implementar un biodigestor tipo domo de mezcla completa, fabricado en concreto reforzado con estructura cilíndrica y cúpula semiesférica. Este tipo de sistema fue seleccionado por su eficiencia en el tratamiento de grandes volúmenes de residuos orgánicos, su hermeticidad, su resistencia estructural y su vida útil superior a 20 años (Casanovas G. y Vecchia F., 2019).

El sistema contempla alimentación continua del sustrato orgánico, recolección del biogás en la cúpula superior y extracción del biofertilizante por la tubería de salida inferior. El proceso de digestión anaerobia se desarrolla en cuatro etapas principales: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis (Manrique, Muñico y Torre, 2015).

8.2.1 *Análisis de Viabilidad Técnica*

Los resultados obtenidos en la evaluación técnica confirman que el biodigestor tipo domo de mezcla completa es la tecnología más adecuada para las condiciones operativas de La Fazenda. La disponibilidad continua de residuos orgánicos con composición relativamente homogénea — impurezas de maíz y soya— garantiza la estabilidad del sustrato, condición fundamental para el desempeño eficiente del proceso anaerobio.

Panwar y Kurchania (2010) señalan que la digestión anaerobia constituye una tecnología atractiva para la generación de energía debido a su bajo costo de implementación y a la optimización continua de sus procesos, siendo ampliamente utilizable con sustratos de origen agroindustrial. En este sentido, las condiciones de La Fazenda se alinean favorablemente con los parámetros técnicos documentados en la literatura.

La temperatura media de la región del Meta, que oscila entre 26 y 30 °C, favorece la actividad de los microorganismos mesófilos responsables de la metanogénesis, lo que reduce la necesidad de sistemas de calentamiento adicionales y contribuye a la viabilidad técnica del sistema (Hernández, Mateus y Orlando, 2014). Adicionalmente, la disponibilidad de espacio dentro de las instalaciones y la infraestructura logística existente facilitan la integración del biodigestor en los procesos productivos de la empresa.

Tabla 2 *Especificaciones de materiales del biodigestor tipo domo*

Componente	Material Recomendado	Observaciones
Cuerpo principal (reactor)	Concreto reforzado + cúpula esférica	Resistente a UV y gases
Tuberías de alimentación y descarga	PVC de 3" o 4"	Alta durabilidad
Válvula de gas	PVC + válvula de globo metálica	Control de presión
Trampa de agua (H ₂ S)	Botella plástica o tubo con agua jabonosa	Retiene ácido sulfhídrico
Almacenamiento de biogás	Tanque flexible o gasómetro	Económico y seguro
Base de soporte	Camas de arena o bloque nivelado	Protección estructural

Nota. Elaborado con base en especificaciones técnicas de diseño.

8.2.2 Viabilidad Económica

El análisis económico evidenció que el modelo actual de gestión de residuos implica costos logísticos recurrentes asociados a la recolección, transporte y disposición final por parte de gestores externos. La implementación del biodigestor proyectó:

- Reducción en los costos de recolección y disposición externa al disminuir el volumen de residuos enviados a terceros.
- Generación de biogás como fuente alternativa de energía térmica aprovechable en procesos internos de la empresa, reduciendo el consumo de combustibles convencionales.
- Producción de biofertilizante utilizable en los cultivos propios de La Fazenda, disminuyendo la adquisición de fertilizantes químicos comerciales.

El biodigestor tipo domo industrial presenta una inversión inicial mayor en comparación con sistemas tubulares; no obstante, su vida útil superior a 20 años y la producción continua de biogás y biofertilizante garantizan una relación costo-beneficio favorable en el largo plazo (Müller y Victoria de Oliveira, 2011).

El análisis de viabilidad económica demuestra que la implementación del biodigestor representa una inversión con retorno progresivo, sustentada en tres fuentes de ahorro y generación de valor: la reducción de costos de disposición externa, el aprovechamiento energético del biogás y la valorización del biofertilizante como insumo agrícola.

Rodríguez (2016) señala que los biodigestores implementados en contextos agroindustriales permiten recuperar la inversión inicial en plazos razonables cuando el volumen de residuos tratados es estable y superior a 500 kg/día, condición que La Fazenda cumple ampliamente con sus 642 kg/día en promedio.

Adicionalmente, la producción estimada de biogás ($64,2 \text{ m}^3/\text{día} \approx 1.926 \text{ m}^3/\text{mes}$) representa un potencial energético significativo que puede sustituir parcialmente el consumo de gas natural o combustibles líquidos en los procesos de la empresa, contribuyendo a la reducción de gastos operativos en el mediano plazo. Arce Cabrera (2011) documentó resultados similares en proyectos de biodigestión agroindustrial en Ecuador, confirmando la viabilidad económica de estos sistemas cuando el sustrato es abundante y de calidad constante.

Con el fin de cuantificar el beneficio económico proyectado, se realizó una estimación del valor de mercado de los productos generados por el biodigestor, tomando como referencia los

precios vigentes en Colombia para el Gas Licuado de Petróleo (GLP) y los biofertilizantes líquidos orgánicos. A partir de los volúmenes de producción mensual obtenidos en el dimensionamiento, se calculó el ahorro o ingreso potencial mensual asociado a cada producto.

Valorización del biogás: El biogás producido puede aprovecharse como sustituto del GLP en procesos térmicos internos de la empresa. Para establecer su valor de mercado, se empleó el factor de equivalencia documentado en la literatura técnica: 1 m³ de biogás equivale aproximadamente a 0,6 kg de GLP (Casanovas G. y Vecchia F., 2019). Con una producción mensual de 1.926 m³ de biogás, la equivalencia en GLP asciende a 1.156 kg/mes. Tomando como referencia el precio de suministro de GLP en Colombia reportado por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, el cual oscila entre \$1.577 y \$1.909 pesos por kilogramo según la fuente de producción (SSPD, 2024), se utilizó un valor promedio de \$1.743 COP/kg para el cálculo. El ahorro mensual proyectado por sustitución de GLP equivale a:

$$1.926 \text{ m}^3/\text{mes} \times 0,6 \text{ kg GLP/m}^3 = 1.156 \text{ kg GLP/mes} \times \$1.743 \text{ COP/kg} \approx \$2.014.908 \text{ COP/mes}$$

Valorización del biofertilizante: El digestato líquido generado de manera continua por el biodigestor constituye un biofertilizante orgánico de alto valor agronómico, con un contenido promedio de 2,6% de nitrógeno, 1,5% de fósforo y 1,0% de potasio (Botero y Thomas, 1987). En el mercado colombiano, el precio de biofertilizantes líquidos orgánicos de composición comparable oscila entre \$10.000 y \$12.000 COP por litro, según registros de comercialización en plataformas agrícolas nacionales (Sanagro Agricultura, 2024). El biodigestor genera de manera continua un volumen de digestato aprovechable estimado en aproximadamente 1.000 litros por mes (equivalente al volumen del silo de almacenamiento de 1 m³). El valor comercial mensual del biofertilizante producido equivale a:

$$1.000 \text{ L/mes} \times \$10.250 \text{ COP/L (precio promedio)} \approx \$10.250.000 \text{ COP/mes}$$

La Tabla 6 resume los valores de producción mensual, los precios de referencia del mercado colombiano y el beneficio económico proyectado para cada producto del biodigestor.

Tabla 3 *Análisis económico de producción mensual de biogás y biofertilizante — La Fazenda*

Producto	Producción mensual	Precio de referencia (COP)	Beneficio económico mensual	Aplicación potencial
Biogás (equiv. GLP)	1.926 m ³ /mes → 1.156 kg GLP eq.	\$1.743/kg (SSPD, 2024)	≈ \$2.014.908 COP/mes	Ahorro en combustible (procesos térmicos)
Biofertilizante líquido (digestato)	≈ 1.000 L/mes	\$10.250/L (prom. mercado)	≈ \$10.250.000 COP/mes	Sustitución de fertilizantes químicos / comercialización
TOTAL BENEFICIO MENSUAL			≈ \$12.264.908 COP/mes	

Nota. Precios de referencia: SSPD (2024) para GLP; Sanagro Agricultura (2024) para biofertilizante líquido.

Los resultados del análisis económico evidencian que la operación mensual del biodigestor genera un beneficio potencial total estimado en \$12.264.908 COP, distribuido entre el ahorro por sustitución de GLP (\$2.014.908 COP/mes) y el valor comercial del biofertilizante líquido producido (\$10.250.000 COP/mes). Este último representa el componente de mayor impacto económico, dado que el digestato puede ser utilizado directamente en los cultivos de maíz y soya de La Fazenda, sustituyendo la adquisición de fertilizantes químicos comerciales, o alternativamente ser comercializado como insumo agronómico a terceros. Proyectado al año, el beneficio económico total asciende a aproximadamente \$147.178.896 COP, lo que respalda de manera cuantitativa la viabilidad económica del sistema y fortalece la argumentación del retorno de inversión en el mediano plazo.

8.2.3 Viabilidad Ambiental

Desde el punto de vista ambiental, la evaluación confirmó que los residuos de maíz y soya presentan condiciones adecuadas para su aprovechamiento mediante digestión anaerobia. La implementación del sistema contribuye a:

- Reducción de la carga orgánica transportada a centros de disposición externa, disminuyendo riesgos de contaminación de suelo, agua y aire.

- Disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas a la descomposición incontrolada de residuos orgánicos, especialmente metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2).
- Promoción de prácticas agrícolas más sostenibles mediante el uso de biofertilizante orgánico, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos.
- Fortalecimiento de la política ambiental empresarial, alineando la operación con los principios de la norma ISO 14001:2015 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Los resultados de la evaluación ambiental evidencian que la implementación del biodigestor constituye una estrategia ambientalmente favorable y coherente con los marcos normativos colombianos vigentes, incluyendo la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015 y la Ley 1715 de 2014 sobre energías renovables no convencionales.

Desde la perspectiva del cambio climático, la biometanización de residuos orgánicos agroindustriales permite capturar el metano que de otro modo se liberaría a la atmósfera durante la descomposición aeróbica o la disposición en rellenos sanitarios. El metano tiene un potencial de calentamiento global 28 veces superior al CO_2 en un horizonte de 100 años, por lo que su captura y aprovechamiento como biogás representa un beneficio ambiental significativo (González y Forero, 2020).

Asimismo, la generación de biofertilizante permite cerrar el ciclo de nutrientes dentro del sistema productivo agroindustrial, favoreciendo la economía circular. Pedraza, Chará y Giraldo (2002) documentaron que los digestatos producidos en biodigestores con sustratos de origen vegetal presentan reducción significativa de la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y mejoras en la estabilidad de la materia orgánica, lo que reduce el riesgo de contaminación hídrica al aplicarse como enmienda orgánica en cultivos.

Finalmente, la implementación del biodigestor proyecta una reducción en la huella de carbono de la empresa y fortalece su posicionamiento como organización comprometida con el desarrollo sostenible, aspectos cada vez más valorados en los mercados agroindustriales nacionales e internacionales.

8.3 Diseño y Dimensionamiento del Biodigestor Tipo Domo

8.3.1 Parámetros de Diseño

Con base en los parámetros de generación de residuos caracterizados y siguiendo la metodología de dimensionamiento para biodigestores de mezcla completa (Olaya, 2006; Paul, 2017), se establecieron los siguientes parámetros fundamentales para el diseño:

Tabla 4 *Parámetros de diseño del biodigestor — La Fazenda*

Parámetro	Valor	Unidad
Generación promedio diaria de residuos	642	kg/día
Relación de mezcla (residuos : agua)	1 : 1	—
Carga diaria total (Vd)	1.284	kg/día
Carga semanal total	8.988 $\approx$ 9.000	kg/semana
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	30	días
Densidad del agua (referencia)	997	kg/m ³

Nota. Metodología basada en Olaya (2006) y Paul (2017).

8.3.2 Cálculos de Dimensionamiento

A partir de los parámetros establecidos, se realizaron los cálculos de dimensionamiento siguiendo la metodología estándar para biodigestores tipo domo de mezcla completa (Paul, 2017; Olaya, 2006):

Volumen de la cámara de fermentación (Vcf):

$$V_{cf} = V_d \times TRH = 1.284 \text{ kg/día} \times 30 \text{ días} = 38.520 \text{ kg} \rightarrow 38.520 / 997 \text{ kg/m}^3 = 38,6 \text{ m}^3 \approx 39 \text{ m}^3$$

Volumen del domo o cúpula (Vg):

$$V_g = V_{cf} \times 25 / 75 = 39 \text{ m}^3 \times 25 / 75 \approx 13 \text{ m}^3$$

El cálculo del domo corresponde al 25% del volumen total del biodigestor, destinado al almacenamiento gaseoso, de acuerdo con la metodología descrita por Paul (2017) para biodigestores de uso industrial.

Volumen total del biodigestor (Vtb):

$$V_{tb} = V_{cf} + V_g = 39 \text{ m}^3 + 13 \text{ m}^3 = 52 \text{ m}^3 \rightarrow \text{con factor de seguridad del 10\%: } V_{tb} \approx 57 \text{ m}^3 \text{ por reactor}$$

Dimensiones del reactor tipo domo:

$$\text{Radio (r)} = 2,9 \text{ m} \mid \text{Diámetro} = 5,8 \text{ m} \mid \text{Altura total} = 3,1 \text{ m (parte cilíndrica: 0,19 m + cúpula esférica: 2,9 m)}$$

Tabla 4. Dimensionamiento del biodigestor tipo domo — La Fazenda

Componente	Parámetro	Valor
Cámara de fermentación (Vcf)	Volumen	39 m ³
Domo / Cúpula (Vg)	Volumen	13 m ³
Volumen total con factor de seguridad	Volumen total (Vtb)	57 m ³
Reactor	Radio (r)	2,9 m
Reactor	Diámetro	5,8 m
Reactor	Altura total	3,1 m
Silo de biofertilizante	Volumen $\approx 1 \text{ m}^3$ Diámetro $\approx 1,1 \text{ m}$	Altura $\approx 1 \text{ m}$

Nota. Metodología de dimensionamiento: Olaya (2006); Paul (2017).

8.3.3 Producción Estimada de Biogás y Biofertilizante — Resultado

Con base en la carga orgánica diaria y los factores de conversión documentados para residuos de origen agroindustrial, se estimaron las siguientes producciones:

Producción de biogás:

$$642 \text{ kg/día de residuos} \rightarrow 100 \text{ litros de biogás por cada kg de sustrato} \rightarrow 64.200 \text{ L/día} = 64,2 \text{ m}^3/\text{día} \approx 1.926 \text{ m}^3/\text{mes}$$

(Referencia de conversión: Manual de uso del biodigestor — Gobierno de Santa Fe, 2019; Casanovas G. y Vecchia F., 2019)

Producción de biofertilizante:

$$\text{Silo de almacenamiento: Volumen} \approx 1 \text{ m}^3 \mid \text{Altura} \approx 1 \text{ m} \mid \text{Diámetro} \approx 1,1 \text{ m}$$

El biofertilizante producido puede presentarse en forma líquida o sólida. En forma líquida, proviene de digestores continuos con alta tasa de carga; en forma sólida, de digestores

semicontinuos, con buen poder fertilizante y posibilidad de comercialización (Manual de Biogás, FAO, 2011).

Tabla 5. Estimación de producción de biogás y biofertilizante

Producto	Producción diaria	Producción mensual	Aplicación potencial
Biogás ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$)	64,2 m ³ /día	1.926 m ³ /mes	Energía térmica / eléctrica
Biofertilizante (digestato)	Continuo	≈ 1 m ³ acumulado	Fertilización de cultivos

Nota. Factores de conversión: Casanovas G. y Vecchia F. (2019); Manual de Biogás FAO (2011).

8.3.4 Análisis del Diseño y Producción Estimada

El dimensionamiento obtenido es coherente con las capacidades reportadas en la literatura técnica para sistemas de biodigestión industrial de escala mediana. La tesis de referencia de Hernández y Ramírez (2019) para biodigestores con sustratos de origen orgánico documenta que la relación 1:1 entre residuos y agua, combinada con un TRH de 30 días, es la condición óptima para maximizar la producción de biogás y minimizar los tiempos de arranque del sistema.

La producción estimada de 64,2 m³/día de biogás representa un potencial energético significativo. Considerando que 1 m³ de biogás equivale aproximadamente a 0,6 kg de gas licuado de petróleo (GLP), la producción mensual de 1.926 m³ equivale a aproximadamente 1.156 kg de GLP/mes, un ahorro energético relevante para los procesos productivos de La Fazenda.

El biofertilizante generado como subproducto del proceso presenta una composición promedio de 8,5% de materia orgánica, 2,6% de nitrógeno, 1,5% de fósforo, 1,0% de potasio y pH de 7,5 (Botero y Thomas, 1987, citado en la tesis de referencia), lo que lo convierte en un insumo de alto valor agronómico para los cultivos de maíz y soya de la empresa, cerrando el ciclo de nutrientes y fortaleciendo el modelo de economía circular.

El factor de seguridad del 10% aplicado al volumen total ($V_{tb} = 57 \text{ m}^3$) es una práctica recomendada en ingeniería de biodigestores para absorber variaciones en la carga orgánica, garantizar la continuidad del proceso durante picos de generación y proveer margen de maniobra durante las fases de mantenimiento del sistema (Olaya, 2006).

Conclusiones

La caracterización de los residuos orgánicos generados en las plantas de Balanceado y Extractora de La Fazenda permitió establecer una producción promedio semanal entre 4.000 kg y 5.000 kg (642 kg/día), información que sirvió como base técnica para el dimensionamiento de un biodigestor tipo domo de mezcla completa con una capacidad total de 57 m³ por reactor. Este volumen garantiza la operación eficiente del proceso de digestión anaerobia bajo las condiciones ambientales y productivas de la empresa.

El análisis técnico, económico y ambiental realizado evidenció que la implementación del biodigestor constituye una alternativa viable, ambientalmente responsable y operativamente adaptable, alineada con los principios de economía circular y con el marco normativo ambiental colombiano vigente (Ley 99 de 1993; Decreto 1076 de 2015; Ley 1715 de 2014). La producción estimada de 1.926 m³/mes de biogás y la generación continua de biofertilizante representan beneficios concretos en términos de reducción de costos operativos y fortalecimiento de la sostenibilidad empresarial.

La variación atípica registrada en diciembre —con acumulaciones superiores a 6.000 kg semanales— puso de manifiesto la vulnerabilidad del sistema actual de gestión de residuos, basado exclusivamente en la recolección externa. En este contexto, el biodigestor propuesto no solo representa una solución energética y ambiental, sino también una estrategia de resiliencia operativa que garantiza el tratamiento continuo de los residuos independientemente de la disponibilidad de gestores externos.

Finalmente, el proceso de capacitación desarrollado con el personal operativo de la empresa fortaleció las competencias técnicas necesarias para la operación, el monitoreo y el mantenimiento del sistema, constituyendo un elemento esencial para garantizar la sostenibilidad del proyecto en el largo plazo y consolidar una cultura organizacional orientada a la gestión ambiental responsable y al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Recomendaciones

Se recomendó desarrollar procesos de capacitación técnica dirigidos al personal operativo encargado del manejo del biodigestor, abarcando las tres jornadas laborales de la empresa. Estas capacitaciones estuvieron orientadas al fortalecimiento de las competencias relacionadas con el monitoreo, operación y control del sistema, incluyendo aspectos como el seguimiento de variables operativas (pH, temperatura, carga orgánica y tiempo de retención). Con ello se buscó garantizar un funcionamiento eficiente del biodigestor, así como promover una adecuada gestión del entorno y de los residuos orgánicos generados en las plantas agroindustriales.

Se recomendó a la empresa gestionar procesos de certificación o fortalecimiento de su gestión ambiental interna, a través de la coordinación del área responsable de sostenibilidad o gestión ambiental. Para ello se sugirió documentar de manera sistemática las buenas prácticas ambientales implementadas, especialmente aquellas relacionadas con el aprovechamiento de residuos orgánicos, la producción de biogás y la generación de biofertilizante. Este proceso permitiría consolidar una cultura organizacional orientada a la sostenibilidad, la mejora continua y la responsabilidad ambiental, fortaleciendo además la trazabilidad de las acciones implementadas y su contribución al cumplimiento de estándares ambientales y de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Referencias

- Arce Cabrera, J. (2011). Diseño de un Biodigestor para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos de animales aplicable en las zonas agrarias del litoral [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. Repositorio Institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1593>
- Biogas. (2025). ¿Qué es la digestión anaeróbica? [Blog]. <https://www.biogas.es/digestion-anaerobica/>
- Cardoso-Martínez, O., & Escobar Rojas, J. J. (2019). Fertilización orgánica con composta de residuos biológicos y biodigestor, en la producción de maíz (*Zea mays* L.) en Temascaltepec, México [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México]. Repositorio Institucional. <http://hdl.handle.net/20.500.11799/105474>
- Cedecap. (s.f.). Biodigestor de polietileno: construcción y diseño. Argentino de Producción Animal. <https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/11-polietileno.pdf>
- Generalitat de Catalunya. (2024). Digestión anaerobia. https://residus.gencat.cat/es/ambits_dactuacio/valoritzacio_reciclatge/instal_lacions_de_gestio/tractament_biologic/digestio_anaerobia/index.html
- Gonzáles, E., & Forero, E. (2020). Biogas, nanotecnología, beneficios y producción. En Biogas, Nanotecnología, Beneficios y Producción (pp. 122-124). Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. <https://repositorio.accefyn.org.co/handle/001/4022>
- Hernández, D., Mateus, D., & Orlando, J. (2014). Características climáticas y balance hídrico de la lima ácida Tahití. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 217-229. http://scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732014000200005
- Manrique, I., Muñoz, A., & Torre, D. (2015). La obtención de biogás por fermentación anaerobia a partir de estiércol de porcino a nivel laboratorio. Clase Magistral de Termodinámica Química de los Procesos Químicos. Universidad del Centro del Perú. <https://es.scribd.com/doc/293911321/Obtencion-de-Biogas-Por-Fermentacion-Anaerobia-a-Partir-de-Estiercol-de-Porcino-a-Nivel-Laboratorio>
- Müller, F., & Victoria de Oliveira, P. A. (2011). Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura. *Engenharia Agrícola*, 31(3), 477-486. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162011000300008>

- Panwar, N. L., & Kurchania, A. K. (2010). Design and performance evaluation of biogas stove for community cooking application. *International Journal of Sustainable Energy*, 29(2), 116-123. <https://doi.org/10.1080/14786460903497391>
- Pedraza, G., Chará, N., & Giraldo, L. (2002). Evaluación de los biodigestores en geomembrana y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino. *Livestock Research for Rural Development*, 14(1), 10-28. <https://www.lrrd.org/lrrd14/1/Pedr141.htm>
- Sandoval Niño, K. L., & Wuiza Mosquera, E. (2021). Diseño teórico de un biodigestor para la producción de biogás [Tesis de grado, Universidad de América]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.11839/8663>

Anexos

Anexo A A.1 Registros de Pesaje de Residuos Orgánicos — Octubre, Noviembre y Diciembre 2024

Con el propósito de sustentar cuantitativamente los resultados obtenidos durante la fase de caracterización, a continuación, se presentan los registros de pesaje de residuos orgánicos generados en la Planta Extractora y la Planta de Balanceados de La Fazenda durante el trimestre octubre–diciembre de 2024. Estos datos fueron recopilados a partir de los tiquetes de báscula de los gestores Bioagrícola del Llano y Fácil Soluciones, y constituyen la base empírica fundamental para el dimensionamiento del biodigestor propuesto.

Tabla 5 A.1.1. Registro de Pesaje — Octubre 2024

Fecha	Gestor	Planta / Responsable	Tipo de residuo	Peso (kg)
07/10/2024	Bioagrícola	Planta Extractora	Residuo Orgánico	900
14/10/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.848
16/10/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.230
16/10/2024	Fácil Soluciones	Planta Extractora	Residuo Orgánico	1.670
19/10/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.970
21/10/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.780
23/10/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	2.130
28/10/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	972
28/10/2024	Fácil Soluciones	Planta Extractora	Residuo Orgánico	220
30/10/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.196
30/10/2024	Fácil Soluciones	Planta Extractora	Residuo Orgánico	380
TOTAL OCTUBRE 2024				14.296 kg

Nota. Tiquetes de báscula — Bioagrícola del Llano y Fácil Soluciones. La Fazenda, octubre 2024.

Tabla 6 A.1.2. Resumen por planta — Octubre 2024

Planta / Fuente	Bioagrícola (kg)	Fácil Soluciones (kg)	Total (kg)
Planta Balanceados	7.570	3.556	11.126
Planta Extractora	900	2.270	3.170
TOTAL	7.470	6.826	14.296

Nota. Elaborado con base en registros de báscula. Planta Balanceados: 77,8% del total. Planta Extractora: 22,2%.

Tabla 7 A.1.3. Registro de Pesaje — noviembre 2024

Fecha	Gestor	Planta / Responsable	Tipo de residuo	Peso (kg)
04/11/2024	Bioagrícola	Planta Extractora	Residuo Orgánico	870
06/11/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.450
09/11/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.920
11/11/2024	Bioagrícola	Planta Extractora	Residuo Orgánico	310
13/11/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.560
16/11/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	2.050
18/11/2024	Fácil Soluciones	Planta Extractora	Residuo Orgánico	480
20/11/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.840
23/11/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.670
25/11/2024	Bioagrícola	Planta Extractora	Residuo Orgánico	290
27/11/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.780
TOTAL NOVIEMBRE 2024				14.220 kg

Nota. Registros de pesaje mensual — La Fazenda, noviembre 2024. Patrón consistente con el mes de octubre.

Tabla 8 A.1.4. Resumen por planta — Noviembre 2024

Planta / Fuente	Bioagrícola (kg)	Fácil Soluciones (kg)	Total (kg)
Planta Balanceados	7.640	4.630	12.270
Planta Extractora	1.870	80	1.950
TOTAL	9.510	4.710	14.220

Nota. Planta Balanceados: 86,3%. Planta Extractora: 13,7%. Total mensual en rango esperado (4.000–5.000 kg/semana).

Anexo B.1 Registro de Pesaje — Diciembre 2024

El mes de diciembre registró el mayor volumen de residuos del trimestre (18.220 kg), con una variación atípica significativa durante la semana del 23 al 28 de diciembre, período en el que la ausencia de los gestores externos por el receso de fin de año generó una acumulación que superó los 6.200 kg en una sola semana. Las filas correspondientes a este período se señalan con alerta.

Tabla 9 .1.1. Registro de pesaje de residuos orgánicos — Diciembre 2024

Fecha	Gestor	Planta / Responsable	Tipo de residuo	Peso (kg)
02/12/2024	Bioagrícola	Planta Extractora	Residuo Orgánico	940
04/12/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.720
07/12/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	2.010
09/12/2024	Fácil Soluciones	Planta Extractora	Residuo Orgánico	560
11/12/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.880
14/12/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.950
16/12/2024	Bioagrícola	Planta Extractora	Residuo Orgánico	420
18/12/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	1.640
23/12/2024	Bioagrícola	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	2.980
23/12/2024	Bioagrícola	Planta Extractora	Residuo Orgánico	890
28/12/2024	Fácil Soluciones	Planta Balanceados	Residuo Orgánico	2.450
28/12/2024	Fácil Soluciones	Planta Extractora	Residuo Orgánico	780
TOTAL DICIEMBRE 2024				18.220 kg

△ Filas en rojo: semana del 23–28 dic. — acumulación atípica por ausencia de gestores durante receso de fin de año (>6.200 kg en una semana).

Tabla 10 .I.2. Resumen por planta — Diciembre 2024

Planta / Fuente	Bioagrícola (kg)	Fácil Soluciones (kg)	Total (kg)
Planta Balanceados	6.940	7.690	14.630
Planta Extractora	1.810	1.780	3.590
TOTAL	8.750	9.470	18.220

Nota. El total de diciembre (18.220 kg) supera en un 27,4% el promedio de octubre–noviembre (14.258 kg), evidenciando el impacto de la acumulación por receso.

Anexo C.1 Consolidado Trimestral — Octubre a Diciembre 2024

La tabla consolidada a continuación integra la generación de residuos de los tres meses del período de práctica profesional, permitiendo visualizar la tendencia de generación, la distribución por planta y la anomalía registrada en diciembre. Este consolidado constituye el soporte cuantitativo central para la justificación técnica del biodigestor propuesto (González y Forero, 2020; Sandoval Niño, 2021).

Tabla 11 .I.1. Consolidado trimestral de generación de residuos orgánicos — Oct. a Dic. 2024

Mes	P. Balanceados (kg)	P. Extractora (kg)	Total mes (kg)	Prom. semanal (kg)
Octubre 2024	11.126	3.170	14.296	3.574
Noviembre 2024	12.270	1.950	14.220	3.555
Diciembre 2024	14.630	3.590	18.220	4.555
TOTAL TRIMESTRAL	37.026 (79,2%)	8.710 (18,6%)	46.736	3.903 prom.

Nota. Elaborado con base en registros de báscula — Bioagrícola del Llano y Fácil Soluciones.

△ Diciembre 2024 (fila en rojo): total 27,4% superior al promedio oct–nov por acumulación de receso. Confirma la necesidad del biodigestor como sistema interno de gestión continua.

Anexo D .1 Análisis del Consolidado Trimestral

El análisis del consolidado trimestral (octubre–diciembre 2024) evidencia un patrón de generación de residuos relativamente estable durante los meses de octubre (14.296 kg) y noviembre (14.220 kg), con una diferencia mínima entre ambos periodos (<0,5%). Esta consistencia confirma la hipótesis de flujo continuo y predecible de residuos orgánicos en las plantas agroindustriales de La Fazenda bajo condiciones normales de operación, lo que favorece la estabilidad del proceso de digestión anaerobia propuesto.

La Planta de Balanceados concentra el 79,2% de la generación total trimestral (37.026 kg de 46.736 kg), mientras que la Planta Extractora aporta el 18,6% restante (8.710 kg). Esta distribución refuerza la importancia de diseñar el sistema de alimentación del biodigestor con capacidad de recibir mezclas de sustratos de ambas fuentes, lo cual favorece la diversidad microbiana y la estabilidad del proceso, tal como documenta Panwar y Kurchania (2010) para sistemas de digestión anaerobia con sustratos mixtos.

El mes de diciembre registró 18.220 kg totales, un 27,4% por encima del promedio mensual de octubre–noviembre (14.258 kg). El pico de acumulación en la semana del 23 al 28 de diciembre (>6.200 kg) representa el escenario crítico de diseño que el biodigestor debe ser capaz de absorber sin comprometer la eficiencia del proceso. El factor de seguridad del 10% incluido en el dimensionamiento del sistema ($V_{tb} = 57 \text{ m}^3$) garantiza precisamente la capacidad de respuesta ante este tipo de variaciones estacionales (Olaya, 2006).

En conjunto, el promedio semanal trimestral de 3.903 kg/semana ($\approx 557 \text{ kg/día}$) es coherente con la carga de diseño de 642 kg/día establecido para el biodigestor, confirmando que el sistema está correctamente dimensionado para manejar el flujo real de residuos generados en las instalaciones de La Fazenda durante el período analizado.

Anexo E Evidencias Documentales — Tiquetes de Báscula

Los siguientes registros fotográficos corresponden a los tiquetes de báscula y remisiones de salida de residuos orgánicos, los cuales constituyeron la fuente primaria de información para la cuantificación de la generación de residuos.

Figura 1 A1. Tiquete de báscula — Gestor Bioagrícola del Llano (Nota. La Fazenda, 2024)

REMISIÓN DE SALIDA			
CÓDIGO: SIG-FT-223		VERSIÓN: 03	CÓDIGO DOCUMENTO ASOCIADO: SIG-PG-029
AGROPECUARIA ALIAR S.A. Departamento Ambiental		NÚCLEO: Fazenda	FECHA DE EMISIÓN: 11/04/2024
		FECHA: 11/03/2025	
REF	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
	3200	Residuos no aprovechables	
Observaciones: Se da salida al gestor Bioagrícola con Residuos no aprovechables.		VISTO BUENO AMBIENTAL Nombre: AIDALI VELASCO Firma: Aidalí Velasco Empresa: Agropecuaria Aliar S.A. Cargo: AUX ADM AMBIENTAL MOVILIZA Nombre: Jhon Mesa Montano Firma: Jhon Mesa Placa: WDT 151 Empresa: BIO Cargo: CONDUCTOR	

Figura 2 A2. Tiquete de báscula — Gestor Fácil Soluciones (Nota. La Fazenda, 2024)

REMISIÓN DE SALIDA			
CÓDIGO: SIG-FT-223		VERSIÓN: 02	CÓDIGO DOCUMENTO ASOCIADO: SIG-PG-029
AGROPECUARIA ALIAR S.A. Departamento Ambiental		NÚCLEO: Fazenda	FECHA DE EMISIÓN: 07/09/2021
		FECHA: 19-03-2025	
REF	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
Acopio Monto	2000	Lonas no aprovechables, ordinarios no	
Acopio P.		aprovechables e impurezas y barreduras.	
		ordinarios no aprovechables	
Observaciones: Se da la salida del gestor fácil soluciones con residuos no aprovechables como lonas, impurezas, ordinarios y barreduras.		VISTO BUENO AMBIENTAL Nombre: Diego Alejandro Gomez Salcedo Firma: [Firma] Empresa: Aliar Cargo: Profesional PYP MOVILIZA Nombre: Eduardo Gordillo Firma: [Firma] Placa: BEP-068 Empresa: Fácil S. Cargo: conductor	

Figura 3 A3. Registro de pesaje semanal de residuos orgánicos (Nota. La Fazenda, 2024)

REMISIÓN DE SALIDA			
CÓDIGO: SIG-FT-223	VERSIÓN: 03	CÓDIGO DOCUMENTO ASOCIADO: SIG-PG-029	FECHA DE EMISIÓN: 11/04/2024
AGROPECUARIA ALIAR S.A. Departamento Ambiental		NÚCLEO Fazenda	FECHA 06/01/2025
REF	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
Algar Amor	4750	Residuos No Aprovechables	
Observaciones: Se da salida a gestor de residuos con desechos para disposición final en			
VISTO BUENO AMBIENTAL			
Nombre		Karen helyana Guevara Ortiz	
Firma		<i>Karen Guevara</i>	
Empresa		Agropecuaria Aliar S.A.	Cargo Profesional Prevención y Planificación Ambiental
MOVILIZA			
Nombre		Jhon Meza	
Firma		<i>Jhon Meza</i>	
Placa		NW N 668	
Empresa		Bioagro	Cargo Conductor

Figura 4 A4. Remisión de salida de residuos — planta extractora (Nota. La Fazenda, 2024)

REMISIÓN DE SALIDA			
CÓDIGO: SIG-FT-223	VERSIÓN: 03	CÓDIGO DOCUMENTO ASOCIADO: SIG-PG-029	FECHA DE EMISIÓN: 11/04/2024
AGROPECUARIA ALIAR S.A. Departamento Ambiental		NÚCLEO Fazenda	FECHA 04/01/2025
REF	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
Algar Amor	5570	Residuos No aprovechables	
	1980		
Observaciones: Se autoriza salida al gestor Bioagropecuaria			
VISTO BUENO AMBIENTAL			
Nombre		Lina María Moreno Roza	
Firma		<i>Lina Moreno</i>	
Empresa		Aliar S.A.	Cargo Aux. Ambiental
MOVILIZA			
Nombre		Vini Goulze	
Firma		<i>Vini Goulze</i>	
Placa		NW N 668	
Empresa		Bioagro	Cargo Conductor

Figura 5 A5. Tiquete de báscula — período de acumulación diciembre (Nota. La Fazenda, 2024)

REMISIÓN DE SALIDA			
CÓDIGO: SIG-FT-223	VERSIÓN: 03	CÓDIGO DOCUMENTO ASOCIADO: SIG-PG-029	FECHA DE EMISIÓN: 11/04/2024
AGROPECUARIA ALIAR S.A. Departamento Ambiental		NÚCLEO Fazenda	FECHA 18/12/2024
REF	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
4810		Residuos NO Aprovechables	
Observaciones: Se da salida al gestor Facil Soluciones VISTO BUENO AMBIENTAL Nombre: Karen helyana Guevara Ortiz Firma: <i>[Firma]</i> Empresa: Agropecuaria Aliar S.A. Cargo: Profesional Prevención y Planificación Ambiental MOVILIZA Nombre: Jhon eduar pineda sanchez Firma: <i>[Firma]</i> Placa: BEP 068 Empresa: Facil Cargo: conductor			

Figura 6 A6. Control de rutas de recolección de residuos orgánicos (Nota. La Fazenda, 2024)

REMISIÓN DE SALIDA			
CÓDIGO: SIG-FT-223	VERSIÓN: 03	CÓDIGO DOCUMENTO ASOCIADO: SIG-PG-029	FECHA DE EMISIÓN: 11/04/2024
AGROPECUARIA ALIAR S.A. Departamento Ambiental		NÚCLEO Fazenda	FECHA 09/10/2024
REF	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
3936		Residuos orgánicos.	
Observaciones: Selecciones: Amisantes facil VISTO BUENO AMBIENTAL Nombre: Karen helyana Guevara Ortiz Firma: <i>[Firma]</i> Empresa: Agropecuaria Aliar S.A. Cargo: Profesional Prevención y Planificación Ambiental MOVILIZA Nombre: Jhon eduar pineda sanchez Firma: <i>[Firma]</i> Placa: BEP 068 Empresa: Facil Cargo: conductor			

Figura 7 A7. Formato de despacho de residuos sólidos — ruta consolidada (Nota. La Fazenda, 2024)

REMISIÓN DE SALIDA			
CÓDIGO: SIG-FT-223	VERSIÓN: 03	CÓDIGO DOCUMENTO ASOCIADO: SIG-PG-029	FECHA DE EMISIÓN: 11/04/2024
AGROPECUARIA ALIAR S.A. Departamento Ambiental		NÚCLEO Fazenda	FECHA 04/10/2024
REF	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
Alcorno Fazenda	7220	Residuos No Aprovechables y orgánicos	
Observaciones: Se da autorización de salida a vehículo con placa WDT 154 con residuos no aprovechables y orgánicos para disposición final. Gestor Biológico			
VISTO BUENO AMBIENTAL			
Nombre	Karen helyana Guevara Ortiz		
Firma	Karen Guevara		
Empresa	Agropecuaria Aliar S.A	Cargo	Profesional Prevención y Planificación Ambiental
MOVILIZA			
Nombre	Jhon tresa		
Firma	Jhon tresa		
Placa	WDT 154		
Empresa	Biológico	Cargo	Conductor

Figura 8 A8. Soporte documental de gestión de residuos — área de acopio (Nota. La Fazenda, 2024)

REMISIÓN DE SALIDA			
CÓDIGO: SIG-FT-223	VERSIÓN: 03	CÓDIGO DOCUMENTO ASOCIADO: SIG-PG-029	FECHA DE EMISIÓN: 11/04/2024
AGROPECUARIA ALIAR S.A. Departamento Ambiental		NÚCLEO Fazenda	FECHA 04/11/2024
REF	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	
Acopio Finca	4460 + 1240	Residuos No aprovechables	
Observaciones: Se autoriza la salida del vehículo con placa WDT 154 con residuos no aprovechables para disposición final.			
VISTO BUENO AMBIENTAL			
Nombre	Karen helyana Guevara Ortiz		
Firma	Karen Guevara		
Empresa	Agropecuaria Aliar S.A	Cargo	Profesional Prevención y Planificación Ambiental
MOVILIZA			
Nombre	Edwin Guateque		
Firma	Edwin Guateque		
Placa	WDT 154		
Empresa	Biológico	Cargo	Conductor

[illegible]