

**Análisis de viabilidad de la implementación de biodigestores como alternativa energética
para familias del área rural**

Sonia Andrea Díaz Salazar y Harold Yesid Torres Cortes

Notas del autor.

**Trabajo de síntesis para aplicar al título de Especialistas en Formulación y Evaluación
Social y Económica de Proyectos**

Universidad Católica de Colombia

Facultad de Ciencias Económicas

Bogotá D.C

2019



Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

La presente obra está bajo una licencia:
Atribución-NoComercial 2.5 Colombia (CC BY-NC 2.5)

Para leer el texto completo de la licencia, visita:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.5/co/>

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

hacer obras derivadas

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Tabla de Contenido

Glosario	1
Resumen Ejecutivo.....	2
Justificación.....	3
Antecedentes	5
Problema.....	6
Objetivos del Plan	7
A corto plazo	7
A mediano plazo.....	7
A largo plazo	7
Marco Teórico	8
Los peligros de cocinar con leña	9
¿Qué es un biodigestor?.....	10
Los biodigestores de bajo costo.	10
Los biodigestores domésticos.	11
Los biodigestores tubulares.....	11
Conceptos básicos de la digestión anaerobia.....	12
Digestión anaerobia.	12
Consortio de Bacterias.	12
Sustrato, sólidos totales y volátiles.	13
pH.....	14
Otros parámetros.....	15
Productos resultantes de un biodigestor	15
Estufas Ecoamigables	16
Descripción preliminar básica del producto o servicio	18
Metodología	19
Diseño de biodigestores tubulares	19
Determinación del volumen del biodigestor.....	19
Objetivo consumo de biogás.....	19
Objetivo producir biol.....	20
Objetivo ambiental.....	20
Determinación de las dimensiones del biodigestor	20
Presentación de resultados de la metodología aplicada.	22
Selección de alternativas	24
Ventajas.....	25
Desventajas.	25
Presentación muy detallada del producto, servicio o mejora	27
Biodigestores familiares estandarizados de referencia.....	27
Instalación de biodigestores tubulares.....	29
Tener el diseño del biodigestor y adaptarlo al contexto local	29
Geomembrana o plástico ¿qué material usar?	29
Plástico de invernadero.	29
Geomembrana de PVC.	30
Geomembrana de polietileno.	30

Geomembrana de polipropileno.....	31
Materiales	31
Herramientas.....	34
Zanja.	34
Instalación.	34
Conducción.	34
Planificación de la instalación	35
Ubicación y cavado de zanja.....	35
Instalación del biodigestor hasta válvula de alivio.	35
Instalación de la conducción del biogás hasta el punto de consumo.	35
Proceso de instalación	36
Ubicación y cavado de la zanja	36
Cerca del lugar donde está el estiércol disponible.	36
Evitar caminos.	36
Evitar cercanías de corrientes de agua y zonas inundables.....	36
Cavado de la zanja.....	37
Construcción del biodigestor.....	39
Doble capa de plástico.....	39
Salida del biogás.....	40
Amarre de tuberías.....	41
Válvula de alivio biogás	43
Instalación del biodigestor	45
Inflar el biodigestor de aire.....	45
Primer llenado de agua	46
Niveles de la tubería de entrada y salida	47
Protección de las tuberías de entrada y salida	48
Primer llenado de estiércol	48
Protección del biodigestor	48
Conducción de biogás	50
Purga de agua condensada.....	51
Filtro de ácido sulfhídrico (H ₂ S).....	51
Reservorio de biogás	53
Cocina.....	54
Operación diaria	55
Mantenimiento	56
Usos y manejo del producto, servicio o mejora.	57
¿Qué aporta un biodigestor a un productor agropecuario?.....	57
Biodigestor como productor de combustible.	57
Biodigestor como productor de fertilizante.	57
Aplicaciones del fertilizante.	58
Biodigestor como sistema de tratamiento.	58
Biodigestor como herramienta de mitigación del cambio climático.	58
Biodigestor como herramienta para la adaptación al cambio climático.	59
Consumo de biogás como sustituto de la leña.	59
Otros usos del biogás.	59
Resumen del modelo, gráfica explicativa o ciclo.....	61
Futuro general del sector al cual pertenece la iniciativa propuesta.....	62

Identificación detallada de necesidades.....	63
Investigación del mercado.....	64
Ruralidad	64
Clima	64
Geográficamente.....	64
Análisis de la demanda.....	66
Social	66
Demografía	66
Económico.....	67
Ambiental	67
Nicho de mercado.....	68
Estrategias de distribución.....	69
Estrategias de capacitación.....	69
Talleres dirigidos a profesionales del desarrollo rural.....	69
Talleres comunales.....	69
Estrategias de ejecución.....	70
Alianzas estratégicas.....	70
Proyectos con ONGs.....	70
Proyectos comunales.....	71
Estrategias de promoción. Publicidad	72
Fidelización.....	73
Postventa - servicio al cliente.....	73
Descripción y formalización del proceso - Diagrama de flujo.....	74
Costos de producción.....	75
Costos directos.....	75
Inversiones en capital de trabajo.....	76
Costos indirectos.....	77
Presupuesto estimado de herramientas necesarias para la instalación.....	77
Materiales adicionales que no tienen un costo específico.....	77
Costo total del proyecto.....	78
Estructura organizacional.....	79
Director de proyecto	80
Profesional en temas ambientales.....	80
Funciones con personal a cargo.....	81
Capacitadores - Evaluadores	81
Obreros	82
Profesional de riesgos.....	82
Manual de funciones	84
Alcance	84
Perfiles de cargo	85
Evaluación de competencias	90
Requisitos legales del proyecto.....	92
La importancia del biogás.....	93
Gastos administrativos.....	96
Metodologías de Motivación.....	97
Mecanismos de Liderazgo.....	97
Indicadores de Gestión	99

Estudio Económico y Financiero	100
Rentabilidad del biogás	100
Consumo de biogás en hogares rurales y sus implicaciones económicas.	100
Costos de oportunidad de la utilización de biogás.	102
Flujo de caja.....	105
Indicadores de Evaluación Financiera.....	106
Mecanismos de financiamiento	109
Estudio Social y Ambiental.....	111
Evaluación social del proyecto.....	111
Evaluación ambiental del proyecto	112
Gases de efecto invernadero (GEI).....	112
Plan de gestión de sostenibilidad.....	113
Matriz de análisis PESTEL.....	115
Resultado matriz de análisis del entorno PESTEL.	121
Matriz de Análisis de riesgos	122
Resultados matriz análisis de riesgos.....	125
Análisis del ciclo de vida ACV	126
Resultados Matriz P5	135
Estrategias, objetivos, metas e indicadores de sostenibilidad del proyecto.....	137
Análisis global de resultados.....	138
Recomendaciones.....	140
Bibliografía.....	143

Lista de Tablas.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de algunos estiércoles típicos	14
Tabla 2. Selección de alternativas	24
Tabla 3. Materiales fabricación Biodigestor	32
Tabla 4. Equivalencias energéticas del biogás	60
Tabla 5. Costo de la materia prima.....	75
Tabla 6. Costo de la mano de obra	76
Tabla 7. Presupuesto estimado de herramientas necesarias para la instalación.	77
Tabla 8. Materiales adicionales que no tienen un costo específico.	77
Tabla 9. Costo Total del Proyecto	78
Tabla 10. Perfil de cargo director del proyecto	85
Tabla 11. Perfil de cargo Profesional en temas ambientales	86
Tabla 12. Perfil de Cargo Capacitador	87
Tabla 13. Perfil de Cargo Obrero	88
Tabla 14. Perfil de cargo Profesional de seguridad en el trabajo	89
Tabla 15. Gastos Administrativos	96
Tabla 16. Flujo de caja	105
Tabla 17. Emisiones de CO2 por fuente de emisión/hogar	112
Tabla 18. Análisis PESTEL.....	116
<i>Tabla 19. Criterios para caracterizar el entorno.....</i>	<i>119</i>
Tabla 20. Matriz análisis de riesgos	123
Tabla 21. Matriz P5.....	128
Tabla 22. Estrategias, objetivos, metas e indicadores de sostenibilidad	137

Lista de Figuras.

Ilustración 1. Esquema de dimensiones de una zanja para biodigestores tubulares	37
Ilustración 2. Esquema de un biodigestor.....	47
Ilustración 3. Esquema de pendientes en la conducción de biogás	50
Ilustración 4. Análisis del ciclo de vida del proyecto.....	61
Ilustración 5. Esquema de metodología de diseño Biodigestor.....	74
Ilustración 6. Estructura Organizacional	79
Ilustración 7. Evaluación de Competencias.....	91
Ilustración 8. Mecanismos de liderazgo	98
Ilustración 9. Indicadores de gestión	99
Ilustración 10. Fuentes de energía utilizadas previa instalación de biodigestores (a) y posteriores (b)....	101
Ilustración 11. Inventario biodigestor.....	127

Glosario

GEI = Gases de Efecto Invernadero

GLP = Gas Líquido de Petróleo

CO_{2eq} = Equivalente de CO₂

VAN = Valor Actual Neto

TIR = Tasa Interna de Retorno

CO₂ = Dióxido de Carbono

CH₄ = Metano

ACV = Análisis del Ciclo de Vida

Resumen Ejecutivo

Los biodigestores son una tecnología que si bien se ha venido desarrollando hace algunos años es relativamente desconocida para el común de la gente.

Los pequeños productores del área rural y sus familias se ven enfrentados constantemente al abandono del estado y cuentan con muchas de sus necesidades básicas insatisfechas, entre estas, el acceso a fuentes de energía térmica para la cocción de sus alimentos, por tanto, deben recurrir a fuentes como la leña y similares al momento de cocinar, lo cual causa graves afectaciones a la salud por el humo y las partículas que se liberan al momento de la combustión.

El presente trabajo tiene como razón de ser el análisis de la viabilidad de instalar biodigestores tubulares de bajo costo en poblaciones de áreas rurales, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los residentes de dichos lugares, mejorar su independencia económica al aprovechar el biofertilizante que es un subproducto que en tiempo reciente se ha convertido en una oportunidad de negocio y contribuir a la disminución de la huella de carbono por medio de la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

Justificación

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación. El fertilizante, llamado biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está tratando con la misma importancia, o mayor, que el biogás, ya que provee a las familias de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas.

Los biodigestores familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático, pero en América Latina, solo países como Cuba, Colombia y Brasil tienen desarrollada esta tecnología. Estos modelos de biodigestores familiares, contruidos a partir de mangas de polietileno tubular se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Por ello se consideran una “tecnología apropiada”.

Las familias dedicadas a la agricultura, suelen ser propietarias de pequeñas cantidades de ganado (dos o tres vacas, por ejemplo) y pueden, por tanto, aprovechar el estiércol para producir su propio combustible y un fertilizante natural mejorado. Se debe considerar que el estiércol acumulado cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y moscas que desaparecerán al ser introducido el estiércol diariamente en el biodigestor familiar.

El proyecto busca analizar la viabilidad de utilizar biodigestores tubulares de bajo costo como alternativa energética para que las familias que residen en áreas rurales aprovechen el

biogás producido para la cocción de sus alimentos, el biofertilizante como oportunidad de negocio o mejoramiento de los cultivos propios, aprovechando los desechos de los animales (excretas) con una eficiencia de casi el 100%.

Antecedentes

Los primeros biodigestores se comenzaron a instalar en la región en la década de los setentas y, en la siguiente década, la mayoría de países ya habían tenido experiencias con esta tecnología. Desde entonces se han venido desarrollando proyectos de implementación de biodigestores, de forma dispersa en la última década del siglo XX y la primera década del siglo XXI, y con una visión más estratégica y sostenible, en la década actual. Normalmente estos procesos han sido impulsados por Organizaciones No Gubernamentales (ONGs), en los cuales en algunas ocasiones se ha contado con sinergias de gobiernos regionales o nacionales. A pesar de toda la experiencia acumulada por cuatro décadas, los biodigestores aún tienen varios retos pendientes y barreras por superar, tales como el desarrollo de un ecosistema sostenible de actores que asuman sus funciones (asistencia técnica, control de calidad, proveedores de tecnología, mecanismos de financiamiento, investigación y desarrollo) y que vayan acompañados de políticas públicas apropiadas. Para lograr esto resulta imprescindible visibilizar los impactos positivos en el desarrollo familiar, comunitario y productivo sostenible, cuya baja divulgación se erige como la primera barrera por superar.

Problema

A nivel mundial, los pequeños y medianos productores agropecuarios se encuentran, en términos generales, en una situación de vulnerabilidad frente al abandono estatal, a los efectos del cambio climático (cambio en el ciclo de lluvias, eventos climatológicos extremos, etc.), frente a las fluctuaciones de los precios de los combustibles fósiles, la fluctuación del precio de los productos agroquímicos (vinculado a los precios del petróleo y gas) y frente a la competencia desigual en productividad a corto plazo y acceso a los mercados con la gran agroindustria transnacional.

De este modo, el pequeño y mediano productor agropecuario requiere fortalecer su sistema productivo para fortalecerlo ante los efectos del cambio climático, reducir su dependencia de insumos externos a la finca, dar el valor que corresponde a sus productos y acceder a los mercados.

En este contexto, los biodigestores son una herramienta que puede fortalecer la independencia de los pequeños y medianos productores agropecuarios.

También es importante recordar la cantidad de enfermedades respiratorias que sufren, principalmente las mujeres, por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña o bosta seca. La combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es infinitamente menor que el humo proveniente de la quema de madera.

Dicho lo anterior es posible plantear la siguiente pregunta:

¿Es viable la implementación de los biodigestores como alternativa energética para las familias de áreas rurales?

Objetivos del Plan

Analizar la viabilidad de la instalación de biodigestores tubulares de bajo costo como alternativa para la producción de energía térmica dedicada a la cocción de alimentos en los hogares las familias residentes en áreas rurales, donde el conocimiento sea transferido de campesino a campesino, sin dependencia exterior.

Además, están los siguientes objetivos enmarcados en el tiempo.

A corto plazo

Capacitar a más personas e instituciones (entiéndanse juntas de acción comunal, alcaldías y similares) en el diseño, instalación y gestión de proyectos de biodigestores familiares, para diseminar la tecnología entre las familias rurales.

A mediano plazo

Divulgar el conocimiento adquirido sobre la tecnología de biodigestores, de manera que las familias la conozcan y a partir de esto, bajo sus propios criterios, decidan si quieren incorporarlo a su sistema productivo. Comenzar con los primeros proyectos gestionados por las propias comunidades y asociaciones de productores.

A largo plazo

Democratizar la tecnología de manera que las comunidades, asociaciones de productores, alcaldías, etc. pueden desarrollar y gestionar sus propios proyectos de biodigestores sin asistencia externa ni subvención de la tecnología

Marco Teórico

El **CO₂ o dióxido de carbono**, junto al vapor de agua y otros gases, es uno de los denominados gases de efecto invernadero (G.E.I.). Juntos contribuyen a que la Tierra tenga una temperatura tolerable para el desarrollo de la vida porque sin CO₂ ni vapor de agua la temperatura media de la Tierra sería unos 33 °C menos, del orden de 18 °C bajo cero, lo que haría inviable la vida. Este fenómeno del efecto invernadero se da no solo en la Tierra, sino en todos los cuerpos planetarios dotados de atmósfera.

Sin embargo, un exceso de **emisiones de CO₂** acentúa el efecto invernadero, lo que reduce la dispersión de calor acumulado por la radiación solar en la superficie del planeta hacia el espacio y provoca un mayor calentamiento de la Tierra. De modo que el problema surge cuando el efecto invernadero se acentúa por la emisión excesiva de ciertos gases, como el dióxido de carbono y el metano, debido principalmente a la actividad humana.

De acuerdo con las emisiones reportadas en un estudio del Banco Mundial Colombia ocupa el puesto 40 entre los 184 países que monitorea el Instituto y el 5 lugar en América Latina.

Colombia tiene el compromiso de reducir 20 por ciento de sus emisiones. No obstante, solo es responsable del 0,46 por ciento de las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI) a nivel global, es decir su impacto es bajo. Sin embargo, estas emisiones podrían aumentar en un 50 por ciento para el año 2030, lo cual representa un enorme desafío para todos los sectores implicados en el tema, ante este escenario Colombia ha empezado a tomar cartas en el asunto, actualmente el Ministerio de Ambiente tiene un inventario de más de 100 opciones de mitigación sectoriales orientadas en el marco del Acuerdo de París.

La Estrategia Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono (ECDBC), que es un programa de planeación del desarrollo a corto, mediano y largo plazo liderado por el Gobierno y que cuenta con el apoyo del Departamento Nacional de Planeación y los Ministerios Sectoriales: Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Transporte y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Este plan busca desligar el crecimiento económico nacional del crecimiento de las emisiones de GEI logrando maximizar la carbono-eficiencia de la actividad económica del país y contribuyendo al desarrollo social y económico nacional. De esta manera el país busca establecer un pilar de crecimiento que promueva la competitividad, el uso eficiente de los recursos, la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías.

La calculadora de carbono Colombia 2050 ha sido actualizada con el fin de incluir la meta de contribuciones de Colombia para la COP21 plantea una reducción del 20% en las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para el año 2030.

Los peligros de cocinar con leña

Alrededor de 3.000 millones de personas en todo el mundo siguen hoy en día utilizando leña, carbón y otros combustibles sólidos para cocinar sus alimentos. Este tipo de combustible emite niveles muy altos de contaminantes, partículas muy pequeñas que pueden penetrar en los pulmones con efectos nocivos para la salud. Por lo general, estos hogares se encuentran en las zonas rurales de los países con menos recursos económicos (incluida China donde, donde aún un tercio de su población sigue dependiendo de los combustibles sólidos).

En el estudio *"Uso de Combustibles Sólidos y Riesgos de Enfermedades Respiratorias: Un estudio de cohorte de 280,000 chinos que nunca han fumado"*, investigadores de la Universidad de Oxford en el Reino Unido y de la Academia China de Ciencias Médicas aseguran que las hospitalizaciones o muertes por enfermedades respiratorias crónicas y agudas fueron un 36 por ciento más altas en aquellas personas los que usaron madera o carbón para cocinar en vez de electricidad o gas.

Además, la investigación señala que cuanto mayor es el más tiempo de exposición a estos combustibles sólidos, mayor es el riesgo de hospitalización o muerte por una enfermedad respiratoria. Los sujetos que usaron madera o carbón durante 40 años o más, tenían un mayor riesgo (un 54 %) de hospitalización o muerte por enfermedades respiratorias que los que cambiaron estos combustibles sólidos a combustibles de combustión limpia. Los investigadores ajustaron sus hallazgos teniendo en cuenta también otros factores como la edad, el sexo, el estado socioeconómico, el tabaquismo pasivo, el consumo de alcohol, la dieta, la actividad física y la obesidad.

¿Qué es un biodigestor?

Los biodigestores son sistemas que producen biogás y fertilizante a partir de materia orgánica. (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación., 2019)

Los biodigestores de bajo costo.

Son aquellos que no usan sistemas activos de calefacción o agitación, lo que reduce ampliamente los costos de inversión y mantenimiento. Se les conoce como biodigestores de bajo costo, baja tecnología o tecnología intermedia o biodigestores apropiados y son los más empleados por medianos y pequeños productores agropecuarios en el mundo.

Los biodigestores domésticos.

Son aquellos que son capaces de abastecer las necesidades de combustible para cocinar de una familia media. Esto significa que será necesaria una producción de biogás de al menos 1000 litros de biogás por día. Si se considera como referencia que 1 kg de estiércol de vaca tiene el potencial de producir unos 35 litros de biogás y 1 kg de estiércol de cerdo unos 50 litros, un biodigestor doméstico debe ser cargado con 25-30 kg de estiércol de vaca, o 20 kg de estiércol de cerdo, al día. A modo de referencia, cuatro vacas que duerman en un establo cerca de la casa, depositarán durante la noche esta cantidad de estiércol.

Los biodigestores tubulares.

A continuación, se detallan algunas de sus características:

- Están contruidos de plástico y suelen tener formas cilíndricas y alargadas y al estar semienterrados, dejan visible la cúpula de biogás que se forma.
- El plástico usado en estos biodigestores suele ser polietileno de invernadero (doble capa) en los casos más baratos (con durabilidades de entre 5-7 años si están bien protegidos) y geomembranas (con durabilidades de 10 a 15 años).
- La geomembrana puede ser de PVC o polietileno, con grosores superiores a los 0,75 mm. Las geomembranas de PVC pueden ser reforzadas con malla interna de nylon o sin ella.
- Los biodigestores tubulares plásticos (de polietileno tubular de invernadero) se deben construir en el lugar de la instalación.
- La instalación del sistema se hace en un solo día.
- Estos biodigestores funcionan a temperaturas similares a las del suelo y pueden diseñarse para aprovechar la radiación solar de modo que se caliente el sistema, es necesario añadir aislante en las paredes y sobre el suelo de la zanja para no perder el calor ganado.

- Estos biodigestores trabajan a menores presiones de biogás, entre 5 cm y 15 cm de columna de agua y para que el lodo fluya en su interior es necesario mezclar el estiércol con agua en una relación 1:3, lo que aumenta el volumen del biodigestor.

Un biodigestor en su funcionamiento es similar a un sistema digestivo animal: entra materia orgánica, que es digerida por bacterias, produciendo gases (biogás) y produciendo un subproducto líquido que tiene un alto valor como fertilizante.

Conceptos básicos de la digestión anaerobia

Digestión anaerobia.

La digestión anaerobia es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica, con la particularidad de que produce biogás. Todas las etapas son realizadas por multitud de diferentes poblaciones de bacterias que forman un consorcio.

La primera etapa es la hidrólisis, en que la materia orgánica entrante comienza a descomponerse, produciendo azúcares, ácidos grasos y aminoácidos.

La segunda etapa es la acidogénesis, donde los productos de la hidrólisis son transformados en otros ácidos y H_2 y CO_2 estos ácidos se convierten en H_2 , CO_2 y ácido acético en una tercera etapa (la Acetogénesis) la cuarta etapa, llamada metanogénesis, hace uso del H_2 , CO_2 y ácido acético para producir metano (CH_4) y CO_2 .

Consortio de Bacterias.

El consorcio de bacterias que lleva a cabo la digestión anaerobia, es muy variado y diverso incluso dentro de cada etapa. Los cambios llevan su tiempo, y se requiere de tres a cuatro meses para que el consorcio bacteriano se acostumbre a los cambios. Es decir, que, si cambiamos la alimentación de un biodigestor que venía siendo cargado con estiércol de vaca, a ser

alimentado con estiércol de vaca y de cerdo mezclado, el consorcio bacteriano cambiará, y al cabo de tres o cuatro meses ya estará consolidado. Lo mismo sucede con la temperatura ya que al partir de consorcios bacterianos que vienen de estiércoles y están aclimatados a 35-37 °C de temperatura, cuando los metemos a un biodigestor de bajo costo, sin calefacción activa, la temperatura de trabajo pasará a ser menor (desde 12 a 30 °C), haciendo que unas bacterias dejen de trabajar en esas condiciones, pero otras tomen su lugar, tomando igualmente entre tres y cuatro meses en el proceso de cambio.

Sustrato, sólidos totales y volátiles.

La materia orgánica que entra al biodigestor se llama en muchos casos sustrato. La materia orgánica se puede caracterizar por muchos parámetros, pero los principales son tres: sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y pH. Los sólidos totales representan la parte “seca” del sustrato, se suele decir el % de ST que tiene un sustrato, indica el % de materia seca que hay en él.

En el caso de estiércol de cerdo o vaca los sólidos inertes pueden ser arena del piso del corral que se ha mezclado con el estiércol, por ejemplo.

En los estiércoles se tiene que, de los sólidos totales entre un 25% a 15% de ella corresponde a sólidos inertes. El resto de los sólidos totales (entre un 75 a 85%) corresponde a materia orgánica, y se les llama sólidos volátiles (SV).

Los sólidos volátiles son la fracción orgánica del sustrato. Los sólidos volátiles se pueden expresar de dos formas: o bien como un % de sólidos totales o bien como un % de la materia orgánica sin secar.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de algunos estiércoles típicos

Estiércol	%ST	SV (%ST) (base seca)	%SV (base húmeda)
Vaca	(10 - 17)	(70 - 80)	(7 - 13.6)
Cerdo	(20 - 35)	(60 -75)	(12 - 26.25)
Cabra/oveja	(50-70)	(70 - 75)	(35 - 52.5)
Llama	(55 - 65)	(70 - 75)	(38.5 - 48.75)

Nota: Tomado de (Martí Herrero, 2019, pág. 27)

Tener buena cantidad de sólidos totales en un sustrato suele ser un indicador de buen potencial para producir biogás.

pH.

El pH es un indicador de la acidez de una materia orgánica. El consorcio bacteriano que desarrolla la digestión anaerobia suele gustar de estar en ambientes con pH entre 6.5-7.5 (7 es el valor neutro de pH).

Dentro del consorcio bacteriano, las bacterias que realizan la etapa de acidogénesis y acetogénesis trabajan mejor en pH 5.5 y 6.5, mientras que las metanogénicas lo hacen en un rango 7.8 a 8.2.

La mayoría de estiércoles tienen valores en ese rango, siendo que el estiércol de cerdo es más ácido (en torno a 6.5) y el de vaca más neutro (en torno a 7).

En el caso del pH, juegan a favor los cambios suaves para lograr que el consorcio de bacterias se aclimate a condiciones fuera del rango óptimo. De este modo se puede lograr hacer trabajar un biodigestor con pH 6

Otros parámetros.

Se suele comentar mucho la relación C/N (relación entre Carbono y Nitrógeno) de los sustratos como indicador de tener una buena digestión anaerobia, si esta relación está en torno a 30. En general, en los estiércoles comunes, la relación C/N no es un problema.

La alcalinidad es otro parámetro utilizado para evaluar la digestión anaerobia, ya que es un indicador de la capacidad del biodigestor de mantener un pH adecuado mide la cantidad de bicarbonato presente, y este es capaz de neutralizar la posible acumulación de ácidos grasos volátiles, a veces, para corregir el pH de un biodigestor acidificado se usa, por ejemplo, bicarbonato de sodio (cuando se acidifica un biodigestor produce CO₂, pero no metano, ya que debido al bajo pH no se desarrolla la etapa metanogénica).

También se suelen mencionar los inhibidores que no permiten que el consorcio bacteriano realice la digestión anaerobia, estos pueden ser muchos, desde presencia de antibióticos en el estiércol, altos niveles de amoníaco (superiores a 3000mg/L), sulfatos (por encima de 5000 ppm), sal (por encima de 40000 ppm), metales pesados, etc. con estiércoles no son un problema debido a las bajas concentraciones de estas sustancias.

Productos resultantes de un biodigestor

El biogás es el nombre que recibe la mezcla de gases producida en la digestión anaerobia, y se caracteriza por tener, en general, un 50 % -70 % de metano (CH₄), 40-20 % de dióxido de carbono (CO₂) y trazas de otros gases, entre los que cabe destacar el ácido sulfhídrico (H₂S). Lo interesante es el metano producido, que es combustible.

De esta forma, los residuos orgánicos tienen el potencial de producir un gas combustible como es el biogás. Además, la captura de este metano y su combustión (transformándolo en

CO₂) reduce las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que se produciría en la descomposición de los estiércoles sin tratamiento.

Del otro lado está el fertilizante producido llamado biol, o efluente donde los nutrientes (Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K) y otros se mineralizan y pasan a ser disponibles para las plantas.

Los biodigestores son capaces de tratar los residuos orgánicos para producir biogás (combustible) y biol (fertilizante). Este servicio (tratamiento de residuos) y sus dos productos asociados (biogás y biol) pueden ser de gran importancia para fortalecer la capacidad productiva de los pequeños y medianos agricultores, reduciendo las emisiones GEI y evitando la contaminación de cuerpos de agua.

Estufas Ecoamigables

Estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional (Corpochivor) y la Fundación Natura determinaron que los pobladores de la zona rural del suroriente de Boyacá utilizan, en su mayoría, recursos maderables para cocinar. Así, en promedio, cada familia utiliza más de 20 metros cúbicos de madera al año con ese propósito.

Si se tienen en cuenta los datos por cada hogar, la cifra no parece muy escandalosa. Sin embargo, si se dimensiona la suma total, el panorama cambia. Según la investigación, 5,8 toneladas de leña al año estarían siendo utilizadas por la comunidad para cocinar.

Fue por eso que, para reducir la tala indiscriminada de árboles –que en 2015 fue de 1.252 hectáreas en esa región del país- Corpochivor lanzó el proyecto ‘Estufas Coeficientes Ahorradoras de Leña’. Con estas, como lo indica la corporación, se evitaría una tala de 100.000

árboles que, en términos de hectáreas, corresponderían a aproximadamente 156 canchas de fútbol.

Hasta el momento han sido construidas 300 estufas ecoeficientes, que tuvieron una inversión de 800 millones de pesos. Se espera que con la implementación del proyecto se logre la reducción de 902,56 toneladas de Dióxido de Carbono por año, pues se pasaría de gastar 5,8 toneladas de leña a 2,4. Esto equivale al 43 % del uso actual de ese recurso.

Y el desarrollo de las estufas no solo tiene ese beneficio, este plan ayudará a cumplir las metas de la Cumbre de Cambio Climático en París (COP21), en la que Noruega, el Reino Unido y Alemania se comprometieron a aportar 300 millones de dólares para Colombia para reducir la deforestación.

Con estas medidas buscamos contribuir a la conservación de nuestros bosques y evitar de manera sustancial la tala indiscriminada de árboles. Además, se pretende incidir de manera positiva en la contribución nacional para cumplir con la meta mundial de evitar el aumento de la temperatura global por encima de los 2 grados centígrados.

Entre 2012 y 2015, en el suroriente de Boyacá se invirtieron más de dos mil millones de pesos para el tema de reforestación. Ahora, con las estufas ecoeficientes, se espera que con la contribución de la comunidad se logre la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Para este fin, Colombia tiene como meta la descontaminación de un 20 % para el año 2030.

Descripción preliminar básica del producto o servicio

Como se explicó anteriormente, las emisiones de CO₂ son en Colombia un tema de preocupación no solamente en el tema ambiental, sino también en el sector de salud pública.

Colombia es responsable del 0,42% de las emisiones a nivel mundial, y se ha comprometido como firmante del Acuerdo de París a disminuirlas en un 20% como mínimo para el año 2030.

En el 2017 los sectores que más generaron emisiones en el país fueron: 1) Sector forestal 36%, 2) Sector agropecuario 26%, 3) Transporte 11%, 4) Industrias manufacturera 11%, 5) Minas y energía 10%.

El proyecto tiene como principio analizar la viabilidad de la instalación de biodigestores tubulares de bajo costo como alternativa para la producción de energía térmica dedicada a la cocción de alimentos en los hogares las familias residentes en áreas rurales, para ello se han establecido dos enfoques; el ambiental y el social.

En cuanto al enfoque ambiental y con la finalidad contribuir con la disminución de la huella de carbono y la deforestación el proyecto tiene como objeto de la comercialización de biodigestores (cuyas funciones procederemos a explicar más adelante)

El enfoque social va de la mano con nuestro objetivo ambiental, puesto que buscamos proporcionar biocombustible como sustituto de la leña para la cocción en hogares de la zona rural, buscando con ello minimizar la incidencia de enfermedades asociadas al hollín y el humo provenientes de la combustión de dicho elemento.

Metodología

Diseño de biodigestores tubulares

El diseño de biodigestores se puede dividir en dos partes:

- Determinación del volumen del biodigestor. Esta parte es común a cualquier tipo de biodigestor, sea tubular o no.
- Dimensiones del biodigestor

Determinación del volumen del biodigestor

El volumen del biodigestor viene determinado por la carga diaria.

La carga diaria puede estar basada en el estiércol disponible o puede venir condicionada por querer producir una cierta cantidad de biogás a ser utilizado en diferentes elementos para producir una cierta cantidad de biol al día o la semana.

Así las cosas, se pueden analizar los siguientes tres escenarios:

Objetivo consumo de biogás.

En el caso en el que se quiere hacer uso de una cantidad específica de biogás, habrá que calcular cuánto biogás se requiere por día para los usos seleccionados, se puede estimar cuanto estiércol es necesario para producir esa cantidad de biogás. habrá que definir a que temperatura de trabajo estará en biodigestor y el tiempo de retención. Conocido entonces el estiércol diario necesario para producir una cantidad de biogás determinada, y aplicando la relación estiércol:agua se obtiene la carga diaria del biodigestor.

Objetivo producir biol.

Cuando prima la producción de biol, el biodigestor deberá tener una carga diaria o semanal igual a la cantidad de biol deseado.

Objetivo ambiental.

Cuando el objetivo es tratar todo el estiércol disponible hay que pensar que se va hacer con las cantidades de biol que se van a producir diariamente, y con la cantidad de biogás; se calculará la carga diaria al biodigestor estimando la cantidad de estiércol disponible y aguas de lavado primero se calcula la cantidad de estiércol disponible y posteriormente se evalúa cuando biogás se producirá) y cuanto biol.

Determinación de las dimensiones del biodigestor

Una vez conocido el volumen líquido de biodigestor requerido, es necesario darle una forma, y está vendrá determinada por las dimensiones de la zanja.

Están disponibles en el mercado plásticos de diferentes anchos de rollos y cuando se trabaja con geomembranas se tiene mayor libertad para disponer de la circunferencia que uno desea.

Tomando las circunferencias y calculando sus radios asociados aparece el área de la zanja.

Conocido el volumen líquido y las áreas de las zanjas asociadas a cada circunferencia se puede calcular la longitud.

De este modo se puede conocer para cada plástico, la longitud necesaria para lograr el volumen líquido necesario. Los biodigestores que tengan relaciones L/D mayores a 10 o L/D

menores a 5 quedarán descartados, elegir el que tenga una relación más próxima a 7.5 pero también pueden entrar otros criterios como disponibilidad de espacio.

Presentación de resultados de la metodología aplicada.

La selección de alternativas se hace en función de ciertos parámetros importantes que están relacionados con las características y condiciones de operación de los distintos tipos de biodigestores.

A continuación, se realiza la calificación de acuerdo a los siguientes aspectos:

Costos de Fabricación

Se trata de reducir los costos, debido que la población objetivo del proyecto son las familias de áreas rurales y se busca que no haya limitantes para la economía familiar con la construcción del biodigestor.

Facilidad de construcción y mantenimiento

Se busca evitar complicaciones al momento de la construcción e instalación de accesorios tales como tuberías, válvulas, codos, etc. Además, el mantenimiento del biodigestor debe ser fácil de realizar.

Fiabilidad

Se busca que todos los componentes funcionen adecuadamente por un periodo de tiempo determinado. Por tanto, el objetivo de la fiabilidad es conservar la capacidad del sistema y controlar los costos.

Facilidad de operación

Se busca que las personas beneficiarias puedan manipular fácilmente los sistemas o mecanismos que conforman el biodigestor.

Seguridad

Este ítem está enfocado en el personal de trabajo. Es necesario saber las medidas de seguridad necesarias y a tener en cuenta al momento de colocar un manómetro de seguridad, inspeccionar las válvulas y fugas de gas, las rejas de protección alrededor del biodigestor, etc.

Eficiencia

Se busca que la producción de biogás sea la más apropiada (dependiendo de los objetivos planteados al inicio del proyecto)

Control de temperatura

La temperatura juega un papel fundamental en la producción de biogás, por tanto, las condiciones atmosféricas en el área de instalación del biodigestor resultan ser un factor clave. En regiones cálidas el control de temperatura puede ser omitido debido a la poca variación de la misma.

Control de Ph

Es de gran importancia el nivel de Ph en el sustrato, debido a que cualquier cambio en el mismo puede inhibir el proceso de producción.

Selección de alternativas

Tabla 2. Selección de alternativas

	ALTERNATIVAS					
	1	2	3	4	5	6
Características	Digestor Batch.	Digestor Domo Móvil.	Digestor Domo Fijo	Digestor Flujo Pistón.	Digestor Tubular (Plug. Flow).	Digestor Ideal.
Facilidad de construcción del digestor	65	60	50	65	75	90
Facilidad de construcción de gasómetro	60	55	55	55	65	90
Facilidad de mantenimiento del digestor	75	55	50	50	60	80
Facilidad de mantenimiento del gasómetro	60	60	60	60	60	80
Fiabilidad de funcionamiento	80	80	70	75	80	90
Bacterias Inicadoras	40	40	40	50	50	70
Control de temperatura	80	80	80	85	80	90
Control de pH	80	80	80	80	80	90
Costo de construcción	70	60	60	65	75	90
Materiales en el mercado	75	75	75	75	75	85
Eficiencia	35	50	50	50	55	60
Vida útil	40	40	60	60	40	65
Seguridad	70	70	70	70	65	85
Total	830	805	800	840	860	1065
Índice Porcentual (%)	78	76	75	79	81	100
Orden de Selección	3	4	5	2	1	

Nota: Tomado de (Chungandro Nacaza & Manitio Cahuatijo, 2010, pág. 132)

Teniendo en cuenta varios tipos de biodigestores, se ha establecido que el más apropiado para el proyecto es el de tipo Plug Flow, también llamado de tipo Tubular, el cual presenta las siguientes características:

Ventajas.

- Bajo costo
- Óptimo para regiones de clima cálido
- Facilidad de transporte y construcción
- La limpieza no es complicada
- Facilidad de vaciado
- Facilidad en el mantenimiento de sus partes
- No necesita de personal profesional
- Soporta altas temperaturas y alcanza un alto rendimiento respecto a los demás biodigestores
- El uso de polietileno y fibras plásticas como tuberías de PVC impide la corrosión debido al biogás producido
- Al ser de tipo tubular, la parte superior funciona como campana fija acumulando el gas
- Se evitan fugas de gas por su completa hermeticidad e impermeabilidad

Desventajas.

- Corto periodo de vida útil (3 a 4 años)
- Susceptible a daño debido a objetos corto punzantes
- Es necesario cubrirlo puesto que no presenta una buena resistencia a los rayos ultravioleta
- Para aumentar la presión de gas a la salida es necesario colocar sobrepeso sobre el gasómetro de acumulación

Para garantizar un buen proceso de digestión anaeróbica, el biodigestor debe operar de forma correcta y se debe considerar lo siguiente:

- Evitar la entrada de aire (lo cual inhibe el proceso), por tanto, deberá ser hermético
- Deberá evitar fugas de biogás producido en el biodigestor y en las líneas de conducción o transporte
- Evitar cambios de temperatura bruscos, para lo cual el biodigestor deberá tener una cubierta de polietileno
- Debido a ser un gas inflamable y recipiente de baja presión, es necesario el uso de válvulas de seguridad
- El biodigestor debe contar con tanques de carga y descarga de sustrato y del biofertilizante respectivamente. Además, deberá presentar un reservorio que aloje el biogás producido.
- El biodigestor debe ser de fácil acceso y mantenimiento

Presentación muy detallada del producto, servicio o mejora

El proyecto tiene como principio analizar la viabilidad de la instalación de biodigestores tubulares de bajo costo como alternativa para la producción de energía térmica dedicada a la cocción de alimentos en los hogares las familias residentes en áreas rurales,

Biodigestores familiares estandarizados de referencia

Biodigestor familiar es aquel que es capaz de producir al menos 1 m³ de biogás, su uso está enfocado a la cocina de la familia, y no requiere de sistemas activos de calefacción o mezcla.

Proponer unas dimensiones y volúmenes de biodigestores familiares estandarizados siempre es complejo, pues son muchas las posibles variables a considerar, principalmente circunferencia de plástico disponible, ángulo α de las paredes de la zanja, eco región, tipo de estiércol y diseño solar.

Se puede trabajar con una estandarización de circunferencias de plástico de 4 metros por ser la presentación más típica de plástico de invernadero que se puede encontrar en Latinoamérica, y ángulo α de las paredes de la zanja de 15 °

Esto ya impone unos límites a la longitud mínima de un biodigestor para considerarlo tubular que para 4 m de circunferencia implica una longitud de biodigestor tubular mínima de 6.4 m, máxima de 12.7 m y óptima de 9.5 m

El tamaño del biodigestor propuesto es de 8.10 metros de longitud, con polietileno tubular de 1.75 metros de ancho de rollo.

Ya que habrá que dejar 50 cm por cada lado del plástico para amarrar los tubos de entrada y salida, es necesario añadir un metro a la longitud del plástico (aunque finalmente el biodigestor sea de 8 metros de longitud).

Por ello, cada capa de plástico, ya que es doble, tendrá una longitud de 9.10 metros, empleando por tanto 18.20 metros para hacer el tanque con doble capa. El reservorio siempre se hace del mismo tamaño, empleando tres metros más de plástico.

Es de gran importancia recalcar que para el presente trabajo hemos tomado como guía de instalación el libro Biodigestores Tubulares. Guía de diseño y manual de instalación del señor Jaime Martí Herrero (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares. Guía de diseño y Manual de instalación., 2009)

Instalación de biodigestores tubulares

Para realizar una correcta instalación de un biodigestor, (Martí Herrero) recomienda considerar los siguientes aspectos:

Tener el diseño del biodigestor y adaptarlo al contexto local

Disponer de un diseño de biodigestor es el paso previo de la instalación del biodigestor. Aunque se pueden tomar decisiones que responden al lugar donde se va a instalar. También pueden darse cambios en las dimensiones de la zanja.

Geomembrana o plástico ¿qué material usar?

Hay dos tendencias claras, el uso de plástico de invernadero (polietileno de 200 a 300 micrones de espesor), o el uso de geomembranas. Las geomembranas las hay de PVC o de Polietileno y tienen grosores que van desde los 500 micrones a 1500 micrones (1.5 mm).

Plástico de invernadero.

Es el material más fácil de conseguir en ferreterías. La clave está en que el plástico venga con forma tubular lo siguiente es revisar que el plástico no esté dañado en los extremos del rollo por cuestiones de transporte o almacenaje.

Como este plástico viene en grosores pequeños (normalmente entre 200 y 300 micrones) se usará doble capa para construir el tanque del biodigestor.

La vida útil de estos plásticos depende fuertemente de si incide sobre ellos radiación solar directa o no.

El plástico comenzará a cristalizarse en 2 o 3 años. En casos donde el plástico está en sombra o bajo una cubierta el plástico puede durar fácilmente hasta 10 años.

En los casos en que el plástico esté expuesto a la radiación solar conviene: o bien poner una sábana de plástico negro por encima del biodigestor o bien poner una cubierta translúcida..

Geomembrana de PVC.

Normalmente estas geomembranas vienen con un color plomo y se pueden pedir en diferentes colores tienen grosores entre 750 micrones a 1500 micrones, vienen en láminas de anchuras entre 1 y 2 m, y para formar los tanques de los biodigestores es necesario soldar estas láminas hasta formar una manga.

La geomembrana de PVC tiene una capacidad de expandirse (elongación en torno a 300%). Esto permite acumular grandes cantidades de biogás en la cúpula que se irá expandiendo según vaya aumentando la presión.

También se recomienda proteger la geomembrana de la radiación solar directa, cubierta puede durar más de 20 años, mientras que expuesta a radiación solar no se garantiza por encima de los 5 – 10 años de vida.

Los biodigestores de geomembrana son prefabricados, y por su flexibilidad son fácilmente empacables y transportables.

Geomembrana de polietileno.

Son más duras y menos flexibles que los anteriores materiales, son de color negro, y vienen en láminas de 7 m de ancho y con grosores de 750 a 1500 micrones es necesario soldar para poder lograr una forma tubular, su empaquetado y transporte es más difícil.

Se transporta hasta el lugar de instalación, y es allí donde se termosella y adapta el tanque a la zanja específica.

Es el material más duro y resistente ya que tiene una vida útil que supera los 20 años expuesto totalmente a la radiación solar directa.

Geomembrana de polipropileno.

Es muy similar en características a la geomembrana de polietileno (grosos, usos, colores) Es más difícil de encontrar, es mucho más flexible, permite ser prefabricado, empacado y transportado.

Materiales

Cada biodigestor se ha de adaptar a cada lugar específico, se puede dar una lista de materiales que permitan construir el biodigestor, hacer la conducción de biogás, válvula de alivio y filtro de sulfhídrico, reservorios y cocina. Algunas cantidades variarán de acuerdo a cada proyecto

Tabla 3. Materiales fabricación Biodigestor

Componente	Comentario	Cantidad
Zanja		
Sacos	Para darle la forma adecuada a la zanja, donde el tipo de suelo no lo haya permitido, se pueden usar sacos de alimento balanceado para hacer sacos terreros	Los necesarios
Plásticos viejos, lonas o sacos	Se puede cubrir la zanja con una "sabana" de material en desuso (como plásticos viejos, o coser sacos de alimento balanceado, etc.). Esto ayuda a proteger el biodigestor cuando está siendo introducido en la zanja.	Los necesarios
Biodigestor		
Manga tubular	Puede ser plástico de invernadero tubular, normalmente de 250 micrones. En este caso se usará doble capa. Si se consigue geomembrana de polietileno de 500 micrones (que viene en láminas de 7 m de ancho) se puede pedir soldar como manga con el diámetro deseado, y se usa una sola capa. Puede ser un biodigestor prefabricado de geomembrana de PVC o geomembrana de polietileno.	En caso de ser plástico tubular de invernadero, se requieren dos piezas tubulares que cada una tiene una longitud de: <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 5px auto;"> $\text{Longitud de la manga} = (\text{longitud de la zanja} + 1\text{m} + \text{profundidad de la zanja})$ </div> En caso de geomembrana de polietileno de 500 micrones soldada de forma tubular, se requiere una sola pieza tubular de longitud igual a la ecuación de arriba. En caso de biodigestor prefabricados se compra con las dimensiones ya dadas por diseño o por el fabricante.
Tubería de desagüe de PVC	Puede ser de 4" o de 6". Se recomienda de 4" cuando se trabaja con cargas muy líquidas y 6" cuando son estiércoles. El de 6" permite un mejor amarre con el plástico tubular.	3 metros, que se dividirá en dos piezas de 1.5m, una pieza para la entrada y otra para la salida.
Liga de cámara de neumático (también llamada boya o tubo)	Se puede conseguir tubos usados de llantas de camión/volqueta, o tubos nuevos de vehículo liviano. Cortar tiras continuas de ~5cm de ancho.	Dos cámaras de aro 14 o 16 O 30 a 40 m metros de liga de neumático ya cortada
Adaptador de tanque en PVC o polipropileno (también llamado flange, pasamuros o brida)	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4". Se encuentra en las ferreterías de la mayoría de países, pero en Colombia y Costa Rica parece que es difícil de encontrar. En caso de no encontrarlo se puede hacer usando otros accesorios típicos de las salidas que se hacen en los tanques de agua.	1
Tubería de agua	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4". Puede ser de PVC, de polietileno o manguera. Se usará para conectar la salida de biogás a la válvula de alivio.	3 metros
Accesorios PVC	Se puede usar de rosca o pega en PVC, o con uniones flex para manguera.	Los que haga falta para unir el adaptador de tanque con la Tee de la válvula de alivio.

Cuerda	Una cuerda plástica mínimo de 1/4 de pulgada	2.5 veces en metros la longitud del biodigestor
Teflón	Se recomienda usar teflón (10 vueltas) en la rosca del adaptador de tanque.	1
Válvula de alivio	Será el primer elemento que encuentre la conducción de biogás al salir del biodigestor. Se compone de varios elementos que es necesario conectar.	Se requiere al menos de una Tee, una pieza de tubería de 30 cm, una botella de 2 litros de refresco vacía, y una llave de paso plástica. Considerar los accesorios necesarios para ajustar la tubería o manguera que viene del adaptador de tanque
Conducción de biogás		
Tubería de agua	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque). Puede ser tubería rígida de PVC (pegable o roscable) o de polietileno (roscable). También se puede usar tubería flexible que usa accesorios de presión (flex) que requieren de abrazadera en cada unión.	Tantos metros como haga falta para llevar el biogás desde el biodigestor al punto de consumo
Llaves de bola	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque).	Mínimo 2
Tee	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque).	Mínimo 1
Codo	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque).	Mínimo 1
Unión universal	Normalmente se trabaja en 1/2" o 3/4" (como el adaptador de tanque).	Mínimo 1
Teflón	Se recomienda usar teflón (10 vueltas) en toda conexión de roscada.	1 o 2, dependiendo de los accesorios de rosca que se usen
Cocina	Se puede adaptar cualquier cocina de gas considerando disminuir la mezcla con aire y ensanchando el conducto del chicle o quitándolo.	Se recomienda dos hornillas o quemadores
Reservorio (opcional)	Se puede trabajar en el mismo material en que está fabricado el tanque del biodigestor. Se recomienda usar geomembrana de PVC o polietileno. Para abaratar costes se puede hacer con forma de almohada.	Un reservorio de 2 metros de largo y 2 metros de circunferencia es recomendable para biodigestores domésticos.

Nota: Tomado de (Martí Herrero, 2019, págs. 76-77)

Herramientas

La instalación de biodigestores requiere pocas herramientas, herramientas para cavar la zanja, las de instalación del biodigestor, la protección, la conducción, accesorios y cocina.

Zanja.

- Pico y pala
- Sacos
- Flexo

Instalación.

- Tijera (o navaja cutter)
- Flexo
- Sierra de metal (para cortar las tuberías)
- 2x llave stilson (llave de tubo o de pico)
- Marcador (rotulador)

Conducción.

- Tarraja (si se va a usar tubería de riego de polietileno o de PVC roscable)
- Pegamento para PVC (si se va a usar tubería PVC pegable)
- Destornillador (si se va a usar uniones de presión flex, para las abrazaderas)
- Flexo

Planificación de la instalación

La instalación de un biodigestor lleva varias etapas

Ubicación y cavado de zanja.

Lo primero es saber dónde se va a ubicar el biodigestor, y posteriormente comenzar el cavado de la zanja según el diseño establecido. El tiempo puede ser unas pocas horas si se usa maquinaria, o de varios días si se hace a mano.

Instalación del biodigestor hasta válvula de alivio.

Una vez cavada la zanja y afinada, se instala el biodigestor y se termina en la válvula de alivio. termina con el cierre de protección. suele llevar medio día entre dos personas con experiencia.

Instalación de la conducción del biogás hasta el punto de consumo.

Posteriormente se realiza la conducción de biogás desde la válvula de alivio hasta el punto de consumo. se pone el filtro de sulfhídrico y reservorios y se conecta a la cocina o punto de consumo. se suele realizar, o bien cuando el biodigestor ya produce biogás (entre 2 y 6 semanas después de ser instalado), suele llevar un par de días de trabajo si se consideran todos los elementos.

Proceso de instalación

Ubicación y cavado de la zanja

Lo primero es ubicar el biodigestor. ¿Dónde ponerlo? Hay algunos criterios sencillos:

Cerca del lugar donde está el estiércol disponible.

Esto facilitará la carga del biodigestor. Hay que vigilar que las aguas lluvias no entren al canal, o que las cubiertas no descarguen sobre los pisos de los corrales ni sobre los canales, el agua lluvia podría entrar al biodigestor incrementando fuertemente la carga diaria, teniendo como consecuencia menor producción de biogás y olores en el biol. En el caso de hacer cargas manuales de estiércol y agua al biodigestor, conviene disponer de un punto de agua cerca del biodigestor para poder hacer la mezcla correspondiente, el estiércol se puede recoger del suelo con pala, y ya sea con baldes o carretilla, llevar hasta el biodigestor, y una vez allí, mezclarlo con agua.

Es recomendable, tener una poza de carga que conecte con la tubería de entrada al biodigestor para retener pajitas y arena que vengan con el estiércol.

Evitar caminos.

Evitar poner el biodigestor en lugares de paso de personas y animales.

Evitar cercanías de corrientes de agua y zonas inundables.

Las veredas de los ríos o arroyos son zonas de riesgo por inundaciones, ya que una sola crecida del río, aunque suceda cada mucho tiempo, es suficiente para llevarse el biodigestor. la inundación provocará que los aislantes salgan de su posición y posteriormente sea imposible volverlos a colocar.

Cavado de la zanja

Para cavar la zanja, lo normal será empezar por marcar en el suelo la forma de la misma. Se puede marcar con estacas e hilo y/o cal. en el suelo se marca el ancho inferior de la zanja (a) y el ancho superior (b). se recomienda cavar el ancho inferior (a) hasta la profundidad (p), y posteriormente adecuar las paredes de la zanja, para que, desde el fondo con ancho (a), se logre el ancho superior (b) en la superficie del suelo. El fondo de la zanja debe quedar a nivel.

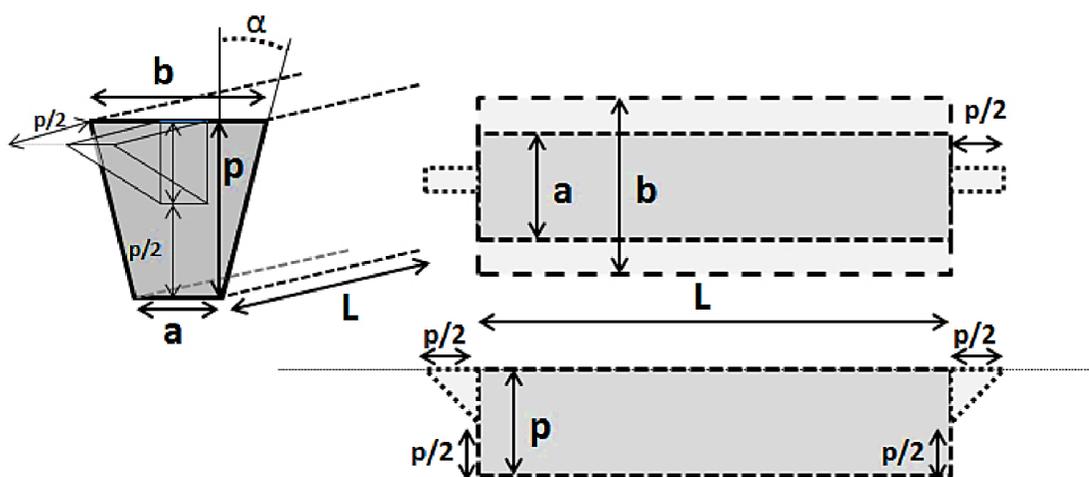


Ilustración 1. Esquema de dimensiones de una zanja para biodigestores tubulares

Nota: Tomado de (Martí Herrero, 2019, pág. 81)

Al cavar puede llegarse a la capa freática y aparecer agua se debe de rellenar con arena el fondo de la zanja hasta que no se vea el agua, y elevar unas paredes de contención. Esto puede ser crítico en zonas planas o de poco desnivel en el suelo, ya que, al elevar el biodigestor, puede que ya no sea posible cargarlo por gravedad.

Una vez acabada la zanja con las dimensiones del diseño, toca afinarla. se pueden poner planchas de madera u otro material, para darle un acabado liso a las paredes de la zanja y que actúen de encofrado.

Es necesario abrir dos canales uno a cada extremo de la zanja, donde irán asentadas las tuberías de entrada y salida se hacen inclinados (como resbalín o tobogán) de 45° y con un ancho suficiente para que entre la tubería de 6". estos canales comienzan a media altura de la profundidad de la zanja, y terminan a una distancia igual a la mitad de la profundidad de la zanja

Se recomienda cubrir la zanja con plásticos viejos, o telas de sacos de alimento balanceado de los animales, a modo de sabana sobre la zanja.

Construcción del biodigestor

El proceso es similar si se tiene plástico tubular de invernadero o geomembrana de polietileno de 500 micrones.

- Para el plástico tubular de invernadero es necesario hacer doble capa.
- Para la geomembrana de polietileno de 500 micrones se trabaja con una sola capa.

Inicialmente se trata de meter una manga de plástico dentro de otra, para que quede doble capa, y posteriormente colocar las tuberías y la salida de biogás.

Doble capa de plástico

- Hay que disponer de un espacio plano y libre de puntas, cemento se barre previamente, pasto se revisa que no haya puntas o piedras
- Se recomienda colocar lona de camión sobre la superficie que se va a trabajar.
- Se pone el rollo de plástico sobre la lona y se extiende una lámina de la longitud igual a:

Longitud de la zanja + 1 metro + Profundidad de la zanja

Por ejemplo, si el biodigestor va a ser de 10 metros, y la zanja de 1 m de profundidad, se cortarán 12 metros de plástico. Estos dos metros extras serán usados en parte para el amarre a las tuberías de entrada y salida, y en parte para que el biodigestor se acomode a la zanja en los extremos.

- Cortada una pieza de plástico, se vuelve a desenrollar el rollo de plástico encima de la capa ya cortada, y se corta una pieza de las mismas dimensiones.
- Se retira el rollo de plástico y se guarda protegido para que no sufra daños.

- Se asegura que las dos capas tienen el mismo largo poniendo una encima de otra, y se corta plástico sobrante si lo hubiera
- Se recoge una capa en un extremo, doblándola en pliegues, sobre la lona del suelo. Se abre el plástico que ha quedado tendido y se ventea para poder despegarlo y que se puede ver su forma tubular.
- Ahora hay que meter la manga que ha sido recogida y extenderla dentro de la manga que ha sido venteadada, una persona coge el extremo de la manga recogida, se introduce en su interior arrastrando el extremo de la manga recogida
- Teniendo ya la doble capa, una persona debe volver a cruzar el interior de la doble capa, llevando una cuerda
- acomodar los dos plásticos (uno está dentro del otro) para que no queden arrugas.
- Finalmente quedarán los dos plásticos sin arrugas, acoplados, uno dentro del otro, y tendidos en el suelo.

Salida del biogás

- Habrá que ubicarla en la parte superior del biodigestor, donde se formará la cúpula de biogás
- Ubicarlo a uno o dos metros del extremo que vaya a ser la entrada del biodigestor
- Por comodidad para instalar esta salida se recomienda que sea cerca de uno de los extremos del plástico
- Tener preparado el accesorio que servirá para tener una salida estanca de biogás, se puede conseguir en ferreterías y se llama “adaptador de tanque”, también “brida” y en otros casos “flange”.

- Una persona puede poner el adaptador de tanque, metiendo el brazo por la manga desde un extremo y recogiendo el plástico sobre su brazo.
- Para hacer el corte en la doble capa de plástico se recomienda hacer un pliegue y doblarlo
- A la punta que queda hacerle un corte con tijeras suficiente para poder hacer pasar el macho del adaptador de tanque por él
- Se mete el macho (con su empaque) desde dentro de la manga, y se pone la hembra (con su empaque) por fuera.
- Usar teflón y ajustar bien la rosca de este accesorio usando llaves stilson
- A partir del adaptador de tanque continuará la conducción de biogás, siendo el primer elemento que encuentre la válvula de alivio.

Amarre de tuberías

- Cortar dos piezas de 1.5 m de largo de tubería de 6"
- A cada pieza hay que protegerle el borde que vaya a quedar por dentro del biodigestor.
- Se colocan las tuberías en cada extremo de la manga de plástico, y se asegura que queden centradas, con 2 capas de plástico por arriba y dos por abajo.
- La cuerda que cruza de lado a lado el biodigestor, se hace pasar por dentro de las tuberías.
- La tubería se mete dentro del plástico 80 cm. De estos 80 cm, 30 cm quedarán dentro del biodigestor, y los 50 cm más cercanos al borde de la manga serán amarrados con la liga de neumático.
- Se marca sobre la manga con marcador esos 50cm a los que se empezará el amarre. Fuera de la manga quedaran 70 cm de tubería de PVC de 6".

- Teniendo la tubería metida 80 cm dentro de la manga, se comienza a doblar los laterales de la manga en pliegues, de unos 10 cm de ancho, en forma de acordeón, desde fuera hacia la tubería.
- Normalmente con 4 a 6 pliegues a cada lado de la tubería es suficiente
- Una vez que la manga esta plegada sobre la tubería centrada, se ajustan bien los pliegues, y se comienza a amarrar desde dentro hacia fuera, comenzando en la marca de 50 cm que se hizo previamente en el plástico.
- Quedarán 30 cm de tubería dentro del biodigestor sin amarrar.
- El amarre se hace con liga de neumático montando la liga siempre sobre la anterior vuelta, no se va a ver nada de plástico.
- Avanzando en el amarre, cubriendo los 50 cm de plástico sobre la tubería y se prosigue unos 8-10 cm de amarre únicamente sobre la tubería
- A partir de aquí se puede seguir con el amarre unas cuantas vueltas regresando hacia atrás, para hacer un nudo y fijar el amarre.
- Este proceso se realiza igual en ambos extremos de la manga.
- Se habrá construido el biodigestor tubular de plástico, con una entrada y una salida de 6” en cada extremo, una cuerda que atraviesa el biodigestor y una salida de biogás.
- En el caso de haber usado geomembrana de polietileno de 500 micrones, el amarre de la liga sobre la tubería debe ser muy tenso y fuerte
- Se recomienda hacer un amarre extra tenso.
- Puede incluir abrazaderas (una vez amarrado todo) para tratar de estrangular completamente los pliegues.

Válvula de alivio biogás

- Se basa en hacer un sello de agua para que cuando el biodigestor alcance cierta presión máxima, el biogás pueda escapar
- Lo que se hace es poner un T en la conducción de biogás por un lado viene el biogás desde el biodigestor,
- Por el lado opuesto sigue el biogás hacia el punto de consumo,
- Por la parte inferior de la Tee sale una tubería de unos 30 cm.
- Esta tubería vertical se introduce en una botella de modo que se forma un sello hidráulico.
- La presión máxima a la que se pone el biodigestor viene dada por la cantidad de cm que se sumerge la tubería de 30 cm dentro del agua.
 - Biodigestores de plástico de invernadero esta presión puede ser de unos 12-15 cm de columna agua.
 - Biodigestores prefabricados dependerá del fabricante
 - Biodigestores de geomembrana de PVC no se supera los 5-8 cm
 - Biodigestores de geomembrana de polietileno se pueden superar los 20 cm
 - Biodigestores contruidos con geomembrana de polietileno de 500 micrones soldada de forma tubular la presión puede estar entre 15 y 20 cm
- Construir este elemento es sencillo, pues solo se requiere conectar la salida de biogás del biodigestor (el adaptador de tanque) a la Tee con tubería de PVC, polietileno o manguera. Colocar en la parte inferior de la Tee una tubería de 30 cm y sumergirla en agua tantos cm como presión máxima se desea, y por el otro extremo de la Tee poner una llave de paso (llave de bola). Esta llave siempre irá después de la válvula de alivio, de modo que, si por

vandalismo o descuido queda cerrada, el biogás producido en el biodigestor pueda escapar por la válvula de alivio previa

- Se recomienda que la conducción de biogás entre el biodigestor y la válvula de alivio tenga pendiente (evitar valles o puntos bajos) de modo que, si condensa agua dentro de la tubería, esta pueda escurrir hacia el biodigestor o hacia la válvula de alivio.
- La válvula de alivio se suele fijar en un poste o pared cercano a la zanja (por ejemplo, a dos o tres metros del punto de salida de biogás del biodigestor).

Instalación del biodigestor

Teniendo la zanja del biodigestor lista y el biodigestor y la válvula de alivio contruidos, se procede a meter el biodigestor en la zanja.

Es un proceso en el que se suele necesitar mínimo dos personas, y mejor si son tres o más, evitando en todo momento del transporte del biodigestor

Habrá una persona en cada extremo, llevando el biodigestor estirado, y tantas personas como haya disponible sosteniendo el biodigestor en sus partes medias.

Se coloca con suavidad el biodigestor en la zanja. Una vez colocado en la zanja, se estira el biodigestor desde cada extremo y se trata de asegurar que la salida de biogás quede en la parte superior.

Después se conecta el biodigestor a la válvula de alivio. Se llena de agua la botella de la válvula de alivio y se cierra la llave posterior.

Lo que sigue se describe a continuación:

Inflar el biodigestor de aire

- Lo siguiente es inflar el biodigestor con aire, para acomodarlo bien en la zanja y eliminar cualquier arruga.
- Se utiliza un pedazo de plástico (de unos 40cm x 40 cm), o una bolsa o funda plástica, y se tapa una de las tuberías de entrada o salida del biodigestor, asegurándola con liga de neumático.
- Se puede inflar el biodigestor con tres personas. Esto se llama “inflado a la colombiana” (aprendido de Lylian Rodríguez en Colombia) es necesario tener tres o cuatro metros de

plástico tubular. No es necesario que sea plástico bueno de invernadero, pudiéndose usar plástico tubular de baja calidad que venden en las ferreterías. Se amarra un extremo de la manga de plástico tubular a la tubería del biodigestor que está libre. Se puede amarrar con un par de vueltas de liga de neumático. ventean la manga, y cierran rápidamente la boca de la misma, empezando a enrollar sobre sí misma la manga. el aire atrapado dentro de la manga sea empujado hacia el biodigestor. En cada “bocanada” puede llegar a entrar 1m³ de aire, por lo que es un método rápido y eficiente. Cuando se termina de enrollar la manga y se ha metido el aire en el biodigestor, una persona tapa estrangulando la manga de plástico a la entrada de la tubería del biodigestor, evitando que escape el aire. Las otras dos personas desenrollan la manga, la vuelven a ventear, cierran y vuelven a enrollar. La persona que cerraba la tubería del biodigestor permite la entrada de aire mientras sus compañeros van enrollando la manga empujando el aire hacia dentro del biodigestor.

- Se procede a llenar bien el tanque en la zanja. Se debe vigilar que quede centrado, y que no haya arrugas

Primer llenado de agua

- Teniendo bien colocado el biodigestor, y lleno de aire, se procede a llenar.
- Para ello se puede usar una manguera de agua, se hace un agujero (del tamaño de la manguera) en el pedazo de plástico que tapa una de las tuberías del biodigestor y se deja llenando (una vez que el agua empieza a acumularse dentro del biodigestor, el peso será tal, que no permitirá más movimientos del plástico)
- En este momento se trata de llenar el biodigestor con agua hasta que la parte interna de tuberías de entrada y salida, que quedaron dentro del biodigestor, queden tapadas por el agua.

- Una vez lograda el sello de agua en la tubería de entrada y salida, se pueden destapar las tuberías (quitar las piezas de plástico que se pusieron para el inflado).

Niveles de la tubería de entrada y salida

- Cuando se logre el sello de agua ya se pueden determinar los niveles definitivos de las tuberías de entrada y salida del biodigestor
- Primero se coloca la tubería de salida, para lo que basta con ir cambiando la inclinación de la tubería hasta lograr el nivel de salida deseado.
- Una vez colocada la tubería se puede fijar con piedras.
- Después se fija el nivel la tubería de entrada, que simplemente tendrá que quedar con la boca de entrada más alta que el nivel de rebalse marcado por la tubería de salida.

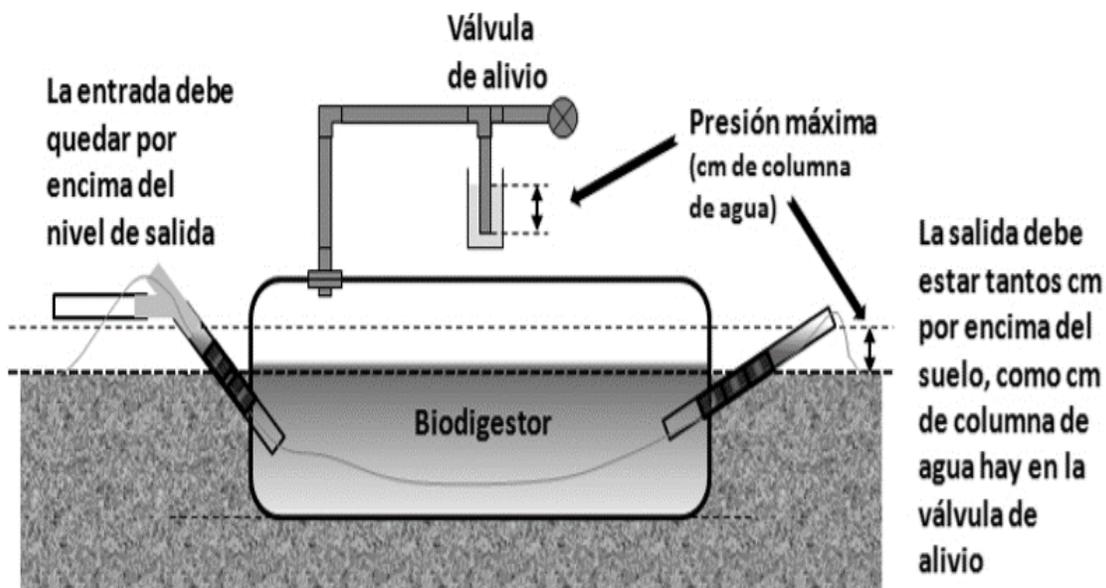


Ilustración 2. Esquema de un biodigestor.

Nota: Tomado de (Martí Herrero, 2019, pág. 92)

Protección de las tuberías de entrada y salida

- Usar un pedazo de plástico y envolver la parte de tubería amarrada en él, o usar un saco, o incluso tapar la zona del amarre con tierra.

Lo anterior se hace para evitar que un día soleado se recaliente el amarre, que, alcanzada cierta temperatura, puede llegar a doblar la tubería de PVC que abraza

Primer llenado de estiércol

- Una vez que se tiene el sello hidráulico de agua dentro del biodigestor se procede a cargar el biodigestor con estiércol
- Si se tiene estiércol acumulado se puede meter este dentro del biodigestor, mezclándolo con el agua necesaria para que fluya hacia el interior del biodigestor.
- Una cantidad interesante de estiércol para la carga inicial es de 80-100 kg (unas dos carretillas). Esta carga inicial ayuda a que el biodigestor comience antes a producir biogás.
- Con este llenado de agua para hacer el sello hidráulico, y de estiércol para iniciar la activación del biodigestor, el nivel del líquido dentro del biodigestor aun no alcanzará para rebalsar por la salida. Según se vaya cargando el biodigestor cada día, será que el nivel dentro del biodigestor irá subiendo hasta que un día rebalsará por la tubería de salida. Esto puede demorar varias semanas.

Protección del biodigestor

- Se recomienda fuertemente proteger el biodigestor el mismo día de la instalación.
- Se puede poner una malla y unos postes alrededor del biodigestor para que lo protejan.
- La otra protección está en poner una cubierta

- En caso de poner techo, se recomienda usar materiales translucidos (policarbonato o zincs translucidos) o materiales porosos (sarán o polisombra).
- Si se usa plástico de invernadero o geomembrana de PVC para el biodigestor, siempre se deberá de proteger del sol con cubierta.
- En caso de usar geomembrana de polietileno (de 500 micrones o más) no es imprescindible la cubierta

Conducción de biogás

La conducción de biogás se puede hacer en tubería de polietileno típica de riego, o en tubería de PVC rígida típica para agua doméstica o con manguera. También se puede trabajar con rosca, pega o unión flex de presión (siempre con abrazadera), dependiendo de los gustos de cada instalador. Normalmente se trabaja en 1/2" de diámetro en biodigestor domésticos, y cuando son un poco más grandes (por encima de los 10 m³) o hay distancias largas hasta el punto de consumo (más de 30 m) se usa tuberías de 3/4" de diámetro.

Esta instalación se suele hacer cuando el biodigestor ya está produciendo biogás, aunque se puede hacer antes. Se trata de, a partir de la llave de paso que quedó en la válvula de alivio, continuar la conducción hasta el punto de consumo, normalmente la cocina.

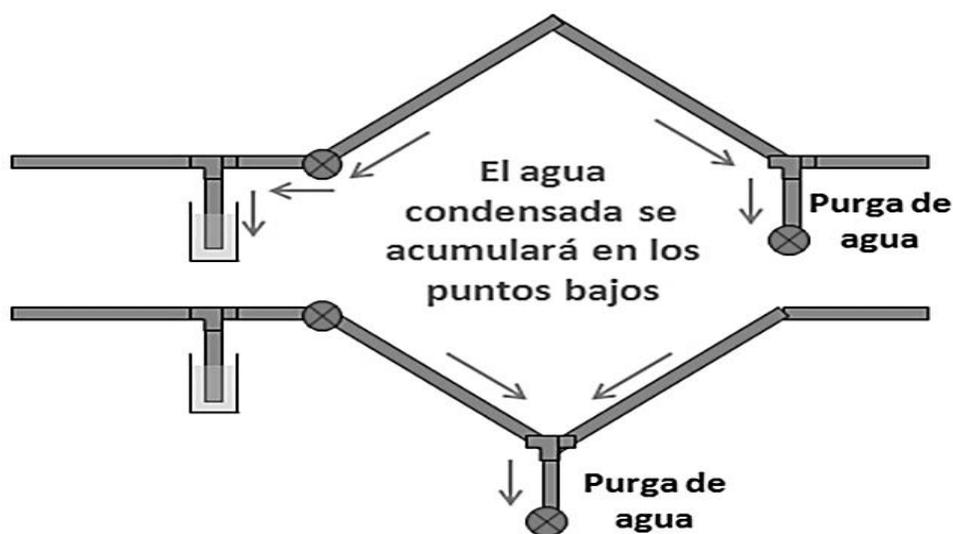


Ilustración 3. Esquema de pendientes en la conducción de biogás

Nota: Tomado de (Martí Herrero, 2019, pág. 94)

Purga de agua condensada

- Se recomienda que la conducción de biogás sea elevada a suficiente altura como para no obstruir el paso en ningún momento de personal y animales.
- Una recomendación es evitar en lo posible el uso de codos, ya que cuantos más haya, mayor será la pérdida de presión del biogás que fluirá.

Filtro de ácido sulfhídrico (H₂S)

- El biogás es una mezcla de gases principalmente compuesto de metano y dióxido de carbono, pero también lleva algo de H₂S. Este H₂S en niveles altos puede ser tóxico y además corroe los elementos de metal que encuentre, Esta es la razón de porque se trabaja todo en plásticos (el tanque del biodigestor y la conducción de biogás).
- Para usos de biogás en cocina o quemadores, típicos de la pequeña escala, basta con añadir un filtro de ácido sulfhídrico sencillo.
- Este filtro se ubica cerca del lugar de consumo del biogás (por ejemplo, uno o dos metros antes de llegar a la cocina), para que sea fácil el reemplazo de la lana de hierro oxidado cuando ya se haya saturado.

El filtro comienza con una llave, le sigue una unión universal, un pedazo de tubería de unos 30cm, y otra unión universal

La lana de hierro más eficiente es la más rústica y barata que se encuentra en las ferreterías ya que se oxida rápidamente. Para oxidarla basta con dejarla una noche en vinagre antes de usarla como filtro. Cuando se mete en el filtro no hay que apelmazarla, debe quedar suelta, ya que el biogás debe de poder atravesar la lana de hierro oxidada.

Se recomienda tener siempre disponible una lana de hierro ya oxidada (que haya estado en vinagre una noche) preparada para el siguiente cambio de filtro.

Se debe cambiar cada vez que se note “olor” desagradable al abrir la llave de la cocina. El H₂S tiene un olor particular que recuerda a huevo podrido.

Es evidente, que cuanto más se use la cocina, con más frecuencia habrá que cambiar el filtro.

Reservorio de biogás

- No siempre es necesario añadir reservorios de biogás, pero estos tienen sus ventajas: permiten aumentar la presión del biogás cerca del lugar de consumo, y permiten acumular biogás para momentos de uso prolongado
- El reservorio de biogás se debe de colocar cerca del punto de consumo. Se conecta a la conducción de biogás mediante una Tee, normalmente antes del filtro de ácido sulfhídrico.
- El reservorio solo tiene una conexión con la conducción de biogás (no necesita más), de modo que cuando está vacío puede entrar el biogás a ocuparlo, y cuando está lleno y se usa la cocina, la misma conexión sirve para que el biogás salga.
- El reservorio se puede hacer del mismo material de que está hecho el tanque del biodigestor, pero por el esfuerzo que va a tener (inflar y desinflar) se recomienda que sea geomembrana, o bien de PVC o de polietileno.
- Para termosellar la geomembrana se puede acudir a lugares donde elaboran carpas de camión. Se recomienda poner una llave entre el adaptador de tanque (salida/entrada del reservorio) y la Tee que le une a la conducción general de biogás.
- El tamaño típico de un reservorio para un biodigestor doméstico sería de unos 2 metros de largo y 2 metros de circunferencia, formando una almohada de 2 metros de largo y 1 metro de ancho.

Cocina

Las cocinas normales de GLP (Gas Licuado de Petróleo) pueden adaptarse a biogás.

Las cocinas de GLP están pensadas para trabajar a grandes presiones comparadas con La presión del biogás del biodigestor, y tienen un chicle (inyector o difusor) con un conducto muy pequeño que se encuentra justo después de la llave del quemador.

Este chicle inyecta el GLP al quemador, mezclándose con aire, para llegar al quemador ya con una mezcla adecuada para la combustión. En el caso de adaptar la cocina GLP biogás hay dos opciones generales:

- Se retira el chicle (es una pieza a rosca) y se cierra la mezcla de aire
- Se ensancha el conducto del chicle con taladro (en torno a 5 mm de diámetro) y se regula la mezcla de aire al 50% o menos.

También existen en el mercado quemadores tradicionales que se pueden comprar en ferreterías y que se pueden conectar directamente a la conducción de biogás

Operación diaria

La operación del biodigestor es sencilla. Cada día se debe cargar al biodigestor con la carga diaria definida en el diseño.

La salida del biol, en días secos, puede llegar a formar una “costra” o tapa dura. Si en la carga del biodigestor esta tapa no cede y no sale por sí misma, habrá que romperla usando un palo o tubería.

Si a un biodigestor se le carga con mayor cantidad de la que fue diseñado, se dice que tendrá “diarrea”, y el biol que salga saldrá fresco, con olor y no se producirá tanto biogás. En estos casos, para recuperarlo, se recomienda dejar de cargar el biodigestor durante una semana, y comenzar a cargarlo la siguiente semana con la mitad de la carga establecida en el diseño, y ver cómo reacciona.

Si a un biodigestor se le carga menos de lo establecido en el diseño, se dice que estará a “dieta”, y producirá menor cantidad de biogás (entra menos materia prima para producir biogás). En cambio, seguirá saliendo buena calidad de biol, pero en menor cantidad (tanto entra tanto sale). Se puede mantener un biodigestor a dieta durante toda su vida útil, pero sin esperar que produzca las cantidades de biogás y biol estimadas en el diseño.

Mantenimiento

Hay tres acciones centrales en el mantenimiento del biodigestor:

- Revisar que la válvula de alivio tiene agua suficiente como para mantener la pieza de tubería sumergida en el agua tantos centímetros como se desea.
- Purgar de agua condensada las tuberías cuando se está cocinado y se escuchan ruidos en la tubería o cuando la llama de biogás sale a golpes
- Cambio de filtro de ácido sulfhídrico cuando se note “olor” o se sienta la boca con sabor metálico. Entonces se cierra la llave previa al filtro, se abren las uniones universales y se quita la lana de hierro oxidada ya corroída, y se cambia por una nueva.

Usos y manejo del producto, servicio o mejora.

¿Qué aporta un biodigestor a un productor agropecuario?

Los biodigestores son una herramienta versátil que puede fortalecer a los pequeños y medianos productores de múltiples formas (Martí Herrero, Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación., 2019)

Biodigestor como productor de combustible.

La producción en la finca de un combustible (como el biogás) permite que el usuario pueda cocinar con él. Este acceso a una nueva fuente de energía renovable y local, que produce el propio campesino, amplía las posibilidades de uso y de mejora de sus procesos, que quizás no haría si debe incrementar su factura energética para esto.

Biodigestor como productor de fertilizante.

El uso del biol en los propios cultivos significa realizar un reciclaje de nutrientes que hacen al productor más independiente de los productos agroquímicos externos a la finca. El uso del biol permite que el productor pueda fertilizar sus campos, ahorrando costes de compra de fertilizantes sintéticos, y dándole un valor agregado a su producción por ser un manejo orgánico.

La carga de mezcla diaria de estiércol con agua que se introduce al biodigestor será digerida por las bacterias y se producirá biogás. Pero por otro lado quedará un líquido ya digerido, que ha producido todo el biogás que podía, y que se convierte en un excelente fertilizante. A este fertilizante se le suele llamar de forma general biol.

El fertilizante producido tiene un contenido en nitrógeno de 2 a 3%, de fósforo de 1 a 2%, de potasio entorno al 1% y entorno a un 85% de materia orgánica con un PH de 7.5.

Para producir un mejor fertilizante es interesante aumentar los tiempos de retención, de manera que el lodo se descomponga más, y sea de mayor calidad y más fácil de asimilar por las plantas.

Aplicaciones del fertilizante.

Existen diferentes experiencias en el uso del biol producido en un biodigestor y aquí se presentarán tres de ellas básicas explicadas de acuerdo a los tiempos de los cultivos.

- Inicialmente, cuando el terreno se ara, se puede usar el fertilizante recién salido del biodigestor para regar cada surco.
- El día antes de sembrar, se pueden introducir las semillas o grano en una mezcla de 1 a 1 de fertilizante con agua por un tiempo de 4 o 5 horas.
- Una vez en crecimiento la planta, se puede filtrar el fertilizante y fumigar las plantas con una mezcla de una parte de fertilizante y 4 de agua. Funciona muy bien fumigar tras una helada, así como cuando ya comienza el fruto a aparecer, pero nunca durante la floración, ya que podría llegar a quemar la planta.

Biodigestor como sistema de tratamiento.

El biodigestor hace un servicio ambiental al tratar los residuos, ofreciendo dos productos tangibles como es el biogás y el biol, frente a otros sistemas que suelen aportar solo al componente de fertilización.

Biodigestor como herramienta de mitigación del cambio climático.

El estiércol producido por los animales produce gas metano, que tiene un efecto invernadero 25 veces mayor que el CO₂. Al combustionarse el biogás, el metano se transforma en CO₂ y agua lo que reduce y, por tanto, el impacto del efecto invernadero.

De otro lado, la producción y uso del biogás desplaza el uso de otros combustibles, como la leña o el gas natural o licuado de petróleo, lo que reduce la deforestación y el uso de combustibles fósiles.

El biodigestor permite que el productor reduzca la huella de carbono asociada a su consumo energético y fertilización de sus cultivos.

Biodigestor como herramienta para la adaptación al cambio climático.

Un biodigestor permite que el productor disponga de su propio combustible, independizándose de las fuentes de energía externas, que ante eventos extremos producidos por el cambio climático pueden romper sus cadenas de distribución o elevar sus costes.

Consumo de biogás como sustituto de la leña.

El biogás producido se emplea normalmente como sustituto de la leña, bosta seca o gas de garrafa, para cocinar. El poder calorífico del biogás es menor al del butano o propano e implica que se tarda en cocer más tiempo los alimentos que cuando se hace con gas natural o de garrafa. El consumo de una cocina doméstica normal se puede estimar en 130-170 litros por hora.

Al sustituir la leña como principal fuente para la cocción de alimentos se mejora la calidad de vida de los habitantes del área rural ya que disminuye el índice de enfermedades asociadas a la inhalación de humo.

Otros usos del biogás.

El biogás también se puede emplear para iluminación en lámparas de gas comerciales. El consumo de estas lámparas varía según el fabricante, pero se puede considerar un consumo de 90 a 130 litros por hora. Cuando se produce gran cantidad de biogás éste se puede emplear en

calefacción (de chiqueros y cría de pollos) e incluso conectarlo a un motor para su funcionamiento.

Tabla 4. Equivalencias energéticas del biogás

1000 litros(1 m ³) de biogás equivale a:	
Madera	1.3 kg
Bosta seca	1.2 kg
Alcohol	1.1 litros
Gasolina	0.75 litros
Gas-oil	0.65 litros
Gas natural	0.76 m ³
Carbón	0.7 kg
Electricidad	2.2 Kw/h

Nota: Tomado de (Martí Herrero , 2008)

Resumen del modelo, gráfica explicativa o ciclo
ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DEL PROYECTO

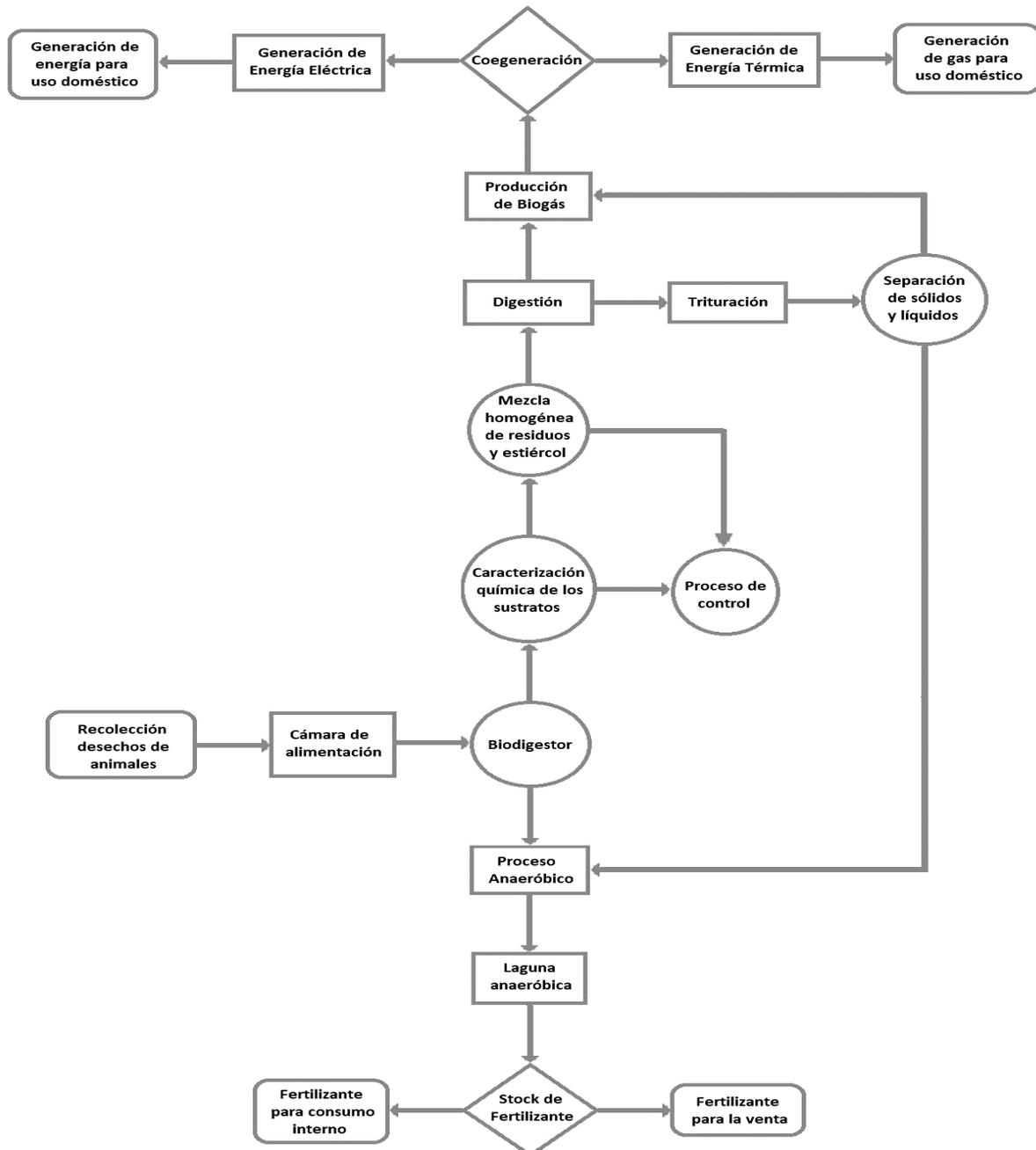


Ilustración 4. Análisis del ciclo de vida del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Futuro general del sector al cual pertenece la iniciativa propuesta

La sostenibilidad del proyecto pasa por democratizar la tecnología. Esto es, hacer que el conocimiento de la instalación y mantenimiento de un biodigestor no dependa de técnicos profesionales, y se convierta en conocimiento transmitido de campesino a campesino, de cada familia.

La capacitación de personal técnico especializado y profesional puede ayudar al inicio del proyecto, pero no es sostenible a largo plazo, porque los profesionales capacitados que viven del trabajo con esta tecnología, en cuanto no hay demanda durante unos meses, éstos abandonarían y se dedicarían a otra actividad laboral.

El mayor interés está en capacitar personal local, en las ideas básicas de manejo e instalación, quizás no tan técnicos, pero que puedan instalar un biodigestor. De esta manera ellos no abandonan su trabajo anterior, y harán biodigestores a petición de sus vecinos, cobrando un jornal a la familia beneficiaria.

Esto puede significar un ingreso monetario extra, pero nunca un abandono de sus actividades laborales anteriores.

Para esto es necesario divulgar “modelos” de biodigestores familiares, de modo que no se necesiten cálculos o diseños particulares, y se disponga de las dimensiones y medidas “comunes” de biodigestores que satisfagan las necesidades de una familia.

A través de estos biodigestores modelo, de la transferencia tecnológica en cuanto a adquisición de materiales, instalación y manejo de un biodigestor se puede lograr la democratización de la tecnología.

Introduciendo el sistema de microcrédito y financiación se asegura la sostenibilidad a largo plazo.

Identificación detallada de necesidades.

Las familias de áreas rurales siempre han encontrado barreras al momento de acceder a servicios que los habitantes del área urbana podrían describir como “básicos”, entre ellos tenemos el acceso a servicios como la energía eléctrica, el agua potable o el gas natural.

En el caso concreto del gas, la falta de acceso al mismo obliga a los habitantes rurales a buscar otras fuentes para generar energía térmica para la cocción de sus alimentos, entre ellos está la leña o insumos similares, lo cual trae consigo una serie de riesgos implícitos, entre los que encontramos los riesgos a la salud, producidos al aspirar el humo y las partículas procedentes de la combustión de la leña y los riesgos ambientales, asociados a la deforestación.

Los biodigestores, por tanto, se convierten en una alternativa para los habitantes de aquellas áreas donde por dificultades de acceso o por factores políticos, económicos o sociales ha sido difícil llevar el servicio de gas.

El proyecto busca mejorar la calidad de vida de los pequeños productores que viven en el área rural, además de incidir de forma positiva en la salud de las personas que diariamente se ven obligadas a cocinar con leña, puesto que su uso sería reemplazado por el biogás; el factor ambiental también es de gran importancia, puesto que el biofertilizante garantiza un aprovechamiento de casi el 100% de las excretas de los animales que luego pasan a ser un fertilizante de altísima calidad; esto sin mencionar la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, debido a la transformación del ente contaminante en uno cuya incidencia es 23 veces menor.

Investigación del mercado

Nuestra población objetivo serán las familias, grupos sociales que habitan las zonas rurales.

Ruralidad

Familias dedicadas a actividades productivas que se desarrollan en el sector rural, con una importante actividad agrícola donde se destaque la ganadería lechera y crianza de vacas.

Serán nuestros elementos de recolección de la información, y lo hemos realizado mediante la identificación de las necesidades de la población a la que va dirigido nuestro proyecto muchos de nuestros campesinos no saben qué hacer con los desechos que producen sus animales, el Biodigestor es la solución considerado, principalmente, como una manera de producir gas combustible a partir de estos desechos. Se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: Aspecto climático y geográfico.

Clima

Aspecto climático en el entorno rural, con el fin garantizar el proceso anaeróbico dentro de los biodigestores y que la biomasa no sufra ningún proceso que no permita generar gas y abono.

Geográficamente

El campesino es aquella persona que vive de la producción para el auto consumo y comercialización de lo que produce para cubrir otras necesidades, es también la base histórica del pueblo y su herencia productiva. Ocupan el 75 % del territorio y por este motivo hay que incentivarlos a cuidar el medio ambiente una forma de cuidar los ríos, la tierra el aire que se produce en el campo para el resto del país y el mundo es por medio de los Biodigestores.

Se puede implementar en grupos de 8 a 15 personas beneficiarias, en donde se caracterizarán los diferentes desechos orgánicos y se iniciará el proceso instalando un biodigestor en cada una. Los resultados de esta descomposición orgánica se tendrán en cuenta para iniciar el estudio de la caracterización de las diferentes biomasas para determinar la mejor integración de agentes biológicos. Con respecto a la implementación:

- Estudio de fincas donde se implementaría el proyecto y elegir los campesinos que se bonificaran y servirán de muestra.
- Socialización del proyecto de investigación e inicio de actividades para seguimiento de funcionamiento del Biodigestor.
- Presentación del grupo de trabajo, para dar inicio a la implementación del Biodigestor en las viviendas de las personas seleccionadas.
- Registro de resultados
- Análisis de resultados obtenidos
- Divulgación de resultados a comunidad campesina.

Los resultados de esta descomposición orgánica se tendrán en cuenta para iniciar el estudio de la caracterización de las diferentes biomasas para determinar la mejor integración de agentes biológicos.

Análisis de la demanda

En la actualidad la degradación ambiental ha generado preocupación en todos los sectores agudizando así el impacto negativo que se produce en actividades económicas generadas por la población rural, se empieza a identificar la necesidad de relacionar las actividades económicas, productivas con el medio ambiente la contaminación producida por los bovinos y la legalización de ambiental vigente han generado la necesidad de tratar los residuos producidos por los animales.

Social

El impacto social sobre el pequeño agricultor a quien va dirigido nuestro proyecto ayudaría al bienestar positivo del mismo, las tareas diarias de este grupo social son el principal motivo para implementar un buen manejo de la recolección de sus desechos y no eliminarlos directamente al medio ambiente la incorporación de Biodigestores a sus labores diarias es la mejor alternativa para nuestro medio ambiente pero generándonos también un beneficio que le aporta al mejoramiento de calidad de vida de nuestros campesinos.

Demografía

Actualmente la población colombiana es más urbana que rural. Las estadísticas oficiales, consolidadas por el DANE, del 100% de nuestra población el 25 % es rural vive en nuestros campos y como es tan mínimo se ha descuidado estos grupos sociales.

Según los estudios realizados por el PENUD y el DANE Colombia es un país más rural que urbano pues las tres cuartas partes de los municipios del país lo componen las áreas rurales.

La dicotomía que históricamente ha existido entre lo rural y lo urbano, donde lo urbano se percibe como civilizado, mientras lo rural simboliza lo opuesto, ha generado una distancia

importante entre las poblaciones urbanas y las poblaciones campesinas. Sin embargo, en el caso de Colombia esto no es únicamente un imaginario, sino que ha sido una iniquidad que se ha materializado en una grave falta de oportunidades socioeconómicas para la población campesina.

Económico

Los biodigestores también tienen un impacto económico importante a pesar de la inversión inicial que representan: Ahorro directo cuanto a la compra de combustible Ahorro directo cuanto a la utilización del biol como fertilizante en sustitución de los fertilizantes químicos, e indirectos en comparación al no uso de fertilizante, llevando a una mejor producción y, en consecuencia, a una fuente de ingresos más importante. Ahorro indirecto cuanto al aumento de tiempo disponible y la posibilidad de realizar otras actividades (capacitación, cursos, otra actividad económica). Este aumento de tiempo viene del hecho que toda la parte de recolección de la biomasa desaparece. Ahorro indirecto cuanto a la posibilidad de crear nuevas actividades con el uso del biol; las calidades del biol (estabilidad, presencia mínima de patógenos, altas cantidades de nutrientes) permiten su uso en otros campos

Ambiental

El mejor manejo y gestión de los excretos animales, la eliminación de las fosas de excretos puestos a secar cerca de la casa reduce la posibilidad de infección debido a la disminución de vectores de transmisión como los mosquitos, moscas... Además la combustión del biogás es mucho más limpia en comparación con los otros combustibles sólidos utilizados en las áreas rurales como la leña o la bosta. Los humos que genera la combustión de estos combustibles sólidos, al ser incompleta, genera un porcentaje más elevado de monóxido de carbono (CO) así como partículas y cenizas en suspensión]. Con el uso del biogás, las enfermedades respiratorias debidas a la inhalación de estos gases se reducen considerablemente.

Nicho de mercado.

Los biodigestores familiares propuestos están dirigidos para familias rurales, con la capacidad de recoger 20 kg de estiércol fresco al día y con acceso diario al agua. Estos son los dos criterios principales.

Para poder recoger 20 kg de estiércol al día basta con que la familia tenga tres o cuatro vacas que se pastoreen, o una o dos que estén tabuladas. De igual modo, pueden usarse otros tipos de estiércol (como el del cerdo), incluso mezclados, que cada día sumen 20 kg. Estos requisitos son muy comunes en familias rurales.

La familia prototipo “ideal” en estos casos, es la pequeña productora de leche. Familias con tres o cuatro ganados lecheros, que aun pastoreando el ganado durante el día duermen cerca de la casa. Esto es importante para que la recogida de estiércol sea fácil.

Estas familias muchas veces, además, tienen algún tipo de cultivo para alimentar a sus ganados, y el fertilizante producido da muy buenos resultados. Estas familias además suelen tener acceso al agua a lo largo de casi todo el año. En la producción de leche, además, está el incentivo del suero que puede sustituir parte del agua.

Estrategias de distribución.

La divulgación de la tecnología ha de llegar, principalmente, a las familias rurales, pero las instituciones, ONGs, alcaldías, universidades, organizaciones son quienes llegan a mayor cantidad de familias, y por tanto debe de priorizarse también la divulgación a estos actores.

Estrategias de capacitación

Talleres dirigidos a profesionales del desarrollo rural.

A través de talleres intensivos se pretende capacitar a profesionales del desarrollo rural en el diseño, instalación, manejo diario, aplicaciones del fertilizante y biogás, gestión de proyectos y sostenibilidad. Los talleres serán de tres días, el primero dedicado a diseño de biodigestores, aplicaciones del biogás y fertilizante; el segundo día será práctico con la instalación de un biodigestor en alguna comunidad cercana; y el tercer día será de gestión de proyectos, subsidios existentes, identificación de usuarios, etc. El primer día se invitará a personas con diferentes experiencias en biogás a dar pequeñas charlas. Es importante invitar a instituciones que hayan asistido a anteriores talleres que estén trabajando en proyectos, de manera que expliquen sus experiencias a los asistentes y los motiven.

Talleres comunales.

Con el interés de las asociaciones de productores y comunidades se desarrollan talleres comunales locales. En ellos asisten los vecinos de la familia a la que se va a instalar un biodigestor demostrativo. Durante estos talleres se enseña el funcionamiento básico, mantenimiento del biodigestor y se instala un modelo para la región. De esta manera, las familias conocen la tecnología, y normalmente esperan a que el biodigestor comience a funcionar para

pedir ellos un nuevo proyecto de ejecución. Todo biodigestor demostrativo debe ir acompañado de un taller comunal.

Estrategias de ejecución

Alianzas estratégicas.

Existen agrupaciones de productores que reúnen a gran número de familias ya organizadas. Las asociaciones de productores de leche de cada región son las más interesadas en los biodigestores y están compuestas por familias pequeño productoras, con 3 a 10 cabezas de ganado y una producción por familia media de 20 a 70 litros de leche por día. La alianza con estas asociaciones, grandes y pequeñas, refuerza su estructura, aumenta el empoderamiento sobre la tecnología y es un punto muy importante en la sostenibilidad del proyecto. Dentro de las alianzas estratégicas deben entrar las empresas lecheras, pues tienen contacto directo con todos los pequeños productores. Además, están los municipios donde la actividad lechera es importante. Como medio de financiamiento alternativo habrá que establecer alianzas con instituciones de microcrédito que trabajen directamente con las familias para asegurar una mayor sostenibilidad.

Proyectos con ONGs.

Las ONGs que trabajan en el ámbito rural tienen como meta familias que normalmente poseen dos o tres cabezas de ganado y no son lecheras. Las ONGs capacitadas a través de los talleres (o capacitadas anteriormente en la ejecución completa de proyectos de biodigestores) suelen iniciar sus proyectos con biodigestores demostrativos. A partir de entonces comienzan con proyectos más grandes de ejecución.

Proyectos comunales.

El trabajo directo con comunidades o pequeñas asociaciones de productores conlleva mayor trabajo, pero asegura conocer de primera mano las impresiones, comentarios, necesidades y formas de trabajo de las familias objetivo del proyecto. Por ello, aunque implique un trabajo mayor que la colaboración con ONGs o grandes organismos, reporta un conocimiento de la realidad rural imprescindible para el manejo del proyecto global. Los proyectos comunales se basan en la gestión del proyecto por parte de la propia comunidad, tanto en la recolección de dinero de las familias, compra de materiales, fechas de reuniones, y rendición de cuentas.

Estrategias de promoción. Publicidad

Para dar a conocer los biodigestores familiares entre instituciones, alcaldías y comunidades se elaborarán trípticos informativos. Además, a petición de los interesados, se darán charlas, que duran media mañana, explicando la tecnología con videos, la solicitud y gestión de proyectos.

Es importante tener presencia en los medios de comunicación especializados en temas agrícolas y rurales. Para ello hay que escribir artículos técnicos y sociales sobre las estrategias y avances de implementación, así como sistematizaciones de la metodología.

También hay que aprovechar los medios de comunicación nacional y local, aprovechando eventos como talleres, o la puesta en marcha de biodigestores en comunidades. Las radios locales como medio de convocatoria e información a los residentes del área rural son fundamentales. La realización de videos domésticos, que pueden ser publicados en internet, que muestren la construcción de los biodigestores, o los usos del biogás y del fertilizante, también ayudará en las reuniones con las instituciones interesadas en visualizar el proyecto.

Fidelización

Postventa - servicio al cliente.

Se ofrecerá asesoría a las familias en cuanto al mantenimiento de los biodigestores, para que luego de la instalación y puesta en marcha de los mismos sean capaces de:

- Realizar la limpieza de las cajas de carga y descarga
- Colocación del estiércol dentro de la caja de carga, para lo cual es importante conocer el tipo de sustrato que será tratado de forma anaeróbica
- Ingreso del agua de acuerdo a la relación de mezcla
- Mezcla de los componentes
- Evitar el ingreso de elementos corto punzantes como rocas, pedazos de madera u otros componentes que podrían dañar el biodigestor
- Asegurar el tiempo óptimo de retención del estiércol dentro del biodigestor
- Colocación de tapones a la entrada y salida del biodigestor para evitar el ingreso de aire hacia el interior
- Cierre completo de la válvula durante el periodo de retención
- Indicativos que manifiesten si existe la generación de gas para que puedan abrir la válvula de salida del biogás hacia el destino final o reservorio
- Realizar reajustes al sistema de acuerdo al biogás producido o el color de la llama, caso que se presenta generalmente cuando el reactor genera un exceso de CO₂

Descripción y formalización del proceso - Diagrama de flujo.

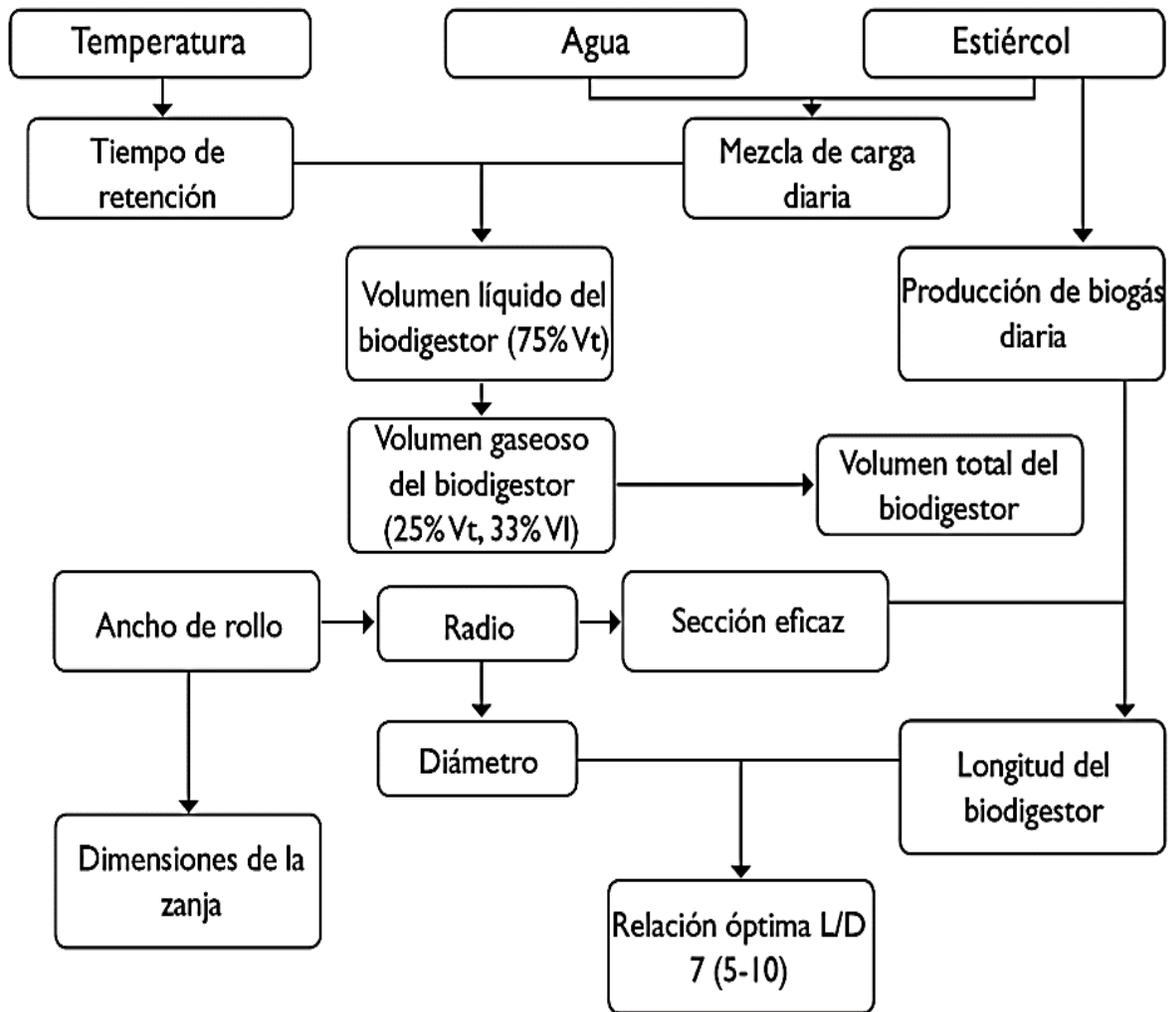


Ilustración 5. Esquema de metodología de diseño Biodigestor

Nota: Tomado de (Martí Herrero , 2008, pág. 40)

Costos de producción.

Este proyecto tiene un objetivo social, por tanto, el presupuesto se enfocará en los costos que tendrá la instalación y puesta en funcionamiento de un biodigestor de tipo tubular para una familia del área rural.

Costos directos

Son aquellos que se pueden identificar o cuantificar plenamente con el producto terminado, para este proyecto están relacionados básicamente con la materia prima y la mano de obra directa

Costo de la materia prima

Tabla 5. Costo de la materia prima

Materiales y presupuesto estimado para la construcción del biodigestor familiar.				
Material		Cantidad	Precio Dólares	Precio Pesos
Conducción de biogás	Tubería de PVC de 1/2" (mtrs)	25	\$ 16,67	\$ 56.395
	Llaves de bola 1/2" de plástico	4	\$ 18,67	\$ 63.161
	Flange de plástico de 1/2"	2	\$ 5,33	\$ 18.031
	Codos de PVC 1/2"	4	\$ 0,80	\$ 2.706
	Niple de PVC de 1/2"	2	\$ 0,67	\$ 2.267
	T de PVC 1/2"	4	\$ 1,33	\$ 4.499
	Teflón	2	\$ 0,40	\$ 1.353
Cocina	Codo metálico de 1/2"	2	\$ 0,80	\$ 2.706
	12 cms de Tubos metálicos de 1/2"	2	\$ 1,87	\$ 6.326
	7 cms de tubos metálicos de 1/2"	2	\$ 1,33	\$ 4.499
Biodigestor	Tubería de PVC de 6" (mtrs)	2	\$ 12,60	\$ 42.626
	Liga de neumático (mtrs)	60	\$ 12,00	\$ 40.596
	Polietileno tubular (300 micrones negro)	16,2	\$ 64,11	\$ 216.884
TOTAL			\$ 136,58	\$ 462.050

Fuente: Elaboración propia

Inversiones en capital de trabajo.

Se asignarán valores a las diversas actividades necesarias para llevar a cabo para la instalación de un biodigestor tubular destinado a suplir las necesidades de una familia residente en el área rural.

La asignación de estos valores se hace con fines netamente analíticos, puesto que se busca que sean los mismos habitantes de la región quienes se apropien de los proyectos e intervengan de cerca en toda la cadena productiva, entendida esta como la instalación y puesta en funcionamiento de los biodigestores.

El costo de la mano de obra se debe principalmente al tiempo en el cual se llevará a cabo la limpieza previa de toda la maleza y a la excavación del terreno para la construcción del biodigestor.

Costo de la mano de obra

Tabla 6. Costo de la mano de obra

Actividad	Cantidad (Días)	Precio Dólares	Precio Pesos
Limpieza del terreno	1	\$ 8,05	\$ 27.226
Excavación de terreno	1	\$ 8,05	\$ 27.226
Instalación	3	\$ 24,14	\$ 81.677
Transporte material	-	\$ 29,56	\$ 100.000
TOTAL		\$ 69,80	\$ 236.128,76

Fuente: Elaboración propia

Costos indirectos

Son todos los costos diferentes a los materiales directos y la mano de obra directa que intervienen en el desarrollo del producto. Básicamente son los elementos que complementan la acción en el desarrollo del bien producido y tienen una relevancia relativa frente a los costos directos

Presupuesto estimado de herramientas necesarias para la instalación.

Tabla 7. Presupuesto estimado de herramientas necesarias para la instalación.

Presupuesto estimado de herramientas necesarias para la instalación del biodigestor familiar			
Material	Cantidad	Precio Dólares	Precio Pesos
Tarraja de 1/2"	40	\$ 5,19	\$ 17.558
SERRUCHO	50	\$ 6,67	\$ 22.565
Tijera	70	\$ 9,09	\$ 30.751
Llave estilson Nro. 10	150	\$ 19,48	\$ 65.901
Selladora manual de plástico (30 cms)	200	\$ 26,67	\$ 90.225
Manguera transparente para nivel (12 mtrs)	24	\$ 3,12	\$ 10.555
TOTAL		\$ 70,22	\$ 237.554,26

Fuente: Elaboración propia

Materiales adicionales que no tienen un costo específico.

Tabla 8. Materiales adicionales que no tienen un costo específico.

Materiales adicionales que no tienen un costo específico	
Paja o arena	Para el fondo de la zanja
Sacos o plástico viejo	Para las paredes de la zanja
Lana de acero (estropajo)	Para las válvulas de seguridad
Alambre de amarre y estacas	Para fijar lastuberías de entrada y salida

Fuente: Elaboración propia

Costo total del proyecto*Tabla 9. Costo Total del Proyecto*

DESCRIPCIÓN	Precio Dólares	Precio Pesos
Costos Directos	\$ 206,38	\$ 698.178,90
Costos Indirectos	\$ 70,22	\$ 237.554,26
TOTAL	\$ 276,60	\$ 935.733,16

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, se concluye que el costo total del proyecto es de 276,60 dólares lo que equivale a \$935.733,16 pesos colombianos.

Estructura organizacional

Ilustración 6. Estructura Organizacional
Fuente: Elaboración propia

Perfiles de cargo

Director de proyecto

- Una vez conocidos los objetivos a alcanzar por el proyecto, el Director se encargara de concretar los pasos necesarios para llegar hasta allí. Definiendo un marco de trabajo, todas las acciones y procesos que deberán ponerse en marcha quedan concretados en un plan.
- Organizar el equipo de trabajo, tiempos, horarios, hacer una buena distribución del trabajo y tomar buenas decisiones.
- Establecer planes alternativos de acción
- Buscar soluciones a los problemas
- Identifica necesidades de formación y capacitación y propone acciones para satisfacerlas.
- Establece espacios de retroalimentación, teniendo en cuenta las opiniones de sus trabajadores.
- Conocimiento del entorno.
- Una vez que todo está en marcha, una de las funciones del Director es la supervisión.

Profesional en temas ambientales

- Adquirir y desarrollar permanentemente conocimientos, destrezas y habilidades con el fin de mantener altos niveles de eficacia organizacional.
- Aplicar su conocimiento profesional y transferirlo a su entorno laboral.
- Trabajo en equipo y colaboración.

○ **Funciones con personal a cargo.**

- Asumir el rol de orientador y guía del equipo de trabajo,
- Garantizar al equipo que tengan la información necesaria sobre el proyecto.
- Elegir entre una o varias alternativas para solucionar problemas y tomar acciones concretas.
- Decide y establece prioridades para el trabajo del equipo.

Capacitadores - Evaluadores

El capacitador de nuestro proyecto deberá contar con ciertas características básicas entre ellas funciones como evaluador.

- Despertar el interés de la población con un lenguaje, claro y conciso
- Ser paciente para orientar
- Tener iniciativa y creatividad a la hora de enseñar el funcionamiento del Biodigestor.
- Propiciar un ambiente agradable para que se pueda desarrollar el aprendizaje.
- Contar con una buena memoria, recordar nombre y necesidades de nuestra población.
- Contar con conocimientos firmes sobre el proyecto.
- Mostrar pasión e interés por el proyecto, para lograr transmitirlo de la misma manera.
- Conocer todas las acciones requeridas para alcanzar los objetivos del proyecto.
- Conocer a cabalidad los estándares y criterios de evaluación.
- Formación académica en evaluación de calidad
- Conocimiento de todo el contexto estructural del proyecto.
- Buena comunicación
- Observación, precisión y decisión
- Mantener el orden y seguir la metodología paso a paso a la hora de evaluar.

Obreros

- Apoyar al profesional encargado, en el reconocimiento del terreno, e implementación del proyecto.
- Construcción y elaboración del Biodigestor.
- Colaborar, en la elaboración de actas.
- Ayudar en la toma de fotos en terreno.
- Apoyar en la medición de distancias de los elementos identificados, en el proyecto.
- Acorde a las funciones enumeradas, cumplir y apoyar las políticas y normas establecidas por la ley y el proyecto, según el grado de responsabilidad que la ocupación requiera teniendo en cuenta la normatividad.
- Desarrollar las demás tareas propias del cargo que le sean asignadas y que sean requeridas para el adecuado desempeño de la ocupación, acorde a las necesidades del proyecto.

Profesional de riesgos

Solo si la entidad interesada en el proyecto lo requiere.

- Es necesario llevar a cabo la inspección por parte del Profesional en Seguridad en el Trabajo deberá cumplir los siguientes objetivos:
- Verificar los peligros
- Es necesario detectar los peligros que no se descubrieron durante el análisis del trabajo o la tarea, se hace aparentes cuando se inspecciona el lugar de trabajo y se observa a los empleados.
- Identificar deficiencias de los equipos de trabajo
- Las deficiencias se pueden producir por el uso y desgaste normal.

- Señalar acciones inapropiadas
- Identificar acciones inapropiadas de los empleados que pueden tener algún tipo de consecuencias.
- Detectar efectos de los cambios
- Identificar los efectos indeseados de cambios introducidos en el proceso productivo o en los materiales.
- Vigilar el cumplimiento de las normas de seguridad.
- Incentivar la cultura preventiva entre los empleados.
- Notificar sobre la utilización obligatoria de equipos de protección individual y colectiva
- Comunicar a la dirección las deficiencias detectadas.

Manual de funciones

En este documento se describe la funcionalidad y los elementos necesarios para facilitar la corrección de los problemas o procedimientos del trabajo con el fin de guiar el proceso y cumplir con el objetivo, Diseñar un biodigestor para generar biogás y abono orgánico a partir de desechos orgánicos, aplicable en las zonas agrarias del municipio y en las empresas del sector productivo que implementen esta alternativa dentro de su sistema de producción

Alcance

Este documento aplica para todo el personal vinculado al proyecto incluyendo alianzas estratégicas de agrupación de productores, ONG, alcaldías, gobernaciones, organizaciones veredales y entidades privadas.

Tablas de Perfiles de cargo

Tabla 10. Perfil de cargo director del proyecto

PERFIL DEL CARGO DE DIRECTOR DEL PROYECTO	
DENOMINACIÓN DEL CARGO	Director del Proyecto
NIVEL JERERQUICO	Director
SUPERIOR INMEDIATO	El Supervisor del Proyecto
OBJETIVO	Cumplir con el diseño de biodigestores para generar biogás y abono orgánico a partir de desechos orgánicos, aplicable en las zonas agrarias del municipio y en las empresas del sector productivo que implementen esta alternativa dentro de su sistema de producción.
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES ESENCIALES	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Una vez conocidos los objetivos a alcanzar por el proyecto, el Director se encargara de concretar los pasos necesarios para llegar hasta allí. Definiendo un marco de trabajo, todas las acciones y procesos que deberán ponerse en marcha quedan concretados en un plan. 2. Organizar el equipo de trabajo, tiempos, horarios, hacer una buena distribución del trabajo y tomar buenas decisiones. 3. Establecer planes alternativos de acción 4. Buscar soluciones a los problema, motivación al equipo de trabajo. 5. Identifica necesidades de formación y capacitación y propone acciones para satisfacerlas. 6. Establece espacios de retroalimentación, teniendo en cuenta las opiniones de sus trabajadores. 7. Conocimiento del entorno. 8. Una vez que todo está en marcha, una de las funciones del Director es la supervisión. 	
EXPERIENCIA	Dos años de experiencia Profesional o Relacionada.
CONOCIMIENTOS BÁSICOS	FORMACIÓN ACADÉMICA
Núcleo Básico de conocimiento: En implementación de proyectos, manejo de recurso financiero, humano, presupuesto y ambiental.	<p>Título Profesional - Especializado</p> <p>T-P Ingeniería Ambiental, Veterinario, Zootecnista, Médico Veterinario, Ingeniero Industrial, Administrador.</p> <p>Esp. Formulación de proyectos</p>
HONORARIOS \$ 2'000.000 Mes	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Perfil de cargo Profesional en temas ambientales

PERFIL DEL CARGO DEL PROFESIONAL EN TEMAS AMBIENTALES	
DENOMINACIÓN DEL CARGO	Profesional
NIVEL JERERQUICO	Profesional
SUPERIOR INMEDIATO	Director del Proyecto
OBJETIVO	Cumplir con el diseño de biodigestores para generar biogás y abono orgánico a partir de desechos orgánicos, aplicable en las zonas agrarias del municipio y en las empresas del sector productivo que implementen esta alternativa dentro de su sistema de producción.
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES ESENCIALES	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Adquirir y desarrollar permanentemente conocimientos, destrezas y habilidades con el fin de mantener altos niveles de eficacia organizacional. 2. Aplicar su conocimiento profesional y transferirlo a su entorno laboral. 3. Trabajo en equipo y colaboración. 	
FUNCIONES CON EL PERSONAL A CARGO	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Asumir el rol de orientador y guía del equipo de trabajo, 2. Garantizar al equipo que tengan la información necesaria sobre el proyecto. 3. Elegir entre una o varias alternativas para solucionar problemas y tomar acciones concretas. 4. Decide y establece prioridades para el trabajo del equipo. 	
EXPERIENCIA	Dos años de experiencia Profesional o Relacionada.
CONOCIMIENTOS BÁSICOS	FORMACIÓN ACADÉMICA
Núcleo Básico de conocimiento: En implementación de proyectos, manejo de recurso humano. Orientación de resultados Conocimiento en temas relacionados con el proyecto.	Título Profesional Ingeniería Ambiental, Veterinario, Zootecnista, Médico Veterinario, Ingeniero Industrial, Administrador.
HONORARIOS \$ 1'800.000 Mes	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Perfil de Cargo Capacitador

PERFIL DEL CARGO DEL CAPACITADOR	
DENOMINACIÓN DEL CARGO	Capacitador – Evaluador
NIVEL JERERQUICO	Asistencial
SUPERIOR INMEDIATO	Profesional
OBJETIVO	Cumplir con el diseño de biodigestores para generar biogás y abono orgánico a partir de desechos orgánicos, aplicable en las zonas agrarias del municipio y en las empresas del sector productivo que implementen esta alternativa dentro de su sistema de producción.
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES ESENCIALES	
<p>El capacitador de nuestro proyecto deberá contar con ciertas características básicas entre ellas funciones como evaluador.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Despertar el interés de la población con un lenguaje, claro y conciso • Ser paciente para orientar • Tener iniciativa y creatividad a la hora de enseñar el funcionamiento del Biodigestor. • Propiciar un ambiente agradable para que se pueda desarrollar el aprendizaje. • Contar con una buena memoria, recordar nombre y necesidades de nuestra población. • Contar con conocimientos firmes sobre el proyecto. • Mostrar pasión e interés por el proyecto, para lograr transmitirlo de la misma manera. • Conocer todas las acciones requeridas para alcanzar los objetivos del proyecto. • Conocer a cabalidad los estándares y criterios de evaluación. • Formación académica en evaluación de calidad • Conocimiento de todo el contexto estructural del proyecto. • Buena comunicación • Observación, precisión y decisión • Mantener el orden y seguir la metodología paso a paso a la hora de evaluar. 	
EXPERIENCIA	Dos años de experiencia Profesional Técnica o Tecnóloga Relacionada con el Proyecto.
CONOCIMIENTOS BÁSICOS	FORMACIÓN ACADÉMICA
<p>Núcleo Básico de conocimiento: En implementación de proyectos. Manejo de grupos mínimo 20 asistentes Docencia Conocimiento en temas relacionados con el proyecto. Manejo del tema técnico.</p>	<p>Título Profesional, Tecnólogo, Técnico Psicología, Administrador, Trabajador Social.</p>
HONORARIOS \$ 1'600.000 Mes	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Perfil de Cargo Obrero

PERFIL DEL CARGO DEL OBRERO	
DENOMINACIÓN DEL CARGO	Obrero
NIVEL JERERQUICO	Asistencial
SUPERIOR INMEDIATO	Profesional
OBJETIVO	Cumplir con el diseño de biodigestores para generar biogás y abono orgánico a partir de desechos orgánicos, aplicable en las zonas agrarias del municipio y en las empresas del sector productivo que implementen esta alternativa dentro de su sistema de producción.
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES ESENCIALES	
<ul style="list-style-type: none"> • Apoyar al profesional encargado, en el reconocimiento del terreno, e implementación del proyecto. • Construcción y elaboración del Biodigestor. • Colaborar, en la elaboración de actas. • Ayudar en la toma de fotos en terreno. • Apoyar en la medición de distancias de los elementos identificados, en el proyecto. • Acorde a las funciones enumeradas, cumplir y apoyar las políticas y normas establecidas por la ley y el proyecto, según el grado de responsabilidad que la ocupación requiera teniendo en cuenta la normatividad. <p>Desarrollar las demás tareas propias del cargo que le sean asignadas y que sean requeridas para el adecuado desempeño de la ocupación, acorde a las necesidades del proyecto.</p>	
EXPERIENCIA	Dos años de experiencia Relacionada con el Proyecto.
CONOCIMIENTOS BÁSICOS	FORMACIÓN ACADÉMICA
Núcleo Básico de conocimiento: En implementación de proyectos. Conocimiento en temas relacionados con el proyecto. Manejo del tema técnico y construcción del Biodigestor.	Educación Básica primaria, Cursos en el SENA relacionados con Riesgos, alturas, seguridad en el trabajo, construcción.
HONORARIOS \$ 828.116 Mes	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Perfil de cargo Profesional de seguridad en el trabajo

PERFIL DEL CARGO DEL PROFESIONAL EN SEGURIDAD EN EL TRABAJO	
DENOMINACIÓN DEL CARGO	Profesional en seguridad en el trabajo
NIVEL JERERQUICO	Profesional
SUPERIOR INMEDIATO	Director
OBJETIVO	Cumplir con el diseño de biodigestores para generar biogás y abono orgánico a partir de desechos orgánicos, aplicable en las zonas agrarias del municipio y en las empresas del sector productivo que implementen esta alternativa dentro de su sistema de producción.
DESCRIPCIÓN DE FUNCIONES ESENCIALES	
<p>Es necesario llevar a cabo la inspección por parte del Profesional en Seguridad en el Trabajo deberá cumplir los siguientes objetivos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar los peligros Es necesario detectar los peligros que no se descubrieron durante el análisis del trabajo o la tarea, se hace aparentes cuando se inspecciona el lugar de trabajo y se observa a los empleados. • Identificar deficiencias de los equipos de trabajo Las deficiencias se pueden producir por el uso y desgaste normal. • Señalar acciones inapropiadas • Identificar acciones inapropiadas de los empleados que pueden tener algún tipo de consecuencias. • Detectar efectos de los cambios • Identificar los efectos indeseados de cambios introducidos en el proceso productivo o en los materiales. • Vigilar el cumplimiento de las normas de seguridad. • Incentivar la cultura preventiva entre los empleados. • Notificar sobre la utilización obligatoria de equipos de protección individual y colectiva • Comunicar a la dirección las deficiencias detectadas. 	
EXPERIENCIA	Dos años de experiencia Profesional o Relacionada.
CONOCIMIENTOS BÁSICOS	FORMACIÓN ACADÉMICA
<p>Núcleo Básico de conocimiento: En implementación de proyectos, manejo de recurso humano.</p> <p>Conocimiento en temas relacionados con el proyecto.</p> <p>Promoción y prevención del riesgo</p> <p>Sistemas de gestión en seguridad</p>	<p>Título Profesional</p> <p>En seguridad en el trabajo</p>
HONORARIOS \$ 1'800.000 Mes	

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de competencias

Son el conjunto de habilidades, actitudes y conocimientos. Observables, controlables y evaluables que medirán el desempeño y desarrollo del proyecto de las personas que ocupen determinado cargo.

Entonces cada trabajador será evaluado de acuerdo a los siguientes indicadores:

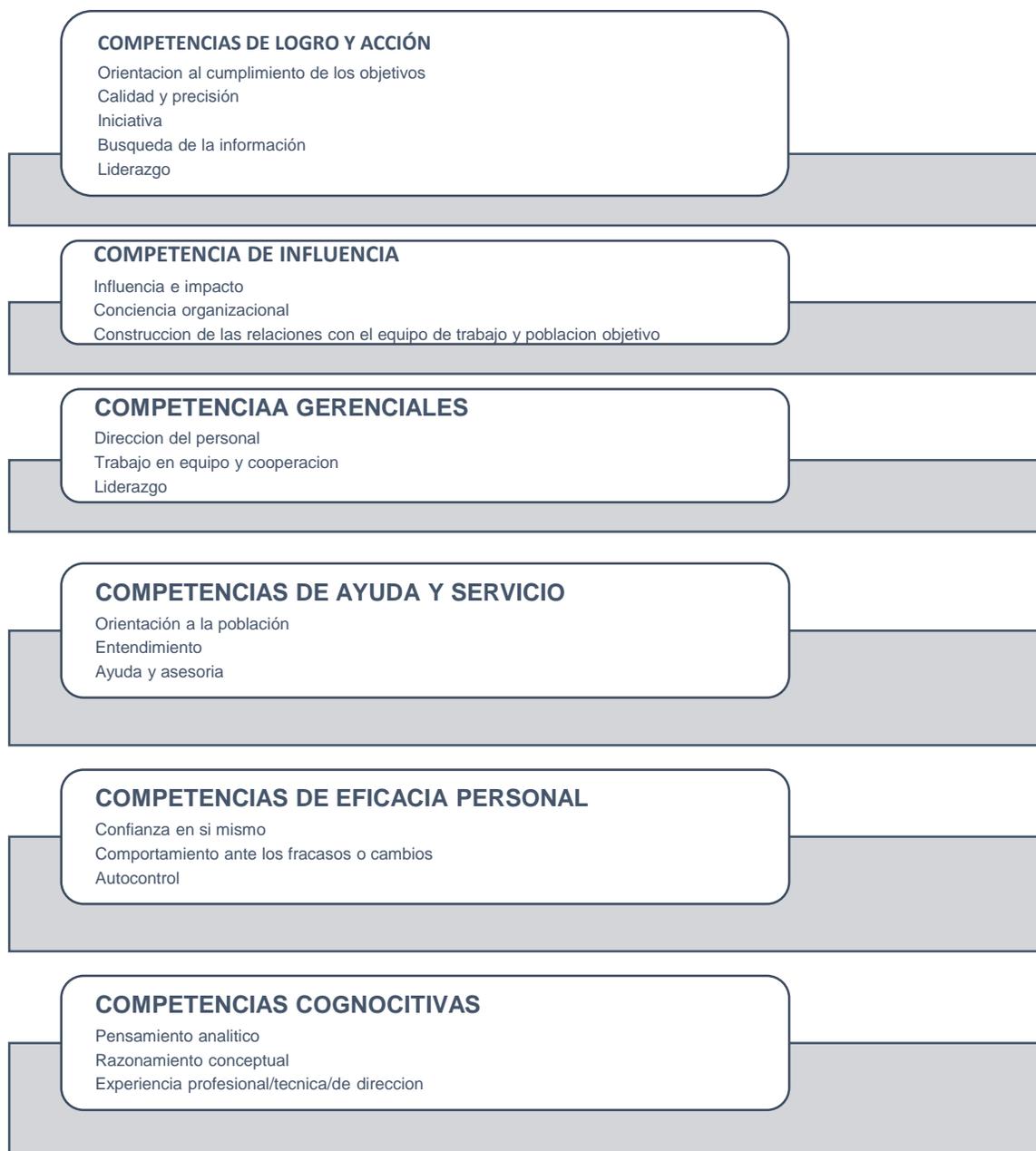


Ilustración 7. Evaluación de Competencias

Fuente: Elaboración propia a partir de: ob. Cit. Spencer lili, y Spencer. Evaluación de competencias en el trabajo. Washington:editorialjhon wiley& sons, 1993 p 10

Requisitos legales del proyecto.

Normatividad para las Energías Renovables en Colombia

Inicialmente la Ley de Servicios Públicos (Ley 142) y la Ley Eléctrica (Ley 143 de 1994), definieron los lineamientos generales para la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica y el marco legal para el desarrollo de la regulación sectorial por parte de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG).

Posteriormente, el País se adhirió al Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (Ley 629 de 2000). El objetivo de este Protocolo era reducir las emisiones de Gases Efecto Invernadero (GEI), por lo cual las energías renovables se convirtieron en una opción estratégica para Colombia.

Así mismo, la Ley 697 de 2001 declaró el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de conveniencia nacional. Adicionalmente, creó el Programa Nacional de Uso Racional de la Energía (PROURE), en el que se promueven la eficiencia energética y otras formas de energías no convencionales.

La Ley 788 de 2002 estableció una exención al impuesto de renta sobre los ingresos derivados de la venta de energía eléctrica generada a partir de residuos agrícolas, fuentes eólicas y biomasa. Esta Ley, como lo afirma Cendales (2011) “exige el cumplimiento de 2 requisitos: tramitar certificados de emisión de CO₂ y, que al menos 50,0% de los recursos obtenidos por la venta de dichos certificados se inviertan en obras de beneficio social en la región donde opera el generador” (pág. 53).

El Ministerio de Minas y Energía, por medio de la Resolución MME 18 – 0919 de 2010 definió el Plan de Acción 2010 – 2015, y extendió la vigencia de este Plan hasta junio de 2016, fecha en la que se adoptaría el Plan 2016 - 2020.

El Decreto 2981 de 2013, en su artículo 82 - Propósitos del aprovechamiento, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2013) propone “Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales. Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos”, y continúa “aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios al reducir la cantidad de residuos a disponer finalmente en forma adecuada. Reducir el caudal y la carga contaminante de lixiviados en el relleno sanitario, especialmente cuando se aprovechan residuos orgánicos”. De este modo, se fomenta el uso energético de los residuos de alto contenido orgánico, y la reducción de la cantidad que se dispone en rellenos sanitarios.

Actualmente el país se encuentra enmarcado dentro de la Ley 1715 de 2014, por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, de esta forma se busca promover y estimular en Colombia, según el Ministerio de Minas y Energía (2010) “las fuentes de energía no convencionales, tales como las procedentes de la biomasa, en particular el biogás. Además la nueva ley contribuirá a las 12 soluciones energéticas para las zonas rurales y otras zonas actualmente aisladas del sistema interconectado nacional” (pág. 21).

La importancia del biogás

En su búsqueda insaciable y cada vez más exigente por encontrar fuentes de energía, el ser humano ha influido directamente en el deterioro del medio ambiente. La extracción de

combustibles no renovables como petróleo, carbón, y gas natural principalmente ha generado daños irreversibles convirtiendo estos medios en elementos imprescindibles para la vida.

El uso de energías renovables en Colombia, según el Ministerio de Medio Ambiente (2011) “en el periodo 1990-2009 representó el 21.38% de la oferta total (1.534.478 TJ/año en promedio²), con la siguiente distribución: 9.46% hidroeléctrica, 7.10% madera, 4.59% pulpa de caña de azúcar, 0.013% energía eólica, 0.08% biodiesel y 0.14% bioetanol” (pág. 62), aunque no se evidencia aporte de energía procedente de biogás.

2 Los modelos matemáticos para evaluar el potencial energético (TJ/año) de la biomasa se fundamentan en que la energía contenida en su materia es proporcional a su masa seca

De acuerdo con Cendales (2011) en el campo de la agricultura, la ganadería, sumado la tala de bosques y la baja reforestación, “se está afectando significativamente el suministro de la fuente energética de la cual depende más de la tercera parte de la población rural de bajos ingresos en todo el mundo, para satisfacer sus necesidades básicas de combustible: la leña” (pág. 36).

A nivel rural, cada día la consecución de madera es más difícil, por lo tanto se debe invertir mayor cantidad de tiempo en su recolección, de acuerdo con Quintana (2005) “en algunas partes no es posible encontrarla, en otros casos, su costo tiene un efecto negativo sobre la población de menores ingresos” (pág. 29).

Paralelamente existen territorios sin acceso a las redes energéticas nacionales, estas son las denominadas Zonas No Interconectadas a la red (ZNI), las cuales tienen, entre otras, las siguientes características, según el Ministerio de Minas y Energía (2010).

- “Regiones de menores ingresos per cápita, mayormente rurales

- Extensión de 756.531 km² (aproximadamente 66% territorio nacional)
- Población de 1.524.304 habitantes (aproximadamente 4% de la población)
- Precio más costoso con inferior número de horas de servicio
- Dispersión de 2 habitantes/km² (comparado con 38 habitantes/km² a nivel nacional)”

Adicionalmente, el uso extensivo de leña como fuente de energía tiene un impacto considerable en la vegetación local, las zonas de manglares y de bosque seco tropical de la costa Caribe de acuerdo a Pinzón (2004) “han sido gravemente afectadas por el uso de la madera como material de construcción y como combustible, causando erosión del suelo, desertificación, degradación e incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero” (pág. 53).

Se hace necesario implementar energías alternativas que generen iguales o mejores beneficios a menor costo y de forma amigable con el planeta, por ejemplo el biogás, el cual se produce cuando la materia orgánica se descompone sin contacto con el oxígeno. 13

Gastos administrativos.

Los resultados buscados con este proyecto es beneficiar a la población campesina interesada en la implementación de un Biodigestores en su hogar.

Los Gastos Administrativos los calculamos pero con un fin analítico, porque no intervienen directamente en el costo del proyecto para las personas del área rural.

Tabla 15. Gastos Administrativos

GASTOS ADMINISTRATIVOS	SALARIO MENSUAL	CANTIDAD DE DIAS	TOTAL PESOS	TOTAL DOLARES
Director	\$ 2.000.000,00	3	\$ 200.000,00	\$ 59,12
Profesional En Temas Ambientales	\$ 1.800.000,00	3	\$ 180.000,00	\$ 53,21
Capacitador	\$ 1.600.000,00	3	\$ 160.000,00	\$ 47,30

Fuente: Elaboración propia

Metodologías de Motivación.

Es el diseño de planes de sensibilización incide directamente sobre el plan de evaluación por competencias, con el objetivo de comprometer al personal a cargo con el proyecto.

Para iniciar es importante originar una expectativa usando espacios apropiados que vallan de la mano con la cultura del territorio donde se implementara el proyecto.

El Director debe ser capaz de inyectar incentivos a su equipo de trabajo, resaltar los logros y así desarrollar en el trabajador un mejor desempeño de sus funciones. Consultar y escuchar opiniones por parte del equipo y de las preguntas o sugerencias generadas por la población objetivo.

- Motivación Verbal de manera directa.
- Motivación Grafica a través de la evidencia fotográfica que se recolecta en el trabajo de campo, formatos de calidad obligatorios donde quede consignados todas las actividades realizadas.
- La retroalimentación para resaltar el trabajo del equipo, avances o terminación del proyecto.
- Motivación Escrita el lenguaje escrito me permite la inmediatez para transmitir el mensaje haciendo uso de la tecnología

Mecanismos de Liderazgo.

Conocer la población objetivo es vital para desempeñar labores como Líder dentro del proyecto, nuestros mecanismos de Liderazgo están enfocados en tres etapas:

Etapas ajustadas de acuerdo a la formulación del proyecto.

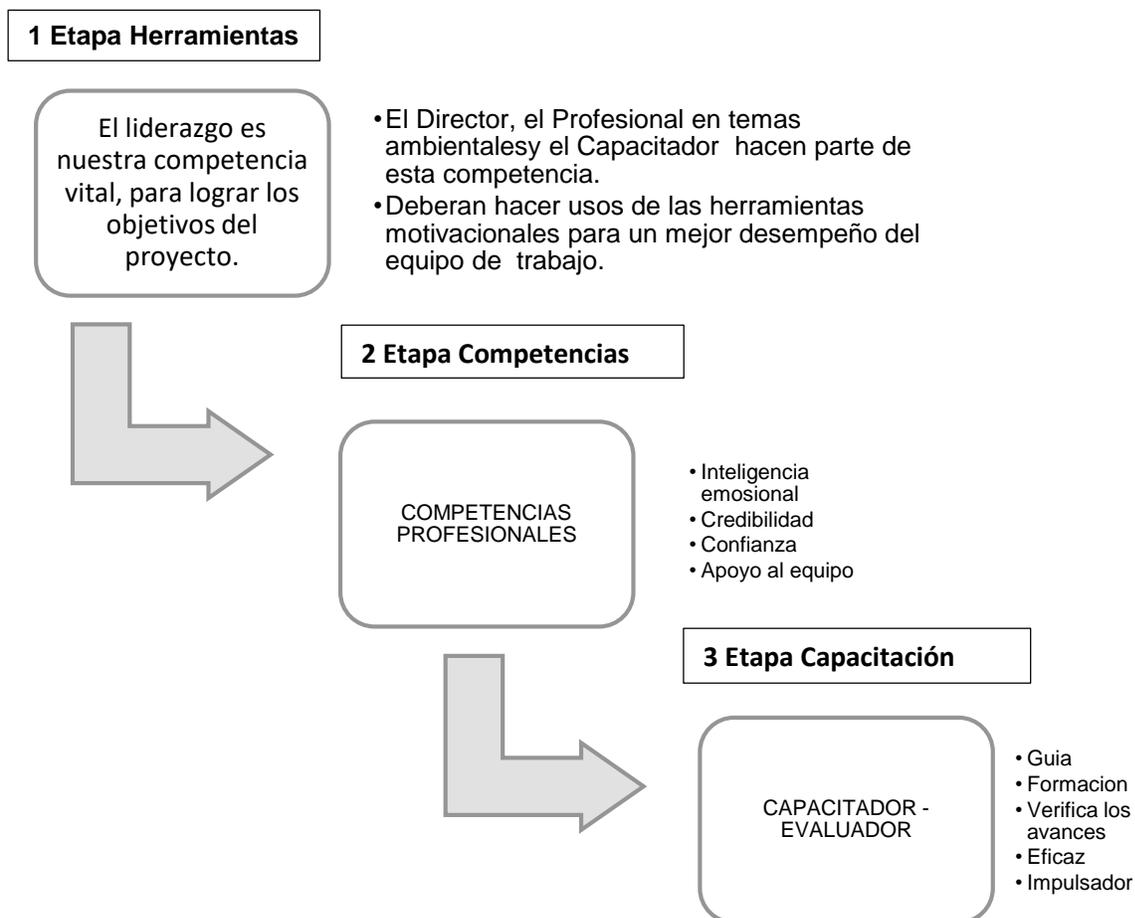


Ilustración 8. Mecanismos de liderazgo

Fuente: Elaboración propia

Indicadores de Gestión

Serán utilizados para determinar el éxito del Proyecto, resultado que se obtiene de la evaluación aplicada al proceso de implantación del Biodigestor.

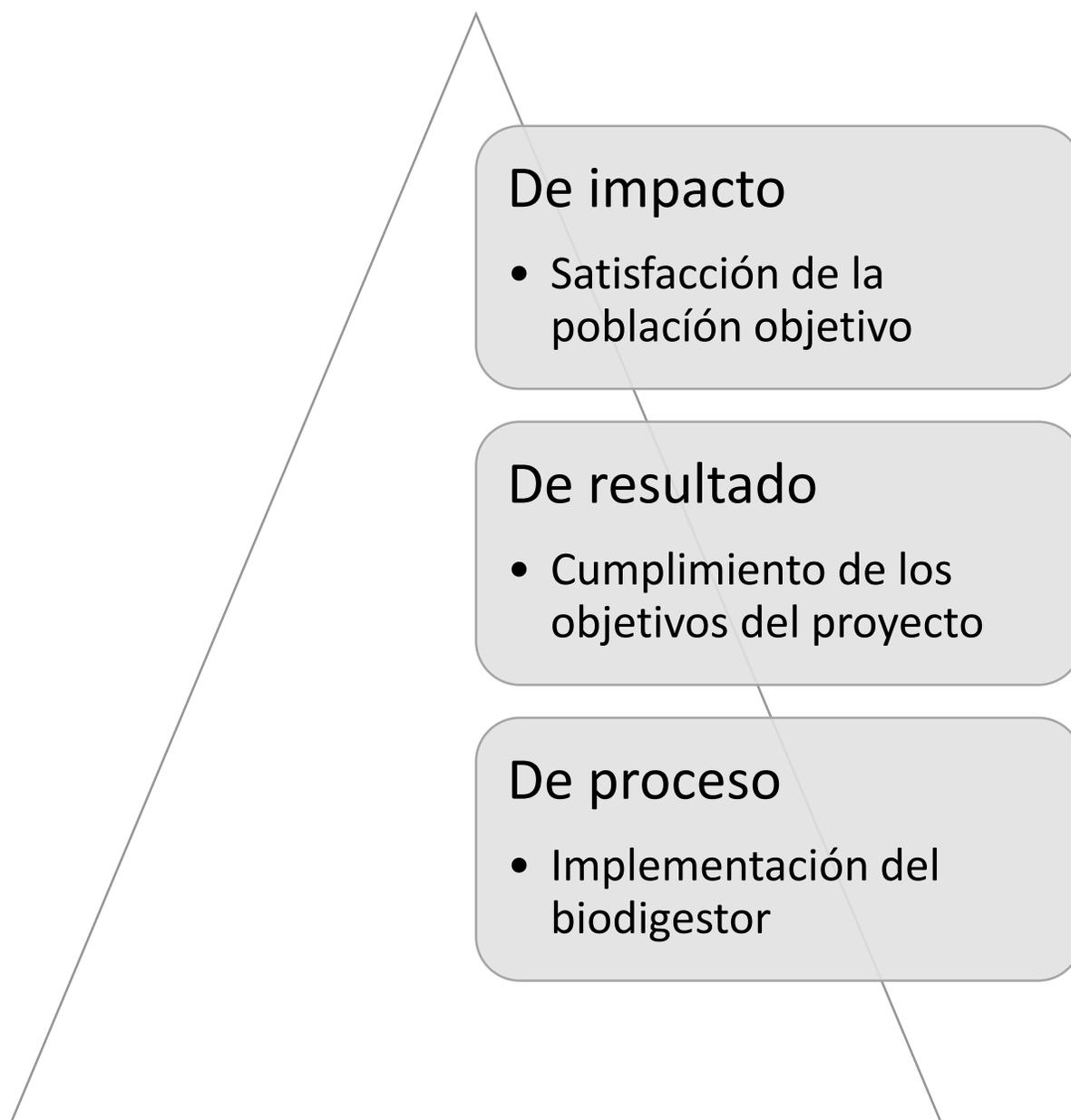


Ilustración 9. Indicadores de gestión
Fuente: Elaboración propia

Estudio Económico y Financiero

Rentabilidad del biogás

En el análisis de la rentabilidad del biogás, hay que tener en cuenta que este se encuentra en el campo de las fuentes energéticas, y en el de los abonos agrícolas.

En el mercado de los energéticos, el biogás compite con la leña, el gas propano y la electricidad; fuentes energéticas utilizadas usualmente en la cocción, calefacción e iluminación. Sin embargo, es necesario aclarar que en el país no existe todavía una amplia investigación acerca del biogás y las bondades que podría ofrecer como una fuente de energía alternativa.

En el campo agrícola, los residuos generados por el biodigestor compiten con los fertilizantes utilizados en las granjas, como una fuente de nutrientes para terrenos de poca fertilidad. La tecnología del biogás, genera productos importantes que pueden sustituir, no solo desde el punto de vista técnico, sino económico, a productos que tienen alta demanda actualmente.

En el presente proyecto, para el análisis de la rentabilidad del proyecto, al biogás se va a comparar con el gas propano utilizado comúnmente para cocción y el abono agrícola utilizado para fertilizar los cultivos.

Consumo de biogás en hogares rurales y sus implicaciones económicas.

La producción de biogás en biodigestores, permite a las familias de zonas rurales agrícolas, contribuir a mejorar su economía, al contar con fuente energética propia, además del biol, que ayuda a incrementar la productividad de los cultivos.

El biogás es el producto principal para las familias, siendo vital su obtención para mantener el interés de los propietarios en el funcionamiento de los sistemas. La cuantificación del biogás requerida por las familias para abastecer sus necesidades energéticas, en este caso, únicamente como fuente de combustible para la preparación de alimentos, es importante para determinar si el biodigestor y su producción de gas son suficientes para satisfacer los requerimientos diarios del hogar.

Por su parte, las familias beneficiadas con la instalación de biodigestores, mantienen en promedio, una composición de 4 miembros que residen en el hogar. Además, como se observa en la figura 5, las fuentes de energía previas a la intervención de los sistemas anaerobios, estaban basadas en la mayoría de los hogares en la cocción con leña, para lo cual en cada hogar se contaba con un fogón, en donde la madera era colocada para ser quemada. Mientras que, en algunos hogares se cocinaba con plantillas eléctricas, o que permitían la combustión de gas líquido de petróleo.

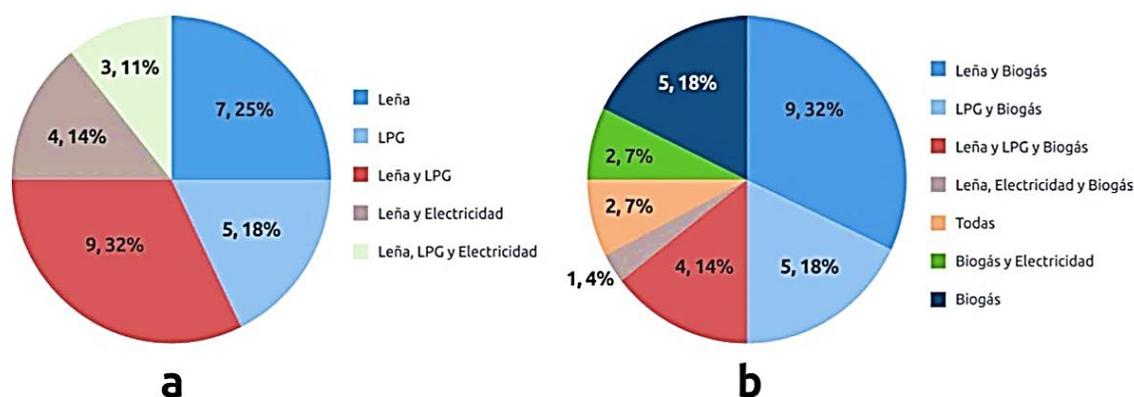


Ilustración 10. Fuentes de energía utilizadas previa instalación de biodigestores (a) y posteriores (b)

Nota: Tomado de (M. Jiménez & Zambrano, 2018, pág. 55)

La cantidad de biogás requerida por día es sumamente cambiante, al verse afectada por distintos factores, como lo son el tipo de alimento, o las actividades que los miembros de la familia vayan a desarrollar ese día, o durante un lapso de tiempo determinado.

Costos de oportunidad de la utilización de biogás.

El impacto económico que las familias pueden llegar a percibir al contar con una fuente propia de combustible para la cocción de alimentos dependerá del valor de los gastos en que incurrierán según el tipo de energía que utilizaban previamente, además que debe considerarse, que los costos de oportunidad van a aumentar, acorde al cambio de situación socioeconómica. La cocción con leña aún está presente en la mayoría de los hogares, no obstante, la obtención de este material tiende a ser a partir de árboles que se encuentran dentro de las propias parcelas, por lo que los beneficios económicos que representa la sustitución de la quema de leña por el biogás, no se vería reflejada directamente en la economía familiar.

Se pueden determinar los costos requeridos para la cocción con leña, otorgándole un valor económico únicamente al tiempo requerido por el parcelero para la recolección de este material, mientras que, para el uso de gas líquido de petróleo (LPG), se ha de considerar el precio del cilindro de gas, tomando en cuenta el tamaño de cilindro y la duración de este para la familia, y también el costo de transporte hasta la vivienda.

Según (M. Jiménez & A. Zambrano, Consumo de biogás en hogares rurales y sus implicaciones económicas y ambientales. Caso El Porvenir, Limón., 2018) los valores estadísticos del biogás consumido por una familia durante 110 días, tienden en promedio a ser de $0,37 + 0,21$ m³ de biogás diarios. Así mismo, el 50% de los datos de consumo se encuentran entre 0,2 y 0,5 m³ de biogás, con un valor atípico, correspondiente al valor máximo de 1,31 m³ de biogás al día.

Sin embargo, el cocinar con leña si conlleva aspectos a los cuales se le puede otorgar un valor monetario. Por lo que se puede asignar un monto, al tiempo requerido para la recolección de la leña (90 minutos diariamente para un total de 23 días al año), considerando un salario base para un trabajador calificado en jornada ordinaria diaria, correspondiente a \$8,4 USD, obteniéndose de esa manera, un valor total anual por el uso de leña, de \$193,2USD.

En el caso de la sustitución de los cilindros de gas, se basó en la duración y tamaño del cilindro que se solía mantener en la vivienda, se consideraron los gastos por compra y transporte de suministros, siendo esta, una inversión de \$306,27 USD anuales.

Por su parte, el biodigestor requiere que diariamente sea alimentado, y la realización de las diversas actividades de operación y mantenimiento para su correcto funcionamiento y producción de biogás. Por consiguiente, los costos del tiempo requerido en labores de mantenimiento, más costos que podrían implicar averías del sistema, deben ser consideradas para poder tener un mejor panorama de cuales serían aproximadamente los beneficios económicos que percibirían las familias. De esta forma, se le otorgó un valor de \$409 USD/ año a la operación y mantenimiento del biodigestor, atribuyéndoles, 7 días completos de trabajo a estas labores.

Ahora bien, al contemplar únicamente los montos económicos que representan una afectación directa y visible a los bolsillos de las familias, se tiene que sólo los costos demandados por la compra del gas LPG cumplen con estas características, ya que, al ser los mismos parceleros los que realizan la recolección de la leña en sus mismos terrenos, la utilización de esta fuente de combustible no requiere que incurran es gastos económicos directos. De igual forma, la obtención y uso del biogás como fuente energética, no representa un costo monetario para las familias, sino una ayuda que les permite sustituir tanto de los combustibles previamente empleados, como de

fertilizantes químicos, al aplicar el biol como biofertilizante para el mejoramiento del rendimiento de sus cultivos.

Flujo de caja.

Para el desarrollo de los flujos de caja se realizan las siguientes consideraciones:

Los flujos serán para 5 años, tiempo en el cual se estima la vida útil del biodigestor, debido al material que es polietileno de alta resistencia.

- Los ingresos correspondientes son de 190 USD/AÑO, a este valor se incrementa la cifra correspondiente a la inflación, año tras año.
- Los egresos provienen del costo de construcción del biodigestor, cuyo valor es de 276,60 USD. A esta cifra se lo divide en dos partes:
 - El primer valor correspondiente a los costos directos (206,38 USD).
 - El segundo valor corresponde a los costos indirectos (69,80 USD)
- El valor de la inversión para la instalación y puesta en funcionamiento del biodigestor se divide en 5 años
- El costo del capital es del 15%

Tabla 16. Flujo de caja

FLUJO DE CAJA (USD)				
AÑO	INVERSIÓN (USD)	INGRESOS (USD)	EGRESOS (USD)	FLUJO DE FONDOS (USD)
0	-\$ 276,60	\$ -	\$ -	-\$ 276,60
1	\$ -	\$ 190,00	-\$ 55,32	\$ 134,68
2	\$ -	\$ 195,70	-\$ 55,32	\$ 140,38
3	\$ -	\$ 201,57	-\$ 55,32	\$ 146,25
4	\$ -	\$ 207,62	-\$ 55,32	\$ 152,30
5	\$ -	\$ 213,85	-\$ 55,32	\$ 158,53

Fuente: Elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos, datos nos permiten calcular los indicadores

TIR y VAN, para concluir con la viabilidad del proyecto.

Indicadores de Evaluación Financiera

El análisis financiero se realizará en torno a dos indicadores económicos: TIR (Tasa interna de retorno) y VAN (Valor Actual Neto)

Para el desarrollo del estudio se tendrán en cuenta las siguientes consideraciones

- El m³ de biogás puede reemplazar 0,5 Kg de gas propano
- La producción diaria de biogás es de 1,12 m³ al día, mensualmente se tendría una producción equivalente a 33,6 m³ y anualmente 400 m³
- El biofertilizante o abono agrícola tiene un costo de 0,50 USD/Kg
- El costo del cilindro de 20 kg es de 14 USD
- En la finca se consume un promedio de 100 Kg al año
- El biodigestor aporta diariamente con 30 litros de bioabono que en concentración equivaldrían a 5 Kg de biofertilizante, con lo cual la finca estaría sobre abastecida

Realizando comparaciones entre las consideraciones expuestas se tiene que:

$$400 \frac{m^3 \text{ de biogás}}{\text{año}} \times 0,5 \frac{Kg \text{ Gas}}{1 m^3 \text{ biogás}} \times \frac{14 \text{ USD}}{20 \text{ Kg Gas}} = 140 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

$$100 \frac{Kg \text{ bioabono}}{\text{año}} \times 0,50 \frac{\text{USD}}{Kg \text{ fertilizante}} = 50 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

Por lo tanto, se tendrían unos ingresos anuales de 190 USD. Estos precios se suponen variables cada periodo dependiendo de la inflación

Estos indicadores económicos nos van a decir con certeza si el proyecto es o no viable. Para ello hay que analizar si se encuentran dentro de los siguientes criterios.

- **Criterios de decisión para el VAN**

- $VAN > 0$ El proyecto es aceptado.
- $VAN < 0$ El proyecto es rechazado.
- $VAN = 0$ El proyecto es analizado para aceptarlo o rechazarlo.

Criterios de decisión para el TIR

- $TIR > \text{Costo del capital}$ el proyecto es aceptado.
- $TIR < \text{Costo del capital}$ el proyecto es rechazado.
- $TIR = \text{Costo del capital}$ el proyecto es analizado para aceptarlo o rechazarlo.

La fórmula correspondiente para el cálculo del VAN, es la siguiente:

$$VAN = \sum U_n (1 + cp)^{-m}$$

Donde:

VAN = Valor actual neto.

$\sum U_n$ = Sumatorio de los saldos de caja para cada periodo

n = Periodo de análisis en años.

cp = Costo del capital

$m = 1, 2, \text{etc.}$ Dependiendo del año en el cual se encuentre.

Introduciendo los valores respectivos en el programa Excel se determina que el valor del VAN es

$$VAN = 181,49$$

La fórmula correspondiente para el cálculo del valor de TIR es la siguiente:

$$I = \sum U_n (1 + TIR)^{-m}$$

Donde:

I = Inversión inicial del proyecto.

$\sum U_n$ = Sumatoria de los saldos de caja para cada periodo

n = Periodo de análisis en años.

TIR = Tasa interna de retorno.

m = -1, -2, etc. Dependiendo del año en el cual se encuentre.

Introduciendo los valores respectivos en el programa Excel se determina que el valor de TIR es

$$\mathbf{TIR = 43\%}$$

Debido a que los valores son aceptables de acuerdo a las consideraciones expuestas, se puede decir que el proyecto es viable.

Mecanismos de financiamiento

La accesibilidad a los biodigestores viene marcada en muchos casos por el costo de la inversión a realizar. En el caso de los pequeños y medianos productores, las tecnologías sofisticadas no suelen ser una opción sostenible por los costos de inversión y mantenimiento que se requieren. Los biodigestores de mediana y pequeña escala son una alternativa apropiada y más accesible a estos productores, aunque todavía con ciertas limitantes por dificultades en el financiamiento.

El mercado deja de lado a los productores más pequeños que no tienen suficiente capacidad de pago para acceder a un biodigestor, incluso a veces a los más baratos. Se debe considerar que un biodigestor no solo abarca los materiales, la excavación y la instalación, sino también los procesos que los acompañan como la difusión, asistencia técnica y control de calidad.

Por ello, en muchos lugares se han manejado subsidios a la inversión. Estos subsidios ayudan a romper varias barreras, como son el desconocimiento de la tecnología y la falta de capacidad económica para afrontar la inversión. Estos subsidios pueden ayudar a que la adopción de biodigestores siempre que estén bajo control y signifiquen realmente el mínimo monto necesario para superar estas barreras.

Un biodigestor es rentable (si es apropiado a las condiciones del productor) y no se requiere más que un pequeño incentivo para hacerlo atractivo, sobre todo inicialmente.

Por otro lado, está el acceso a créditos. Normalmente el monto que un agricultor familiar pediría a crédito es bajo y no muy interesante para las entidades financieras. De este modo se suelen trabajar con los microcréditos, que terminan teniendo altas tasas de interés (por encima del

15%), lo que los hacen menos atractivos para los productores. Además, existen otros problemas para acceder al crédito como deudas antiguas o no poder aportar garantía, por no tener propiedad de la tierra u otros.

Una alternativa son los fondos rotatorios, con intereses mínimos, y basados en la confianza de un grupo (una asociación de productores, por ejemplo), que flexibiliza las formas de pago. Sin embargo, para comenzar estos fondos rotatorios es necesario disponer de un capital inicial y desarrollar capacidades para la gestión.

Los biodigestores una vez conocidos deben transformarse en objetos productivos deseados por los agricultores, las comunidades aisladas, las escuelas rurales, etc. No obstante, se debe saber cómo llegar a ellos y cómo ofrecer las condiciones adecuadas para el financiamiento inicial.

Grandes empresas de la agroindustria podrían verse muy beneficiadas con la promoción del uso de esta tecnología entre sus proveedores (por ejemplo pequeños lecheros) y quedar en sus manos la posibilidad de comprometerse con el gasto inicial, para luego descontar de los pagos el costo de la inversión contra el pago preferencial por productos con una menor huella ecológica, lo que representa en la práctica una situación de todos ganan, debido a la mejor imagen que la agroindustria y los establecimientos agropecuarios pueden brindar en el mercado convencional.

Estudio Social y Ambiental

Evaluación social del proyecto

La instalación de los biodigestores puede impactar a las familias de áreas rurales en muchos aspectos; entre ellos se encuentra la salud, especialmente de las mujeres, que es uno de los factores que se verían mejorados, ya que, en muchas de estas familias, la leña es la principal fuente combustible para la preparación de los alimentos y debido al humo y sus partículas estas personas desarrollan diversos problemas de tipo respiratorio.

Con la instalación de los biodigestores y el posterior uso del biogás las familias contarán con una fuente de energía que no les ocasionará repercusiones a la salud.

La mejora en la calidad de vida de las personas, es otro de los aspectos sociales a recalcar, debido principalmente, a que la obtención del biogás puede facilitar en muchas formas de su modo de vida. Esto se vería reflejado en acciones cotidianas, como el no tener que prender fuego para cocinar, algo que, en ocasiones, requiere que las personas tengan que despertarse mucho antes para preparar sus alimentos. Con el uso del biogás, esto se puede realizar de una manera mucho más rápida. Además, el fuego en muchas viviendas se encuentra en sitios al exterior de éstas, por lo que esta labor se complica cuando llueve; el transporte de los cilindros de gas y leña, debido su disminución, es otra de las acciones que se han de facilitar.

Evaluación ambiental del proyecto

Gases de efecto invernadero (GEI)

La presencia de los biodigestores domésticos y el uso del biogás tienen como efecto indirecto la reducción de los gases de efecto invernadero, contribuyendo a contrarrestar el cambio climático. Las reducciones en las emisiones de metano y óxido nitroso, por el manejo que se les da a las excretas de los animales, las cuales son retenidas en el reactor y quemadas en las cocinas previniendo su emisión. Por otro lado, el biogás permite reemplazar combustibles fósiles y de biomasa, eliminando los GEI de su combustión.

En la ilustración 11, se muestran las emisiones de CO₂eq reducidas, al sustituir las fuentes de energía que la familia utilizaba, previo a la instalación de los biodigestores y brindarles un tratamiento a los purines.

Tabla 17. Emisiones de CO₂ por fuente de emisión/hogar

Emisiones	Leña	LPG	Disposición de excretas	Total
CO ₂ eq (t/año)	0,7	0,6	3,6	4,9

Nota: Tomado de (M. Jiménez & Zambrano, 2018)

El reemplazo de las fuentes de energía, permite reducir un total de 1,3 t CO₂eq, siendo la leña, el mayor emisor. Es importante recalcar que la leña es en muchos casos la principal, y prácticamente única fuente de energía para muchas familias ya que el uso de cilindros de gas no es tan recurrente debido al monto económico que representa, sin embargo, las emisiones que se obtienen al tomar el gas LPG como fuente de gases de efecto invernadero es considerable.

El manejo del estiércol por medio del proceso de biodigestión, permite mitigar 3,6 t CO₂eq anualmente, no obstante, este valor se ve afectado por la cantidad de animales a los cuales se les brinda tratamiento de excretas.

Por otra parte, la combustión de biogás produce dióxido de carbono, un GEI 21 veces menos impactante que el metano que se libera cuando el estiércol animal se deja en el campo sin ningún tratamiento, además, esta combustión genera menos emisiones que la biomasa tradicional, como es el caso de la leña que es empleada principalmente en hogares rurales (Pérez et al. 2014). Sin embargo, como indican Hosseini & Wahid (2014), la captura y manejo del biogás, se debe realizar de forma apropiada, para de esta manera, evitar la liberación de grandes cantidades de CO₂ y CH₄ en el ambiente.

En cuanto a la cantidad de CO₂eq producido por las excretas animales, se tiene que son 1 t/año por hogar, correspondiendo a un 44% de las emisiones totales, y convirtiéndose en la fuente principal al considerar las energías individualmente, teniendo en segundo lugar las emisiones de la leña por hogar, con un 31% equivalente a 0,7 t CO₂/año, y con un 25% a los cilindros de gas LPG, con un total de 0,6 t CO₂ /año.

Plan de gestión de sostenibilidad

El Plan de gestión de sostenibilidad busca que el proyecto genere el menor impacto ambiental posible y que a su vez se genere el mayor beneficio social.

Se busca establecer de manera detallada las acciones que se requieren para prevenir, mitigar, controlar, compensar y/o corregir los posibles impactos ambientales negativos causados en el desarrollo de la instalación y puesta en funcionamiento de los biodigestores. Se incluyen también, los planes de seguimiento, evaluación, monitoreo y contingencia.

Se hará la evaluación desde las perspectivas, económica, ecológica y social; y, a su vez se hará un análisis de: el entorno. los riesgos y los impactos

Para lograr lo anterior se utilizarán: la matriz PESTEL para analizar el entorno frente a los posibles factores de riesgo político, económico, social, tecnológico, ecológico o legal que podrían afectar el proyecto; la matriz P5 para analizar los posibles impactos, la matriz de riesgos, que como su nombre lo indica servirá como herramienta para analizar los posibles riesgos inherentes al desarrollo del proyecto y al final de cada una de las matrices se hará un resumen de los resultados obtenidos y las acciones que se han de llevar a cabo para garantizar que se genere el menor impacto posible.

Matriz de análisis PESTEL.

Según el Green Project Management la matriz de análisis del entorno PESTEL es una herramienta útil para entender la “gran foto” del ambiente en el cual se está operando.

Comprendiendo el ambiente, es posible tomar ventaja de las oportunidades y minimizar las amenazas.

Proporciona el contexto dentro del cual puede realizarse una planificación más detallada para tomar total ventaja de las oportunidades que se presentan

Análisis PESTEL

Tabla 18. Análisis PESTEL

Componente	Factor	Descripción del factor en el entorno del proyecto	Fase de análisis					Nivel de incidencia					Describa como incide en el proyecto	¿Cómo potenciaría los efectos positivos y disminuiría los negativos?	
			I	P	I _m	C	C _r	Mn	N	I	P	Mp			
Político	Políticas que regulen el sector en el que se desarrolla el proyecto	Implementar procesos y procedimientos para el conocimiento de los beneficios con la construcción de un Biodigestor en ambientes rurales.	X	X	X	X	X						X	Interacción de la comunidad con el conocimiento de los beneficios que genera el Biodigestor.	Realizar capacitaciones a la comunidad directamente, ya sea en las fincas, veredas etc.
Económico	Infraestructura, cobertura y calidad de los servicios públicos (acueducto, alcantarillado, recolección de residuos, electrificación, comunicación, vivienda, educación, entre otros).	Los habitantes del área rural no tienen acceso al servicio de gas, ni alcantarillado y en algunos sectores la recolección de residuos.	X	X	X	X	X						X	Nuestro proyecto busca suplir las necesidades básicas insatisfechas de la comunidad.	Aprovechamiento de los desechos para la producción de Biogas,

Social	Cultural – Seguridad	La cultura de cocción de alimentos con leña o productos como el carbón, e incineración de desechos que afectan la salud.	X	X	X					X	El proyecto busca el mejoramiento de las condiciones de salud de la población del área rural.	El mejoramiento en la calidad de vida de las personas.
Tecnológico	Tecnología disponible	Acercamiento a los habitantes de la zona rural de nuevas tecnologías limpias.	X	X	X	X	X			X	Modernización en la forma y la calidad de vida de las personas.	Efecto multiplicador de los beneficios en los habitantes de las zonas involucradas.
Legal	Legislación en proceso o proyecciones que podrían afectar el proyecto	<i>Falta de normatividad, que busque el beneficio de la población rural en materia del aprovechamiento de elementos secundarios producidos dentro de su entorno.</i>	X					X			<i>Desconfianza, desconocimiento en el producto.</i>	<i>Buscaríamos el apoyo de la Secretaría de Desarrollo Rural y el SENA, para impulsar políticas públicas en el entorno, y agregando campañas de sensibilización, capacitación etc.</i>
Ambiental	Clima – Temperatura	<i>En climas cálidos la recolección de los residuos debe ser mucho más rápido para evitar la pérdida de propiedades.</i>	X	X				X			<i>La disminución de la humedad afecta la producción de Biogás.</i>	<i>Capacitar a las personas en cuanto al tiempo o momento adecuado para la recolección de los residuos.</i>
Ambiental	Geología – Facilidad de Excavación	<i>Las excavaciones que se van a realizar son superficiales.</i>		X						X	<i>El nivel de profundidad en las excavaciones no es significativo</i>	<i>Uso de maquinaria adecuada para optimizar y minimizar tiempos de ejecución</i>
Ambiental	Aire - Olores	<i>Escape de malos olores al</i>		X				X			<i>Los malos olores</i>	<i>Instalación en espacios alejados y</i>

		<i>medio ambiente</i>											<i>pueden generar incomodidad a las personas que se encuentren cerca al biodigestor</i>	<i>bien ventilados</i>
Ambiental	Contaminación - Problemas de contaminación del aire, agua, suelos, entre otros.	<i>Mitigación de los efectos contaminantes de los desechos producidos en la población rural</i>				X	X					X	<i>El biodigestor aprovecha las emisiones de CO2 provenientes de los desechos sólidos y disminuyendo su propagación al medio ambiente.</i>	<i>Aprovechamiento de la transformación de Co2 en Biogas.</i>

Fuente: Elaboración propia

Factores PESTEL*Tabla 19. Criterios para caracterizar el entorno*

Componente	Factor	Detalle
Político	Relaciones de poder Expectativas de la comunidad Formas de organización existentes Conflictos Políticas que regulen el sector en el que se desarrolla el proyecto	
Económico	Principales actividades económicas Volúmenes, flujos e infraestructura de producción Niveles de productividad Niveles de consumo Estructura de la propiedad Formas de tenencia de la tierra Vulnerabilidad Infraestructura, cobertura y calidad de los servicios públicos (acueducto, alcantarillado, recolección de residuos, electrificación, comunicación, vivienda, educación, entre otros.)	
Social	Demográfico	Tasa de natalidad Número de habitantes Niveles de instrucción Distribución étnica
	Cultural	Patrimoniales (arqueológicos, históricos, culturales) Identidad Estructura familiar Niveles de arraigo Religiosidad Seguridad
Tecnológico	Tecnología disponible Redes de conexión Centros de innovación o redes de trabajo	
Legal	Permisos y trámites ambientales Licencias de construcción Permisos de ocupación del espacio público Legislación en proceso o proyecciones que podrían afectar el proyecto	
Ambiental	Clima	Precipitación Temperatura Humedad relativa

Componente	Factor	Detalle
		Vientos Piso térmico Evaporación Brillo solar
	Geología	Erodabilidad Estabilidad Capacidad portante Permeabilidad Facilidad de excavación Tipo de roca Estratificación Fallas Sismicidad
	Suelos	Propiedades físicas: textura, estructura, profundidad, drenaje, humedad, etc. Propiedades químicas: usos actuales y potenciales
	Agua	Red de drenaje Factores de calidad: olor, color, temperatura, turbidez, oxígeno disuelto, DBO, DQO.
	Aire	Ruido Gases Olores
	Paisaje	Calidad visual Unidades de paisaje
	Fauna	Especies existentes Especies amenazas, endémicas, migratorias.
	Contaminación	Problemas de contaminación del aire, agua, suelos, entre otros.
	Amenazas naturales	Inundación, lahares, sismos, etc.

Fuente: Elaboración propia

Resultado matriz de análisis del entorno PESTEL.

El proyecto tiene como objetivos principales, el aprovechamiento de residuos sólidos para la generación de Biogás y, su uso como método de cocción de alimentos, además del mejoramiento de la calidad de vida de la población directamente relacionada; uno de los mayores retos que enfrentamos es el desconocimiento por parte de la población del área rural de los beneficios y la capacidad del aprovechamiento de la tecnología del Biodigestor, por tanto se debe capacitar a los residentes del área rural en busca de generar conciencia ambiental y cultural en cuanto al buen manejo de los residuos que antes eran desaprovechados.

Matriz de Análisis de riesgos

Teniendo el resultado del análisis del entorno, es posible identificar de forma preliminar los eventos que pueden representar un riesgo, entre estos tenemos: riesgos naturales, socio-naturales, tecnológicos o similares.

Esta matriz no analiza los riesgos financieros ni los riesgos técnicos.

Mitigar el riesgo: técnica de planificación de la respuesta a los riesgos asociada con amenazas que pretende reducir la probabilidad de ocurrencia o el impacto de un riesgo (PMBOK, 2014)

Evitar el Riesgo: técnica de planificación de la respuesta a los riesgos ante una amenaza que genera cambios en el plan para la dirección del proyecto con la intención de eliminar el riesgo o proteger los objetivos del proyecto de su impacto. (PMBOK, 2014)

Escenario de riesgo: es una expresión del riesgo en un tiempo y espacio específico. El escenario de riesgo refleja –para un tiempo y espacio concreto- las amenazas y la condición de vulnerabilidad. Es la escena que antecede a la materialización del riesgo.

Tabla 20. Matriz análisis de riesgos

CATEGORÍA		VALORACIÓN DE IMPACTO Y PROBABILIDAD																	
		RIESGO									PERSONAS		DAÑOS A INSTALACIONES		AMBIENTAL				
FENOMENOS DE ORIGEN SOCIO NATURAL	Daños ambientales por deficiencia en los procesos operativos .	0B	2A	0A	ECONÓMICOS (COSTOS)	TIEMPO	IMAGEN	CLIENTES	OTROS	VALORACIÓN GLOBAL	PLAN DE RESPUESTA	ACCIÓN DE TRATAMIENTO	PERSONAS	DAÑOS A INSTALACIONES	AMBIENTAL	ECONÓMICOS (COSTOS)	IMAGEN	CLIENTES	OTROS
FENOMENOS DE ORIGEN HUMANO	Accidentes del personal a cargo o de terceros.	0B	2B	0A	0A	3A	2B	4B	0	FALSO	Aceptar Mitigar	Seguimiento del contrato según cláusula de obligaciones y responsabilidades y responsabilidades del Plan de Acción y Control Ambiental - PACA.	0	5	0	0	15	21	0
FENOMENOS DE ORIGEN HUMANO	Hurto de maquinaria o equipos o materiales.	0B	0B	3B	2B	3A	1B	1B	0	FALSO	Mitigar Transferir	Seguimiento del contrato según cláusula de obligaciones y responsabilidades del contratista y al programa de salud y seguridad en el trabajo.	0	12	0	12	15	4	4
FENOMENOS DE ORIGEN HUMANO	Falta de disponibilidad de los elementos necesarios para desarrollar las actividades.	0B	0B	0B	1B	1B	1B	1B	0	FALSO	Mitigar Transferir	Implementar acciones tendientes a garantizar la continuidad de las actividades tales como reemplazo de la maquinaria, equipos o materiales hurtados a la mayor brevedad posible.	0	0	16	4	4	4	4
FENOMENOS DE ORIGEN HUMANO	Fallas o demoras en la programación y coordinación de actividades.	0B	0B	0B	1B	1B	2B	1B	0	FALSO	Mitigar	Reducir la probabilidad de ocurrencia efectuando inspección continua a los servicios prestados y adoptando planes de contingencia que permita la consecución del	0	0	0	4	4	12	4

											objeto así sea con mayores recursos a los presupuestados.								
FENOMENOS DE ORIGEN HUMANO	Riesgos de fuerza mayor o caso fortuito que impidan la ejecución de las actividades en lugares determinados.	0B	1B	0B	1B	1B	2B	2B	0	FALSO	Mitigar Evitar	Reducir la probabilidad de ocurrencia contando con planes de contingencia.	0	0	0	4	4	12	12
ORIGEN ECOLÓGICO (Manejo de emisiones)	Dificultades de acceso a los sitios donde se va a realizar las intervenciones así como la inexistencia o limitaciones de medios de acceso y/o transporte de personas materiales y equipos a los lugares de realización de los trabajos.	0B	0B	0B	1B	1B	1B	1B	0	FALSO	Aceptar Mitigar	Planeación y planes de contingencia y continuidad de negocios que permita garantizar la continuidad del servicio, así sea en otros lugares o sitios.	0	4	0	4	4	4	4
ORÍGEN POLÍTICO (Grupos al margen de la ley)	La posible llegada de grupos armados al margen de la ley, podrían generar presiones hacia los productores para que siembren cultivos de uso ilícito (coca, amapola, marihuana), causando afectaciones ambientales en los ecosistemas propios de la región.	5E	1B	0B	1B	1B	1B	1B	0	FALSO	Mitigar	Reducir la probabilidad de ocurrencia efectuando inspección continua a los servicios y realizando la respectiva planeación que le permita cumplir con el objeto del contrato sin incurrir en costos adicionales.	0	0	0	4	4	4	4
														0	11	4	24	24	

Fuente: Elaboración propia

Resultados matriz análisis de riesgos.

Los mayores riesgos dentro de nuestro proyecto son externos entre los que se encuentran, dificultad de acceso al área de trabajo, la no disponibilidad de materiales, la seguridad en el área cercana. Se busca mitigar la probabilidad de ocurrencia de errores humanos.

Análisis del ciclo de vida ACV

El Análisis del ciclo de vida es una herramienta metodológica que sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida (desde que se obtienen las materias primas hasta su fin de vida).

Para el caso del presente proyecto se consignarán todos los datos correspondientes a las entradas y salidas para todos los procesos del sistema del producto.

Una vez realizado se tendrá información sobre posibles impactos al medio ambiente, la salud humana y la disponibilidad de recursos naturales.

INVENTARIO PROYECTO BIODIGESTOR

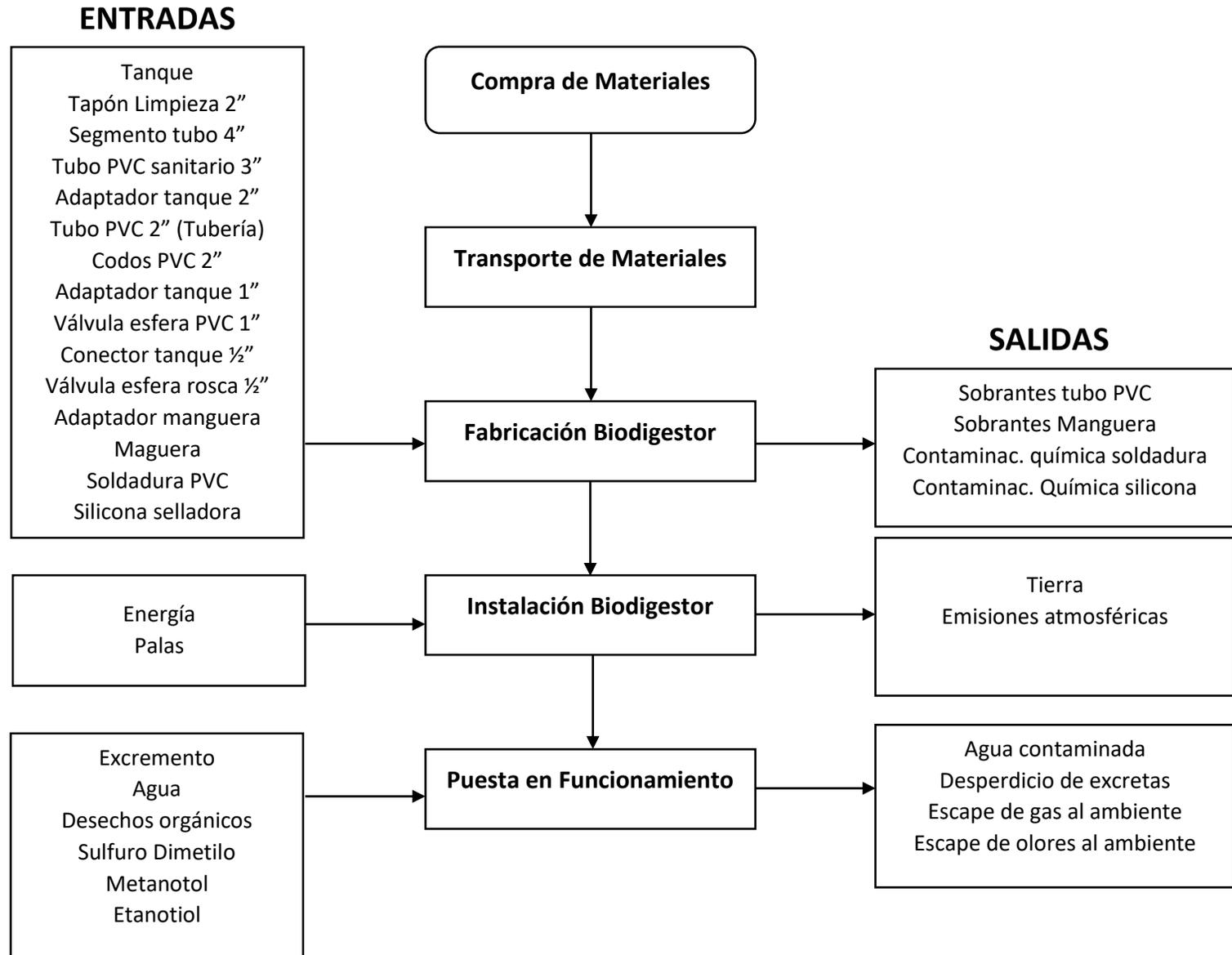


Ilustración 11. Inventario biodigestor.

Fuente: Elaboración propia

MATRIZ P5

Es una herramienta que sirve para definir qué y como medir un proyecto por los impactos relacionados con la sostenibilidad

Tabla 21. Matriz P5

Integradores del P5		Indicadores	Categorías de sostenibilidad	Sub Categorías	Elementos	Fase 1 Compra de Materiales	Justificación	Fase 2 Transporte de Materiales	Justificación	Fase 3 Fabricación del Biodigestor	Justificación	Fase 4 Instalación del Biodigestor	Justificación	Fase 5 Puesta en Funcionamiento del Biodigestor	Justificación	Total	Acciones de mejora/respuesta	
Producto	Objetivos y metas	Vida útil del producto Servicio posventa del producto	Sostenibilidad económica	Retorno de la inversión	Beneficios financieros directos									-2	Ingresos producto de la fabricación, instalación y puesta en funcionamiento del biodigestor	-2	El proyecto es económicamente sostenible	
Proceso	Impactos	Madurez del proceso Eficiencia y estabilidad del proceso			Valor presente neto											-2	El retorno de la inversión según estimaciones presenta buen nivel de utilidad de valores futuros traídos al presente	-2
				Agilidad del negocio	Flexibilidad/Opcion en el proyecto										-3	Se pueden hacer cambios para lograr una mayor impacto social del proyecto en comunidades que puedan ser posibles beneficiarias	-3	El proyecto puede beneficiar a muchas mas personas de las inicialmente contempladas - se pueden buscar nuevas comunidades de similares características -

					Proveedores locales	-1	Los materiales se pueden conseguir fácilmente con proveedores de origen local	-1	Los proveedores locales están relativamente cerca al área hacia donde deben ser transportados los materiales	-2	Los proveedores locales deben asegurar un mínimo de calidad de los productos					-1	Se deben buscar proveedores de origen local que garanticen la buena calidad de los productos	
					Comunicación digital													
					Transporte													
					Viajes			-1	Los materiales se pueden conseguir fácilmente con proveedores de origen local	-2	Se busca una disponibilidad del 100% de materiales en el lugar de fabricación para evitar viajes innecesarios	+1	El lugar de instalación puede ser alejado				1	Se debe buscar que los materiales estén disponibles en un 100% al momento de realizar la instalación para evitar viajes innecesarios
					Transporte	+1	Los proveedores locales están relativamente alejados al área hacia donde deben ser transportados los materiales	+1	El lugar al que se deben llevar los materiales puede ser alejado	+1	El lugar de fabricación puede ser alejado -ya que la fabricación se lleva a cabo en el lugar de instalación-	+1	El lugar de instalación puede ser alejado				+1	Por ser comunidades apartadas la tarera de transporte se vuelve compleja, es necesario buscar formas de transporte de materiales y personal que minimicen los tiempos de desplazamiento de un lugar a otro
					Energia													
					Energia usada			-2	Se busca que el transporte de materiales se haga utilizando medios tradicionales con un mínimo de contaminación - carretas	-2	La cantidad de energía a utilizar es de mínima a inexistente	-2	La cantidad de energía a utilizar es de mínima a inexistente	-3	El proyecto es una fuente generadora de energías limpias		-2	Utilizar medios no contaminantes para el transporte e instalación del biodigestor, ejemplo carretas y energía hombre

TOTAL	+1	Lejanía de los proveedores locales al lugar de ejecución del proyecto	+1	Lejanía de los proveedores locales al lugar de ejecución del proyecto	+1	Lejanía del lugar de Fabricación	+3	Lejanía del lugar de Instalación	+1	Contaminación de agua por llenado del tanque	
--------------	----	---	----	---	----	----------------------------------	----	----------------------------------	----	--	--

Fuente: Elaboración propia

Resultados Matriz P5

Después de realizado el análisis de la matriz P5 se puede concluir lo siguiente:

- El proyecto es sostenible desde las perspectivas ambiental, económica y social.
- La transformación de CO₂ en energía limpia - biogás - y de los excrementos en fertilizante garantiza una cadena productiva con unos desperdicios de casi 0%
- Los mayores retos del proyecto se concentran en el transporte de las materias primas y la fabricación de los biodigestores.
- Al realizarse la fabricación de los biodigestores en su lugar de instalación -y al ser estas comunidades alejadas- el transporte se convierte en el factor de mayor impacto negativo de todo el proyecto puesto que se debe garantizar la disponibilidad de materias primas y mano de obra en sitios de difícil acceso y localización remota
- El proyecto tiene como sus mayores factores de contaminación los desperdicios - tubos de PVC, manguera- y algunos productos utilizados al momento del ensamblaje de los biodigestores-Silicona, sellador para PVC- por tanto, debe buscar que esos desperdicios lleguen a 0, aplicando medidas como el rediseño y medición al realizar la fabricación e instalación.
- Al momento de realizar la combustión anaeróbica dentro del tanque de almacenamiento existe el riesgo de contaminación producida por escapes de metano al medio ambiente -debido a una producción excesiva de biogás- aunque esto a su vez es una medida de seguridad para evitar posibles explosiones por acumulación de gases.

- El éxito del proyecto en las comunidades donde se aplicará inicialmente puede servir como punto de apoyo para aplicarlo en comunidades de similares características.

Estrategias, objetivos, metas e indicadores de sostenibilidad del proyecto

Tabla 22. Estrategias, objetivos, metas e indicadores de sostenibilidad

NOMBRE DE LA ESTRATEGIA	PRINCIPALES ACTIVIDADES	OBJETIVO	META	INDICADOR	TIPO DE INDICADOR
Máximo aprovechamiento de las excretas animales durante el desarrollo del proyecto	Considerar la cantidad de animales productores para calcular la cantidad de excretas a transformar	Reducir el desperdicio de excretas	Aprovechar las excretas en un rango superior al 90%	Excretas Aprovechadas (Kg) / Excretas Producidas (Kg)	Efecto
Máximo aprovechamiento del gas durante el desarrollo del proceso	Controlar el proceso anaeróbico el cual No debe permitir escapes	Reducir el desperdicio de gas	Aprovechar al máximo el gas producido sin permitir pérdidas	Gas Producido (m3) / Tiempo de cocción (Hrs)	Efecto
Aprovechamiento en transformación calorífica	Controlar el proceso de transformación de biogás en energía calorífica	Aprovechamiento del biogás como productor de corriente eléctrica	Mejorar las condiciones de vida de los usuarios del proyecto	Biogás transformado / kWh Producido	Efecto
Aprovechamiento de los residuos excedentes de la transformación	Secado de los residuos para convertirlo en abono	Reutilización del abono producido en el proyecto para la alimentación de los semovientes y otros usos	Aprovechar los residuos como abono orgánico	Q Abono producido / Q material inicial utilizado en el proceso	Efecto

Fuente: Elaboración propia

Análisis global de resultados

- Es viable la implementación de biodigestores tubulares de bajo costo como una alternativa para la obtención de energía térmica orientada a la cocción de alimentos de las familias de bajos recursos de áreas rurales.
- Los biodigestores son una oportunidad, una herramienta para aportar a un cambio profundo en el manejo de los residuos orgánicos, ya que estos sistemas no sólo ‘tratan’ estos residuos, y ayudan al reciclaje de nutrientes por medio del uso del fertilizante producido, sino que además ofrecen un aprovechamiento energético por medio de la captura y uso del biogás generado.
- Los biodigestores representan una fuente de beneficios económicos, ambientales y sociales. Dentro de los cuales podemos resaltar que el biogás producido, permite satisfacer las necesidades energéticas de la familia, manteniendo así, una reserva dentro del sistema.
- El proyecto satisface los siguientes requerimientos: bajo costo de fabricación, facilidad de construcción, mantenimiento, operación y eficiencia.
- Los indicadores sociales y ambientales del proyecto son positivos. La instalación de los biodigestores como parte de un proyecto de desarrollo rural, permiten una mejora en la calidad de vida de las familias beneficiarias del proyecto, además existe la posibilidad de emprender desarrollos sostenibles en cada uno de los hogares al aprovechar el biofertilizante para su comercialización.
- La cantidad de CO₂ equivalente, que los biodigestores permiten reducir es significativa y todo ello se da por el reemplazo de leña y gas por biogás en la cocción de alimentos.

- El costo total del proyecto puede ser reducido si se realiza una construcción directa. Lo cual impulsaría aún más la implantación de biodigestores en los sectores rurales del país.
- Los biodigestores son herramientas útiles para aumentar la independencia energética de los pequeños productores

Recomendaciones

- Para acercarse aún más a la realidad de las implicaciones que los biodigestores tienen, se deberían considerar las emisiones generadas por los subproductos del biodigestor, en términos de CO₂eq, como lo son el almacenamiento y reuso del digestato tanto líquido como sólido. También se deberían tomar en cuenta, las cuantificaciones económicas, tanto en la sustitución como en las mejoras en el rendimiento de los cultivos por la aplicación del biol, que igualmente representan beneficios para las familias en este ámbito.
- Es importante la realización de una medición del porcentaje de metano que constituye el biogás, determinando así la calidad de este.
- Así mismo, toda la información recolectada permite la ejecución de un análisis de mitigación de CO₂, que consecuentemente, puede ser empleado en la creación de certificaciones de carbono, a las cuales se le puede otorgar inclusive un valor comercial.
- A nivel local, identificar casos exitosos de referencia que sirvan para la realización de visitas demostrativas de otros actores (productores, gobiernos, comunidades, etc.)
- Talleres en organismos públicos para que profundicen en la tecnología, sus beneficios y requisitos, y puedan integrarla en sus políticas
- Desarrollar mecanismos de monitoreo y evaluación apropiados y consensuados de implementación de biodigestores (parámetros a registrar, tiempos y protocolos, medición de impactos, etc.)
- Sensibilización del sector público a nivel local, mostrando proyectos de éxito.
- Desarrollar mensajes enfocados por grupos de interés (asociaciones de productores de diferentes sectores, gobiernos, proveedores de tecnología, estudiantes, investigadores, etc.) y

específicos a los grupos más cercanos a la implementación, escuelas agrícolas, horticultores, sector energético,

- Desarrollo de material de difusión de manera integrada, amplia y contundente de las realidades, posibilidades y alcances de los sistemas de biodigestión.
- Hacer una campaña conjunta del sector de los biodigestores dirigida a asociaciones de productores y gobiernos (tomadores de decisiones).
- Desarrollo de créditos verdes tanto para usuarios como para formación de empresas (proveedoras de tecnología), en los cuales el Gobierno se hace cargo total o parcialmente de los intereses.
- Fondo regional para apoyar las mejores propuestas de investigación, desarrollo e implementación de biodigestores.
- Estímulos para grupos sectoriales o regionales para lograr recursos para la ejecución de proyectos (gobiernos locales, cooperación internacional, empresas privadas, etc.).
- Promoción de programas de manejo integral de residuos sólidos y líquidos urbanos que incluya la I+D necesaria para el desarrollo de tecnologías de biodigestores adaptadas y accesibles a las diferentes realidades.
- Promoción de I+D para optimización de los usos del biol como reciclaje de nutrientes, el aprovechamiento energético del biogás y la optimización de los biodigestores como sistemas de saneamiento básico tanto a nivel rural como urbano.
- Promover el diálogo y crear espacios de encuentro e intercambio para la sistematización y difusión de los resultados de la revisión de desarrollos y propuestas locales.

- Desde asociaciones de productores, municipios, gobiernos regionales y nacionales, ONGs, etc. se pueden realizar acciones pertinentes a la incorporación de este sistema de manejo ambiental de los residuos orgánicos.

Bibliografía

- Aguilar, F., & Botero-Botero, R. (s.f.). Estimación de los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo.
- Arrieta Palacios, W. (2016). *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Tesis de Pregrado en ingeniería Mecánico-Eléctrica, Universidad de Piura, Piura.
- Botero Botero, R., & R. Preston, T. (1987). Biodigestores de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas.
- Botero Botero, R., & R. Preston, T. (1987). *Biodigestor de bajo costo para la producción de combustible y fertilizante a partir de excretas*. Manual para su instalación, operación y utilización.
- Chungandro Nacaza, K. R., & Manitio Cahuatijo, G. J. (2010). *Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas*. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero mecánico, Escuela Politécnica Nacional, Quito.
- Corona Zuñiga, I. (s.f.). Biodigestores. Mineral de la reforma, Hidalgo, México.
- IDEAM. (2015). Inventario Nacional de Gases de efecto Invernadero (GEI). Bogotá, Colombia.
- Jimenez, D. (Noviembre de 2012). Evaluación de los parámetros de un biodigestor anaerobio de flujo continuo. Xalapa, Veracruz, México.
- M. Jiménez, F., & Zambrano, D. (2018). Consumo de biogás en hogares rurales y sus implicaciones económicas y ambientales. *Redbiolac*, 28.
- M. Jiménez, F., & A. Zambrano, D. (2018). Consumo de biogás en hogares rurales y sus implicaciones económicas y ambientales. Caso El Porvenir, Limón. *RedBioLAC*, 27-30.
- Martí Herrero, J. (2008). En *Biodigestores Familiares Guía de diseño y manual de instalación*. Bolivia: GTZ-Energía.
- Martí Herrero, J. (2009). *Biodigestores Tubulares. Guía de diseño y Manual de instalación*. Ecuador: Redbiolac.
- Martí Herrero, J. (2019). *Biodigestores Tubulares: Guía de Diseño y Manual de Instalación*. Ecuador: Redbiolac.
- Martí Herrero, J. (s.f.). *Blodigestores tubulares Guía de diseño y manual de instalación*. Ecuador: Redbiolac.
- Ramón, J. A., Romero, L. F., & Simanca, J. I. (s.f.). Diseño de un biodigestor de canecas en serie para obtener gas metano y fertilizantes a partir de la fermentación de excrementos de cerdo. Universidad de Pamplona.