



Universidad de **Nariño**

**INGENIERÍA**  
ELECTRÓNICA



**IPSE**  
Instituto de planificación y promoción  
de Soluciones Energéticas para las  
zonas No Interconectadas

# ESTUDIOS DETALLADOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS BIOMÁSICOS CON USO DE BIODIGESTORES PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA Y PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO EN EL MUNICIPIO DE CUMBAL



**pers**  
Nariño

Plan de Energización Rural Sostenible

## ESTUDIOS DETALLADOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS BIOMÁSICOS CON USO DE BIODIGESTORES PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA Y PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO EN EL MUNICIPIO DE CUMBAL

### COORDINADOR Y FORMULADOR:

**Álvaro Andrés Jiménez Ocaña**

Ing. Electrónico

Docente Departamento de Electrónica

Universidad de Nariño

### ASISTENTES DE INVESTIGACIÓN:

**Karla Córdoba**

**Claudia Zambrano**

**Hernando Rosero**

**Jesús Viveros**

### COLABORADORES:

**Diana Mesías**

Ing. Sanitaria y Ambiental

**Renato Pantoja**

Ing. Químico

**Mauricio Cabrera**

Ing. Ambiental, Mg.

PLAN DE ENERGIZACIÓN RURAL DEL DEPARTAMENTO DE NARIÑO

PERS-Nariño

UNIVERSIDAD DE NARIÑO

UPME

USAID

IPSE

San Juan de Pasto – Nariño

Colombia

2014

## TABLA DE CONTENIDO

1. FICHA DEL PROYECTO.....	9
2. RESUMEN DEL PROYECTO.....	10
3. IDENTIFICACIÓN .....	12
3.1. Diagnóstico de la Situación Actual.....	12
3.1.1. Diagnóstico del Área Influenciada por el Proyecto.....	12
3.1.2. Diagnóstico de los Participantes .....	17
3.1.3. Diagnóstico del Servicio .....	19
3.2. Marco de Referencia.....	46
3.2.1. Contribución a la Política Pública.....	46
3.2.2. Antecedentes .....	47
3.2.3. Estado del Arte.....	49
3.3. Problema Central, Causas y Efectos.....	71
4. FORMULACIÓN DE LA ALTERNATIVA .....	73
4.1. Nombre de la Alternativa.....	73
4.2. Resumen de la Alternativa .....	73
4.3. Objetivos .....	74
4.3.1. Objetivo General .....	74
4.3.2. Objetivos Específicos.....	74
4.4. Productos, Actividades y Personal Requerido .....	75
4.5. Identificación y Descripción de la Innovación Propuesta .....	79
4.6. Metodología y Distribución de Responsabilidades.....	80
4.7. Indicadores de Objetivo General, de Producto y de Gestión.....	95
4.8. Fuentes de Verificación y Supuestos.....	97
4.9. Bienes y/o Servicios .....	105
4.10. Beneficios e Ingresos.....	106
4.11. Horizonte del Proyecto .....	108
4.12. Impactos Esperados .....	108
4.13. Efectos Ambientales.....	109
4.14. Análisis de Riesgos .....	120
4.15. Análisis de Sostenibilidad.....	120

4.16. Cronograma..... 122

4.17. Presupuesto ..... 122

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del municipio de Cumbal. ....	13
Figura 2. Nivel educativo de la población. ....	15
Figura 3. Consolidación de resultados de encuestas realizadas a las asociaciones lecheras. ....	23
Figura 4. Distribución racial en el trópico alto de ganado bovino en el departamento de Nariño. ....	27
Figura 5. Resultados de encuesta respecto a altitudes de implementación de biodigestores en la Exprovincia de Obando. ....	30
Figura 6. Tipo de clima predominante en las regiones encuestadas. ....	30
Figura 7. Resultados de encuestas acerca de características de construcción de biodigestores implementados en la Exprovincia de Obando. ....	31
Figura 8. Concepto sobre la utilidad de biogás de los usuarios encuestados. ....	31
Figura 9. Resultados de encuestas respecto a biodigestores que permanecen en funcionamiento. ....	32
Figura 10. Altitudes de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento. ....	33
Figura 11. Características de construcción de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento. ....	33
Figura 12. Procedimientos de carga de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento. ....	34
Figura 13. Características del biogás de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento. ....	35
Figura 14. Uso y concepto del bioabono de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento. ....	36
Figura 15. Mantenimiento realizado a biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento. ....	37
Figura 16. Información acerca de biodigestores visitados que ya no están en funcionamiento. ....	37
Figura 17. Adecuación del plástico. ....	61
Figura 18. Cámaras carga-descarga. ....	62
Figura 19. Base del biodigestor. ....	62
Figura 20. Detalle del armado de la válvula de salida de biogás. ....	63
Figura 21. Esquema de un biodigestor. ....	64
Figura 22. Limalla de hierro, Y sanitaria. ....	64

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de Participantes.....	18
Tabla 2. Consumo energético por proceso y participación en la Exprovincia de Obando.....	19
Tabla 3. Consumo por fuente y participación en la Exprovincia de Obando. ....	20
Tabla 4. Consumo de leña en la Exprovincia de Obando. ....	20
Tabla 5. Consumo de energía eléctrica por proceso en la Exprovincia de Obando.....	21
Tabla 6. Asociaciones lecheras entrevistadas en el municipio de Cumbal. ....	22
Tabla 7. Consumos energéticos para tanques de frío METALPACK. ....	24
Tabla 8. Información de la producción lechera en el municipio de Cumbal desde 2008 hasta 2012. .....	25
Tabla 9. Cantidad de animales bovinos en el municipio de Cumbal.....	26
Tabla 10. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de bovinos Holstein. ....	27
Tabla 11. Total de estiércol producido en el municipio de Cumbal.....	28
Tabla 12. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de porcinos. ....	28
Tabla 13. Características de biodigestores seleccionados para mediciones de biogás. ....	38
Tabla 14. Composición del Biogás proveniente de los biodigestores.....	40
Tabla 15. Caudal de biogás medido. ....	40
Tabla 16. Estimaciones preliminares energía eléctrica producida.....	41
Tabla 17. Estimaciones preliminares de energía purificando el biogás. ....	41
Tabla 18. Características de biodigestores seleccionados para análisis de bioabono.....	42
Tabla 19. Resultados de los análisis físico químicos. ....	44
Tabla 20. Resultados de los análisis microbiológicos.....	45
Tabla 21. Tipos de biomasa.....	50
Tabla 22. Poder calorífico de la biomasa. ....	51
Tabla 23. Potencial energético de biomasa. ....	52
Tabla 24. Composición del biogás.....	54
Tabla 25. Equivalencia de 1 m <sup>3</sup> de biogás con el 70% de metano respecto a otros combustibles..	55
Tabla 26. Evolución del contenido de gérmenes en la leche cruda.....	57
Tabla 27. Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.....	65
Tabla 28. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 1. ....	75

Tabla 29. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 2. ....	77
Tabla 30. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 3. ....	78
Tabla 31. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 4. ....	79
Tabla 32. Indicadores que miden el objetivo general. ....	95
Tabla 33. Indicadores de producto, objetivo específico 1. ....	96
Tabla 34. Indicadores de producto, objetivo específico 2. ....	96
Tabla 35. Indicadores de producto, objetivo específico 3. ....	97
Tabla 36. Indicadores de producto, objetivo específico 4. ....	97
Tabla 37. Indicadores de gestión. ....	97
Tabla 38. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 1. ....	97
Tabla 39. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 2. ....	99
Tabla 40. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 3. ....	101
Tabla 41. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo específico 4. ....	102
Tabla 42. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 1. ....	102
Tabla 43. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 2. ....	103
Tabla 44. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 3. ....	104
Tabla 45. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 4. ....	104
Tabla 46. Determinación de los bienes y/o servicios obtenidos a través del desarrollo del proyecto. ....	105
Tabla 47. Oferta y Demanda de los bienes y/o servicios dados por el proyecto. ....	106
Tabla 48. Beneficios de generación de empleo. ....	107
Tabla 49. Beneficio por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información. ....	108
Tabla 50. Impactos científicos y tecnológicos del proyecto en las entidades participantes. ....	108
Tabla 51. Escala de valoración para la caracterización de impactos. ....	110
Tabla 52. Categorías valoradas para Impactos ambientales negativos. ....	114
Tabla 53. Matriz de impactos ambientales negativos. ....	114
Tabla 54. Valoración total de la magnitud de los impactos negativos. ....	115
Tabla 55. Categorías valoradas para Impactos ambientales positivos. ....	117
Tabla 56. Matriz de impactos ambientales positivos. ....	117
Tabla 57. Valoración total de la magnitud de los impactos positivos. ....	118

Tabla 58. Análisis de riesgos..... 120

## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Árbol de problema

Anexo 2. Cronograma

Anexo 3. Presupuesto

Anexo 4. Resultados pruebas laboratorios especializados

### 1. FICHA DEL PROYECTO

Título del proyecto:	Estudios detallados para el aprovechamiento de los recursos biomásicos con uso de biodigestores para generación de energía y producción de abono orgánico en el municipio de Cumbal del departamento de Nariño	
Entidad formuladora:	Universidad de Nariño	
Entidad beneficiaria:		
Entidad ejecutora:	Universidad de Nariño	
Otras instituciones participantes:		
Duración del proyecto (meses):	17	
Costo total del proyecto:	\$ 737.093.549,94	
Monto solicitado:	\$ 656.643.549,94	
Monto total de la contrapartida:	\$ 80.450.000,00	
Contrapartida de la entidad beneficiaria:	En efectivo:	En especie
Lugar de ejecución del proyecto: Municipio de Cumbal	Ciudad: San Juan de Pasto	Departamento: Nariño
Persona responsable del proyecto:	Empresa/Institución: Universidad de Nariño	Cargo: Desarrollador del Proyecto

## 2. RESUMEN DEL PROYECTO

El departamento de Nariño basa gran parte de su economía en el sector agropecuario, destacándose la subregión de la Exprovincia de Obando por su significativo aporte en la producción de leche, principalmente en los municipios de Cumbal y Guachucal.

Este aprovechamiento de ganado produce una gran cantidad de desechos orgánicos denominados biomasa, que de no ser tratados adecuadamente no generan beneficios, sino que más bien, produce un gran impacto ambiental negativo debido a la contaminación de fuentes hídricas y al metano que es producido y liberado naturalmente a la atmósfera, acrecentando así los gases de efecto invernadero. Por otra parte, es importante destacar que dicha biomasa tiene un alto potencial energético, constituyéndose en una importante fuente de energía renovable alternativa, que por el momento no se utiliza adecuadamente.

Enfocándose en el municipio de Cumbal, se puede observar una escasa oferta de energía desaprovechando los recursos biomásicos existentes que refleja el documento Consolidado Agropecuario (Gobernación de Nariño, 2012), teniendo en cuenta que el total de ganado bovino en el año 2012 fue de 28.253 y que en el mismo año la producción de leche fue de 110.192 litros. Lo anterior motiva a plantear un proyecto basado en el aprovechamiento de los recursos biomásicos existentes en biodigestores para generación de energía y producción de abono orgánico en el municipio de Cumbal, con tal suerte que de llevarlo a cabo, se obtengan efectos positivos como la disminución de costos de conservación de la leche, la reducción de costos de vida, la aminoración del deterioro ambiental, la atenuación de los riesgos en la salud de la población y la mitigación de la contaminación.

Un biodigestor es un sistema que mediante digestión anaeróbica por medio de bacterias procesa la biomasa, para éste caso excretas bovinas, y produce como resultado además de biogás, un efluente denominado bioabono, por lo que se convierte en una opción atractiva en cuanto a tratamientos residuales y producción energética se refiere.

Aunque según la teoría, la implementación de biodigestores debe hacerse en climas cálidos, a altitudes bajas, no sería prudente descartar esta opción para el municipio de Cumbal a pesar de que las principales poblaciones se encuentren entre los 3000 y 3600 m.s.n.m predominando el piso térmico muy frío, ya que es ahí donde se concentra la mayor cantidad de potencial biomásico.

La posibilidad de implementar biodigestores en una región con estas características radica en los antecedentes de experiencias que demuestran buenos resultados en el funcionamiento de estos sistemas en municipios como Pupiales, Ipiales, Guachucal y en menor medida Cumbal, implementados en proyectos realizados por Corponariño (Corporación Autónoma Regional de Nariño) en los años de 2007, 2010 y 2013.

Con el fin de tener unas bases sólidas sobre las cuales fundamentar el desarrollo del proyecto, se realizaron visitas y encuestas con el fin de recopilar información acerca de procedimientos y

resultados, seguido de una caracterización preliminar del biogás y bioabono producido para contar con una experiencia preliminar acerca de la eficiencia de estos sistemas. De los resultados se puede concluir que es viable la implementación de biodigestores en la zona de estudio, sin embargo, es indispensable realizar estudios y diseños detallados acerca de:

- Procedimiento de carga donde se incluye: tipo de biomasa a utilizar; proporciones; volumen y frecuencia de carga.
- Estructura del biodigestor donde se incluye: tipo del biodigestor; invernadero; interconexiones del sistema de gas; elementos de seguridad; reservorio.
- Manejo y procesamiento del bioabono para producir abono orgánico.

Lo anterior, porque es evidente el mal manejo que se les da a los sistemas implementados en la actualidad por falta de capacitación y más grave aún, por falta de unas bases técnicas sólidas desarrolladas con los parámetros y características particulares de la región en donde se implementan, que sustenten teóricamente los procesos realizados empíricamente.

Mediante una primera reunión de socialización e interacción con la comunidad del municipio, específicamente con 15 presidentes de asociaciones lecheras, se puede establecer las necesidades energéticas para ellos prioritarias, destacándose dos principalmente que están directamente relacionadas: las escasas alternativas de bajo costo en la obtención de energía tanto para la conservación de la leche en el sector lácteo, como para la elaboración de productos alimenticios en el hogar.

Por lo anterior, en el proyecto se plantean dos opciones que se pueden realizar simultánea o independientemente. La primera que consiste en proponer un sistema de enfriamiento a partir de biogás, ya sea utilizado directamente o con la generación de energía eléctrica producida por el biodigestor. La segunda, consiste en la implementación de biodigestores para el consumo de gas en el hogar.

Una característica fundamental en la implementación de biodigestores, es que la inversión no es muy alta en comparación con otro tipo de energías y además que es de fácil construcción. El costo total está ligado a las dimensiones requeridas a ser determinadas según la aplicación que se vaya a dar al sistema. Es importante resaltar que el mantenimiento que se debe hacer es mínimo si se lo trabaja adecuadamente, por lo que es una solución económica.

Además de lo anteriormente expuesto, mediante biodigestión se puede obtener abono orgánico a partir del efluente, que favorece a los procesos agrícolas y mejora la calidad de vida de la población con la posibilidad latente de la generación de una alternativa empresarial. Es fundamental destacar que la materia prima del sistema no tiene ningún costo al ser las excretas del ganado, siendo así sostenible no solo económicamente sino también ambientalmente al aprovechar el metano producido en la explotación bovina en procesos de producción energética.

### 3. IDENTIFICACIÓN

#### 3.1. Diagnóstico de la Situación Actual

Debido a la predominante actividad pecuaria del municipio de Cumbal, este cuenta con gran cantidad de residuos animales derivados de la explotación principalmente bovina y en menor cantidad porcina. Estos residuos animales, específicamente excretas, son un tipo de biomasa que se desaprovecha por la falta de conocimiento acerca del tratamiento que se le puede realizar para obtener beneficios energéticos y agrícolas. Por otra parte, las asociaciones lecheras en la actualidad solo cuentan con la oferta de energía eléctrica convencional para realizar el proceso de enfriamiento de leche, que presenta debilidades en cuanto a la regularidad de prestación del servicio afectando directamente la productividad y costos de producción.; es también importante resaltar que el sector doméstico basa su consumo energético en la leña, lo que afecta el costo de vida, el medio ambiente y la salud de la población.

De lo anterior, surge la iniciativa de hacer uso de los recursos biomásicos desaprovechados de manera que se puedan mejorar el proceso de refrigeración realizado por las asociaciones, el proceso de cocción en el sector doméstico, además de obtener como valor agregado un abono orgánico útil en procesos agrícolas.

##### 3.1.1. Diagnóstico del Área Influenciada por el Proyecto

En el Departamento de Nariño las cadenas productivas más importantes son papa, lácteos, fibras naturales, entre otros, siendo la ganadería y la agricultura la base de la economía Nariñense, aunque todavía predomina una producción minifundista.

Los municipios del departamento de Nariño con mayor inventario ganadero según el documento Consolidado Agropecuario (Gobernación de Nariño, 2012) son: Pasto (32.021 cabezas), Cumbal (28.253 cabezas), Guachucal (27.490 cabezas) e Ipiales (21.796 cabezas); los municipios con mayor producción lechera son: Pasto, Cumbal, Guachucal y Pupiales. En la cuenca lechera de Nariño encontramos algunas lecherías especializadas, con un alto nivel tecnológico, razas seleccionadas, manejo de praderas, suplementación alimenticia, asesoría técnica e inseminación artificial. El total de leche producida en el departamento es de 815.000 l/día y en promedio es de 6,9 l/vaca al día, este promedio es mayor al promedio nacional (4,5 l/vaca al día), pero inferior al promedio de departamentos lecheros como Cundinamarca, Antioquia y Risaralda (Aristizabal, 2008).

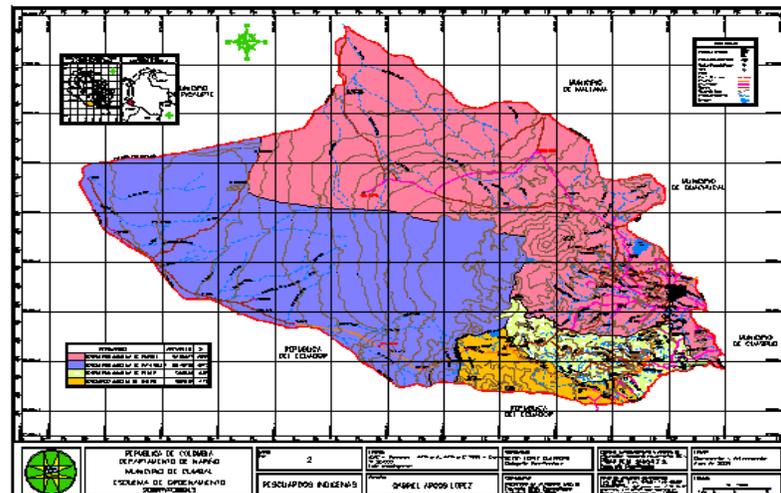
Es importante destacar que para la información que se presenta en adelante en esta sección (3.1.1), se utiliza como fuente el documento Plan de desarrollo municipal: Cumbal; ¡Unidos en acción por Cumbal! (Alcaldía municipal de Cumbal, 2012). El municipio de Cumbal, cuyos habitantes representan la población afectada por el problema descrito, está situado al sur occidente del Departamento de Nariño limitando con la República del Ecuador y en la altiplanicie de Tuquerres e Ipiales. Hace parte de la cordillera andina que se considera como una región de

piso térmico frío, con una temperatura promedio de 10°C y una altura de 3.050 m.s.n.m. Posee una extensión de 1.265 km y hace parte de la región andina binacional.

Cumbal es parte integrante del nudo de los Pastos y del macizo Colombiano. Limita al norte, con el municipio de Guachucal, Mallama y Ricaurte; al sur, con la provincia del Carchi, república del Ecuador; al oriente con el municipio de Cuaspud Carlosama y Guachucal; y al occidente, con el municipio de Ricaurte y la provincia del Carchi (Ecuador). La Figura 1 presenta la localización del municipio de Cumbal.

Es importante destacar que el Municipio de Cumbal se ubica estratégicamente en el área limítrofe entre Colombia y Ecuador; de los 270 km de línea fronteriza del Departamento de Nariño con la República ecuatoriana, un 30% corresponde al municipio, es decir una extensión aproximada de 55,35 km.

Figura 1. Localización del municipio de Cumbal.



Fuente: Alcaldía municipal de Cumbal. (2012). *Plan de desarrollo municipal: Cumbal; ¡Unidos en acción por Cumbal!*.

La distancia de Cumbal a la capital colombiana, Santafé de Bogotá, es de 976 km y respecto a la ciudad fronteriza es de 38 km. Entre Cumbal y Quito, capital ecuatoriana, por la vía Ipiales – Puente Internacional de Rumichaca, la distancia es de 320 km. Son pasos fronterizos alternos entre Cumbal y la República del Ecuador: Tallambí – Chical; San Juan de Mayasquer Maldonado; Chiles – Tufiño y Cuaspud – Carchi.

El municipio de Cumbal se comunica por la vía al océano Pacífico con el puerto colombiano de Tumaco, a una distancia de 280 km y por este con el puerto ecuatoriano de Esmeraldas cuya vía carretable se encuentra en plena construcción.

El recurso hídrico en el municipio, es abundante aunque con el paso del tiempo ha disminuido tanto la cantidad como la calidad. Cuenta con importantes cuencas hidrográficas como: Cuenca del Rio Blanco, Cuenca de la Laguna de Cumbal, Cuenca del Rio Carchi, Cuenca del Rio Cainacan, Cuenca del Rio San Juan, Cuenca del Rio Blanco Vegas. Desde donde se surten y abastecen los acueductos de los centros poblados del Municipio de Cumbal, y de los municipios de Ipiales y Carlosama y los sistemas de riego operantes.

El clima del municipio varía entre frío húmedo y frío seco. El régimen es bimodal con dos periodos de invierno y dos de verano. El primer periodo de lluvias, está comprendido entre marzo y mayo, mientras que el segundo entre octubre y diciembre. Los periodos de verano corresponden a una primera temporada desde enero hasta febrero y una segunda desde junio hasta septiembre.

La altitud del municipio, varía entre 1.000 m.s.n.m. hasta los 4.500 m.s.n.m. y la temperatura media oscila entre los 11 y 6 °C. Dadas las características geomorfológicas, meteorológicas y latitudinales presentes en el municipio, se pueden identificar seis (6) pisos térmicos así:

**Piso Térmico Cálido (PTC):** Se localiza en el bosque húmedo pre-montañoso, en altitudes comprendidas entre los 1.000 y 1.180 m.s.n.m. con temperaturas medias superiores o iguales a los 25 °C, el cual ocupa una extensión total de 321,48 ha.

**Piso Térmico Templado (PTT):** Registra temperaturas medias entre 18-24 °C y alturas que van de los 1.180 a los 2.000 m.s.n.m. abarca una extensión total 20.501,4 ha. Es una zona perteneciente a bosque húmedo pre-montano.

**Piso Térmico Frio (PTF):** Se localiza sobre alturas que van desde los 2.000 a 3.000 m.s.n.m. con precipitaciones anuales medias entre 1.000 y 2.000 m.m y temperaturas medias entre 12 y 18 °C. Su extensión es aproximadamente igual a 33.459,17 ha. Es una zona de vida que corresponde a bosque húmedo montano-bajo, área donde se encuentra la mayor parte de la población.

**Piso Térmico Muy Frio (PTMF):** Ocupa la mayor parte de la extensión del municipio, 37.361,88 ha; son bastas zonas de vida representadas por bosque muy húmedo montano, y páramo sub-andino.

**Piso Térmico Paramo (PTP):** El páramo para las zonas de vida comprende 3 regiones: páramo sub-andino, páramo propiamente dicho y el súper páramo. La extensión total de este piso térmico asciende a 17.020,51 ha.

**Piso Térmico Neval (PTN):** Corresponde a un área cercana a los 448,70 ha. Se localiza a alturas superiores a los 4.500 m.s.n.m. con índices pluviométricos inferiores a los 150 m.m. anuales y temperaturas por debajo de 1,5 °C.

En cuanto a la demografía, la población del territorio de Cumbal se destaca por la presencia mayoritaria de la etnia Pasto, que ocupa la totalidad del territorio y representa el 78,34% del total de habitantes del municipio; entre tanto, la población no indígena asciende a unos 6.712 habitantes que representan un 21,65% del total del municipio, los cuales se concentran en su

mayoría en la cabecera municipal; otros se diseminan en menor cantidad en los distintos centros poblados y una mínima proporción se localiza en las áreas de reserva o producción agropecuaria.

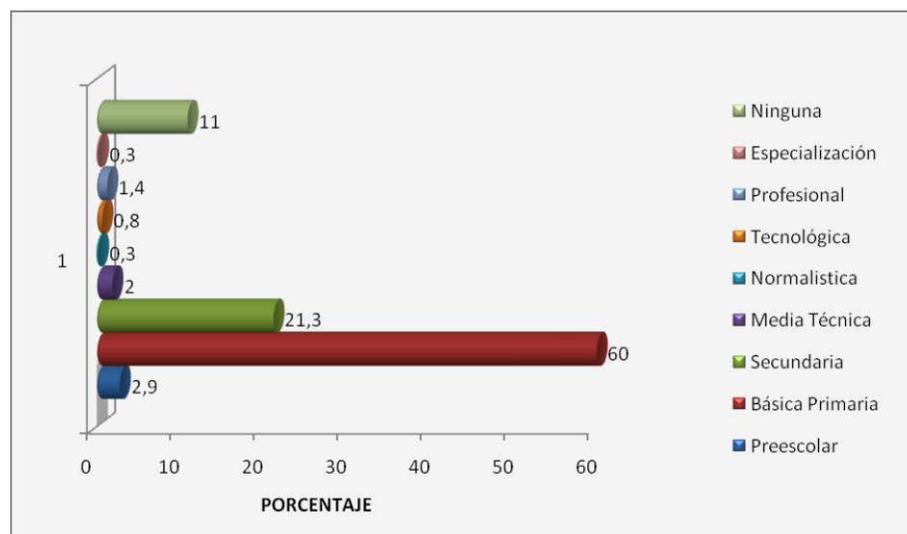
Los 24.284 habitantes indígenas Pastos, tienen su asentamiento principal en cuatro parcialidades, que comprenden los resguardos de: Cumbal, Panán, Chiles y Mayasquer.

Para el proyecto, la población objetivo son las asociaciones lecheras conformadas dentro del municipio de Cumbal.

El sector educativo el municipio de Cumbal, ostenta una calidad de educación formal baja en los indicadores de calidad, cobertura, eficiencia y equidad. El desempeño académico es bueno en contenido, pero débil en habilidades cognitivas básicas para el desarrollo científico y tecnológico. De otra parte se comprobó que en muchos centros e instituciones educativas existen deficiencias en cuanto a la actualización del currículo académico, por lo cual el nivel académico y el acceso a la universidad pública es cada vez más efímero.

En el municipio existen 60 establecimientos educativos, de los cuales 3 están en la zona urbana y 57 en la zona rural. En cuanto al nivel de educación de la comunidad de Cumbal, se tiene el siguiente comportamiento: el 60% de las personas que viven en el municipio han alcanzado el nivel de básica primaria, el 21,3% secundaria; seguido del 1,4% con estudios superiores, de los cuales el 0,3% ha realizado especializaciones, maestrías o doctorados. Finalmente el 11% de la población total no ha realizado ningún tipo de estudios.

Figura 2. Nivel educativo de la población.



Fuente: Alcaldía municipal de Cumbal. (2012). *Plan de desarrollo municipal: Cumbal; ¡Unidos en acción por Cumbal!*.

En el sector salud, la secretaria municipal de salud tiene como responsabilidad la dirección y prestación de los servicios del primer nivel de atención, los cuales deben ser atendidos por los

hospitales locales, centros y puestos de salud. En el servicio de salud para el sector rural, se cuenta con centros de salud e IPS ubicados en: Chiles, Panan, San Juan de Mayasquer, Miraflores, Tallambi, Cuetial, Chita Llano Largo y el Dispensario de Salud de San Martín. Sin embargo, lo amplio del territorio y las pocas vías de acceso no permiten un pronto y rápido acceso al servicio. En el casco urbano existen 2 entidades prestadoras de salud: la ESE Hospital Cumbal y la IPS Indígena.

Para el municipio el aseguramiento en salud tanto del régimen subsidiado como contributivo y vinculado, presenta el siguiente comportamiento: afiliados al régimen subsidiado 31.238 personas, al régimen contributivo 950 y 8.331 personas afiliadas.

El municipio de Cumbal, posee un 50% de vías pavimentadas en el casco urbano. En vías rurales el municipio cuenta con aproximadamente 250 km de vías terciarias las cuales se encuentran en mal estado, debido al deterioro del terraplén y afirmado en la mayoría de sus tramos, además no posee obras de drenaje suficientes para evacuar las aguas lluvias, sino que estas circulan por la banca de las vías, lo que ocasiona que en muchos casos se arrastre el material de la capa de rodadura y por ende el afirmado. Es primordial destacar que las vías terciarias del municipio no han tenido mantenimiento rutinario durante los últimos años, generando la presencia de innumerables baches, los cuales se profundizan en época invernal, originando dificultades para el normal tránsito vehicular y peatonal, sumado a ello actualmente el municipio no posee los recursos y maquinaria suficiente para lograr un adecuado mantenimiento.

En cuanto a la economía, el sector pecuario es el que genera mayor valor agregado, siendo la principal actividad económica con una participación del 60%. Le sigue el sector agrícola con 35%. Esto indica que el sector pecuario como tal, debido a la importancia de renglones como la ganadería y su gran oferta afecta considerablemente el desarrollo económico y social del municipio. El carácter pecuario de la economía, evidencia un sector que se debe fortalecer y/o potencializar, pues la región no podría sustentar sus expectativas de desarrollo, en un sector productivo débil, con mínimos niveles de tecnología, poco competitivo y desarticulado del contexto económico social. Aquí, predomina la explotación de ganado bovino, porcícola, cría de trucha en estanques y producción de especies menores como cuyes.

Los grupos comunitarios mestizos que habitan en el municipio, constituyen la minoría poblacional; sus formas de organización social e interrelación personal y comunitaria, obedecen a los patrones convencionales de occidente; sin embargo, las dos culturas conviven e interactúan históricamente.

Asociaciones, fundaciones, sindicatos, Juntas de Acción Comunal, agremiaciones, cooperativas, sociedades, grupos religiosos, clubes deportivos; partidos y grupos políticos entre otros, hacen parte de la cultura de organización social mestiza producto de sus particulares actividades y relaciones socioeconómicas, las cuales interactúan a su vez, con las formas de organización tradicional de las comunidades indígenas.

### 3.1.2. Diagnóstico de los Participantes

Para el desarrollo del proyecto se identificaron entidades que aportarán en el progreso y la sostenibilidad del mismo, como es el caso de las asociaciones lecheras y demás población objetivo, que con su experiencia y su firme compromiso tendrán el rol de beneficiarios, destacando un aprendizaje recíproco y potencializando los recursos presentes. Sin embargo, se ha identificado una problemática en el sector energético enfocado en los métodos de conservación de la leche cruda y además, dificultades de obtención diaria de gas para la cocción de los alimentos en los hogares.

También se encuentra la Gobernación de Nariño que con sus recomendaciones contribuirá para dar pie al proceso del presente proyecto, ya que como institución pública está comprometida con el desarrollo regional bajo los principios de justicia social, democracia política, desarrollo humano sostenible, equidad de género, reconocimiento y protección de la diversidad étnica, respeto por derechos humanos y participación ciudadana, coordinando esfuerzos con el sector público, privado y sociedad civil.

Corponariño ejerce eficientemente su rol de autoridad ambiental viabilizando la ejecución de programas y proyectos ambientales que impulsan el desarrollo sostenible en el departamento. Esta corporación está enmarcada en un proceso de mejoramiento continuo que orienta sus esfuerzos a garantizar la calidad del ambiente y a atender oportunamente las necesidades y expectativas de la comunidad nariñense en interacción con su medio natural. Lo anterior, fundamental para avanzar en el desarrollo sostenible del departamento. En el contexto de la presente propuesta, esta entidad contribuirá en el montaje y vigilancia de los prototipos experimentales planteados.

Además, entre los participantes se encuentra la alcaldía municipal de Cumbal por medio de la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria (UMATA), que en su trayectoria ha apoyado programas con énfasis ambiental y educativo en áreas estratégicas como son: productoras de agua y reforestación con especies nativas producidas a través de viveros forestales manejados por la comunidad, se destaca también la seguridad alimentaria con la implementación de huertas y el fomento de cultivos de maíz, frijoles y plátano; la agroforestería con la utilización de frutales como coberturas permanentes; los proyectos con especies menores con galpones para gallinas con doble propósito: carnes y huevos, y pollos de engorde, dirigidos especialmente a la mujer campesina cabeza de hogar; con gran éxito en el fomento y explotación piscícola como alternativa de producción y de seguridad alimentaria para la familia rural. Este ente se desempeñará como contribuyente para los montajes experimentales y demostrativos.

La Universidad de Nariño participa a través del Plan de Energización Rural Sostenible para el departamento de Nariño (PERS-Nariño), en la estructuración y formulación del presente proyecto, contribuyendo firmemente a los objetivos planteados en el programa y además al desarrollo sostenible de la comunidad involucrada.

Tabla 1. Análisis de Participantes.

Participante	Posición	Tipo de Contribución	Experiencia Previa
Asociaciones Lecheras	Beneficiario	Personal involucrado en la construcción del prototipo y adopción de los resultados	Procesos de enfriamiento de leche con tanques de frío.
Población Objetivo	Beneficiario	Recolección de datos para la línea base y adopción de los resultados	Procesos de cocción utilizando leña.
Gobernación de Nariño	Cooperante	Financiamiento a través del Sistema General de Regalías y seguimiento	Comprometida con el desarrollo regional con el apoyo a programas y proyectos con justicia social, democracia política, desarrollo humano sostenible, equidad de género, reconocimiento y protección de la diversidad étnica, respeto por derechos humanos y participación ciudadana.
CORPONARIÑO	Cooperante	Aporte de recursos en especie	Experiencia en la ejecución de programas y proyectos encaminados al desarrollo sostenible en cumplimiento de la normatividad vigente.
UMATA	Cooperante	Aporte de recursos en especie	Asistencia técnica directa rural a los pequeños productores, con el fin de mejorar los sistemas de producción, el nivel de ingresos y las condiciones de vida, sin que esta labor conlleve al deterioro de los recursos naturales, suelo, agua, bosque.
Universidad de Nariño	Cooperante	Formulación y ejecución. Aporte de Recursos en Especie	Coordina proyectos productivos con el uso y demanda de las diferentes fuentes energéticas para el departamento de Nariño , el Plan de Energización Rural Sostenible cuenta con personal capacitado para la formulación de proyectos productivos, y además cuenta ya con un proyecto aprobado ante el Sistema General de Regalías.

Fuente: Esta investigación.

### 3.1.3. Diagnóstico del Servicio

#### Consumos energéticos.

Para determinar la demanda energética del municipio de Cumbal es necesario fundamentarse en los resultados obtenidos en la primera etapa del desarrollo del PERS-Nariño (PERS Nariño, 2013), correspondientes al diagnóstico energético del departamento de Nariño y para el interés particular de este proyecto, de la subregión Exprovincia de Obando, a la cual pertenece Cumbal.

La Exprovincia de Obando tiene una participación en el consumo total del departamento de Nariño, de 41.682.583 Mcal/mes que corresponde a un 15,65%, siendo el porcentaje más alto de las 13 subregiones; es importante aclarar que para esta subregión, se estima un total de 41.553 viviendas, siendo este valor también el más alto de las 13 subregiones. Lo anterior implica, que a pesar de que algunos de los consumos por subregión sean predominantes en la Exprovincia de Obando, no se vea necesariamente reflejada esta tendencia en los consumos per cápita.

Para analizar los consumos energéticos se identifican 6 procesos que son: iluminación; refrigeración; ambiente; calentamiento de agua; cocción; aparatos eléctricos. El consumo energético por proceso y su participación expresado en megacalorías en la subregión de Exprovincia de Obando se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Consumo energético por proceso y participación en la Exprovincia de Obando.

Proceso	Consumo por Proceso, Mcal	Participación Consumo por Proceso
<b>Iluminación</b>	986.636	2,37%
<b>Refrigeración</b>	412.204	0,99%
<b>Ambiente</b>	0	0,00%
<b>Calentamiento de agua</b>	137.089	0,33%
<b>Cocción</b>	39.688.509	95,22%
<b>Aparatos eléctricos</b>	458.145	1,10%
<b>Consumo total Mcal/mes</b>	41.682.583	
<b>Consumo per cápita/día</b>	7,85	

Fuente: PERS Nariño. (2013). *Consumo energético del departamento de Nariño.*

Tal como ocurre en los resultados totales del departamento, donde la cocción es el proceso que más participación alcanza con un valor del 95,03%, en la Exprovincia de Obando se observa la misma tendencia, de manera que la mayor parte de energía es destinada a esta actividad del diario vivir. Aunque el consumo total de la subregión en cuestión es el mayor de todos, en cuanto al consumo per cápita/día de 7,85 Mcal ocupa apenas la octava posición dentro de las 13 subregiones, siendo el de mayor consumo la subregión Occidente.

Identificado el consumo energético total, es de igual importancia determinar el consumo por fuente, el cual se observa en la Tabla 3.

Tabla 3. Consumo por fuente y participación en la Exprovincia de Obando.

Tipo de Consumo	Consumo por Fuente	Participación Consumo por Fuente
Consumo total energía eléctrica Mcal/mes	1.872.882	4,51%
Consumo total leña Mcal/mes	35.969.191	86,54%
Consumo total GLP Mcal/mes	3.608.464	8,68%
Consumo total carbón Mcal/mes	110.843	0,27%
<b>Consumo total</b>	<b>41.561.381</b>	
<b>Consumo per cápita Mcal/día</b>	<b>7,83</b>	

Fuente: PERS Nariño. (2013). *Consumo energético del departamento de Nariño*.

Es evidente que la mayor parte de energía utilizada proviene de la leña en un porcentaje del 86,52%, siendo acorde con el proceso de cocción que como ya se estableció anteriormente, es el que más energía consume. El consumo de leña se presenta en la Tabla 4.

Tabla 4. Consumo de leña en la Exprovincia de Obando.

Consumo kg/mes	9.991.442
Consumo per cápita kg/día	1,88
Consumo Mcal/mes	35.969.191
Consumo per cápita Mcal/día	6,776
Participación de consumo en el departamento de Nariño	15,57%

Fuente: PERS Nariño. (2013). *Consumo energético del departamento de Nariño*.

Teniendo en cuenta la importancia que tiene el uso de energía eléctrica en los procesos productivos, y que la subregión tiene un 14,768% de participación en el consumo total del departamento, en la Tabla 5 se presentan los consumos de energía eléctrica por proceso correspondientes a la Exprovincia de Obando.

Tabla 5. Consumo de energía eléctrica por proceso en la Exprovincia de Obando.

Proceso	Consumo por Proceso, kWh	Participación Consumo por Proceso
Iluminación	1.006.330	46,21%
Refrigeración	479.307	22,01%
Ambiente	0	0,00%
Calentamiento de agua	159.406	7,32%
Cocción	0	0,00%
Aparatos eléctricos	532.726	24,46%
Consumo total kWh/mes	2.177.770	
Consumo promedio vivienda/mes	52,41	
Consumo per cápita/día	0,41	

Fuente: PERS Nariño. (2013). *Consumo energético del departamento de Nariño*.

Si se relaciona los resultados es importante observar que en el proceso de cocción el uso de energía eléctrica es nulo, a pesar de que éste es el proceso por el cual más energía se consume en la subregión, lo que deja como resultado un impacto ambiental consecuencia de la deforestación necesaria para poder suplir la demanda energética requerida.

Con respecto al consumo de energía eléctrica por el proceso de refrigeración, el 22,01% de participación que éste aporta se tiene en cuenta para la población de la Exprovincia en cuanto a una vivienda promedio, sin embargo, este dato no se aplica a las asociaciones lecheras que requieren una mayor demanda para alimentación de tanques de frío, utilizados para el proceso de enfriamiento que es necesario para el adecuado tratamiento de la leche.

### Asociaciones Lecheras

Para dimensionar la situación existente en el sector lechero, se realiza una reunión con quince de los 42 presidentes representantes de asociaciones del sector existentes en el municipio de Cumbal (PERS Nariño, 2013), la información obtenida se registra en la Tabla 6.

En este primer contacto, se interactúa con la comunidad dando a conocer conceptos básicos de lo que son los sistemas de generación de energías alternativas renovables, haciendo especial énfasis en los sistemas que aprovechan la biomasa a través de biodigestores, esto teniendo en cuenta que como consecuencia de la producción de leche, la región tiene un gran potencial respecto a la cantidad de biomasa producida. Por otra parte, es importante la información que se puede obtener referente a las necesidades productivas de las asociaciones, además de determinar el interés existente respecto a la participación en un proyecto de esta temática.

Tabla 6. Asociaciones lecheras entrevistadas en el municipio de Cumbal.

Nombre de la Asociación	Presidente	Contacto	Número de Integrantes	Vereda del Municipio de Cumbal
Productores de leche la Ortiga	Javier Tapie	3136931084	50	Quilismal la Ortiga
La Nevada	Luis Higinio Alpala	3127465397	52	Quilismal Sector Chita Ladera
Río Blanco	Juan Cuaical	3206648849	65	Cuaical Centro
Láctea San Judas Punguelan	Luis Fernando Cumbal	–	15	Guan San Judas
Láctea Indígena Cuaspud Rosal	Edgar Irua	3128760906	63	Cuaspud Rosal
Agropecuaria Lácteos San Fernando	José Moisés Tarapués	3122057162	50	Cuetial
Cumbe	Guillermo Fuelantala	3117780326	30	Guan
Agropecuaria San José	Nelson Libardo Ortega	3105050828	27	Cuetial San José
Cuenca Río Cuase	Jorge Antonio Taimal	3128270536	45	Guan Centro
Pradera Verde	José Davis Chiquizmal	3104947308	37	Cuetial
Integral Progreso en el Campo	Luis Antonio Piarpuezan	3136270705	52	Nazate Cuetial
Huertas Tambillo	Marco Tulio	3116161522	-	Tasmag Sector Huertas Tambillo
Nuevo Renacer	Carlos Guillermo Yandar	3117609387	35	Tasmag las Tolas
Nueva Esperanza	Laureano Eduardo	3122153478	16	Nazate Cuetial
Mundo Nuevo	Juan Colimba	3148970932	50	Cuetial

Fuente: PERS Nariño. (2013). *Estudio del potencial biomásico y criterios de diseño de biodigestores en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina del departamento de Nariño.*

En el momento, las asociaciones se dedican exclusivamente al acopio de leche de sus integrantes, y en algunos casos, al enfriamiento de ésta. La Figura 3 presenta la consolidación de los resultados obtenidos.

Figura 3. Consolidación de resultados de encuestas realizadas a las asociaciones lecheras.



Fuente: PERS Nariño. (2013). *Estudio del potencial biomásico y criterios de diseño de biodigestores en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina del departamento de Nariño.*

Es evidente, de los anteriores resultados, que las asociaciones indican como principal necesidad para el desarrollo de su actividad productiva, la escasez de oferta de energía eléctrica a un menor costo y de forma regular; pues argumentan la necesidad de adquirir plantas eléctricas que funcionan con combustibles fósiles para asegurar la continuidad del proceso de enfriamiento, a pesar de los fallos en la red eléctrica que se puedan presentar y según ellos, ocurren frecuentemente.

Analizando el problema más a fondo, se determina que la necesidad real de las asociaciones, es disponer de un sistema de enfriamiento de leche que funcione continuamente y a un menor costo, ya sea a partir de energía eléctrica utilizando los tanques de frío existentes, cuya caracterización no hizo parte de este estudio, o a partir de una alternativa diferente que permita realizar el mismo proceso con similar eficiencia.

Por lo anterior, se observa que la demanda energética de este sector en particular, no está representada en los consumos energéticos obtenidos con el desarrollo del PERS-Nariño; esto porque los resultados se obtienen con respecto a la tendencia de todos los municipios de la Exprovincia de Obando, y las asociaciones lecheras, que son las que cuentan con tanques de frío, son una minoría con respecto al total de la población de la subregión.

Para caracterizar de una forma aproximada el consumo energético de los tanques de frío se tiene en cuenta las horas que permanecen encendidos al día, este tiempo varía para cada asociación según lo que tarda el camión recolector en pasar, que puede ser de hora y media a tres horas, por lo que se asume un tiempo promedio de dos horas y quince minutos.

Para la información del consumo se relacionan tanques de frío marca METALPACK tipo GL (Metalpack Ingeniería, 2013). Cabe resaltar que está marca no es necesariamente la que se utiliza en las asociaciones, sin embargo, especifica los consumos energéticos para un amplio rango de capacidades, con excepción de los tanques de 4.000 lt que no provee el fabricante referenciado.

Un análisis exacto de la demanda se debe realizar en la etapa posterior de este proyecto, con mediciones exactas sobre los equipos reales ubicados en las asociaciones.

En la Tabla 7 se presenta el consumo estimado de tanques de frío de diferentes capacidades para un tiempo de funcionamiento de dos horas y quince minutos al día.

Tabla 7. Consumos energéticos para tanques de frío METALPACK.

Modelo	Capacidad Máxima, l	Consumo Total, kWh	Consumo Diario, kWh	Consumo Mes, kWh	Consumo Año, kWh
GL-500 2BII	550	3,5	7,88	236,3	2.874,4
GL- 750 2BII	750	4,3	9,68	290,3	3.531,4
GL- 1000 2BII	1.000	5,0	11,3	337,5	4.106,3
GL- 1200 2BII	1.200	6,0	13,5	405,0	4.927,5
GL- 1500 2BII	1.500	7,5	16,9	506,3	6.159,4
GL- 2000 2BII	2.000	8,4	18,9	567,0	6.898,5
GL- 2500 2BII	2.500	10,0	22,5	675,0	8.212,5
GL- 3000 2BII	3.000	11,5	25,9	776,3	9.444,4

Fuente: Metalpack - Ingeniería. (2013). *Tanque para refrigeración de leche en el trópico*. Disponible en: < <http://www.metalpack.net/tanquesenfriamiento> >

Es importante destacar que según las encuestas realizadas, las asociaciones cuentan con tanques de 1.000, 2.000, 3.000 y 4.000 litros, por lo que la demanda energética no será igual en todas ellas, pero es evidente que incrementa el consumo con cualquiera de los tanques de frío implementados.

Otra conclusión importante que se obtiene de la socialización, es el interés mostrado por la comunidad en un sistema de generación de energía térmica que sustituya el consumo de leña y gas principalmente, en el proceso de cocción de alimentos, en esta ocasión enfocado a las necesidades del sector doméstico de la población del municipio de Cumbal. Hay que recordar de los resultados anteriormente expuestos que el consumo per cápita de leña es de 1,88 kg/día y el promedio de personas por vivienda es de 4,2, obteniendo así un consumo por vivienda de 7,9 kg/día. De lo anterior, se puede establecer el consumo anual por vivienda en 2.882 kg/año para la población en Cumbal.

Por otra parte, es importante enfatizar que a pesar de que las asociaciones se encuentran en una zona interconectada, como lo es el municipio de Cumbal, según la información proporcionada por los presidentes de las asociaciones entrevistados, el servicio de energía eléctrica actual no supe sus necesidades por dos razones principalmente: los costos elevados para la alimentación de los tanques de frío; y la irregularidad en el servicio, lo que implica fallos en el suministro de energía constantemente, siendo necesaria la adquisición y uso de plantas generadoras de electricidad. Las dos causas mencionadas, ocasionan desventajas competitivas en cuanto a los procesos productivos que las asociaciones adelantan.

La información que se presenta de forma preliminar se ampliará y detallará en la etapa posterior de este proyecto, en la cual se realizarán investigaciones respecto al funcionamiento de biodigestores, se visitará las asociaciones del municipio para determinar características mas puntuales de la situación, como por ejemplo; referencias de los tanques de frío existentes y sus características técnicas; condiciones de la energía eléctrica suministrada; constitución legal de las asociaciones para determinar si manejan un esquema empresarial acorde con los objetivos del proyecto, de manera que se pueda mejorarlo si existe o en caso contrario, realizar el acompañamiento para la creación de uno adecuado. Respecto a este último aspecto, se destaca la importancia que implica el hecho de que las asociaciones ya esten constituidas, debido a la dificultad latente que implica la integración de personas en procesos productivos, facilitando la formulación y ejecución del proyecto.

### Proyecciones.

La proyección del crecimiento en la demanda energética del sector lechero, establecida por el consumo de los tanques de frío, se pretende obtener indirectamente con el crecimiento en la producción de leche en el municipio; para ello se utilizan los consolidados agropecuarios del departamento de Nariño de los últimos 5 años. Los datos de la producción lechera en el municipio de Cumbal se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Información de la producción lechera en el municipio de Cumbal desde 2008 hasta 2012.

Año	Tipo Explotación, %			Vacas en ordeño	Producción promedio, l/vaca/día	Total leche, l/día	Crecimiento respecto al año anterior, %
	Leche	Carne	Doble propósito				
2008	100			7.662	6,7	50.952,3	
2009	85	5	10	8.777	9,0	78.993,0	55,03
2010	90	10		12.000	10,5	126.000,0	59,5
2011	90	5	5	10.546	9,7	102.296,2	-18,8
2012	94,1	5,9		11.360	9,7	110.192,0	7,72

Fuente: Gobernación de Nariño. (2008, 2009, 2010, 2011, 2012). *Consolidado agropecuario. Información tomada de las UMATAS y la secretaría de agricultura.*

De la información obtenida no es posible concluir respecto a una tendencia definitiva ya que es muy fluctuante, presentando incluso una disminución de producción en el año 2011. Sin embargo es importante destacar que la producción desde el año inicial hasta el final ha aumentado, lo que indica que la región sigue basando su economía en este sector, de manera que el próximo año es muy probable que siga creciendo la producción de leche en el municipio de Cumbal.

Por lo anterior, para proyectar el crecimiento de la demanda energética se aplica el incremento del 4,4% anual establecido por la (Unidad de planeación minero energética, UPME, 2013). Para establecer una proyección del consumo anual promedio de las asociaciones y teniendo en cuenta la variación en la capacidad de tanques que poseen éstas, se asume realizar la proyección con la

demanda que requiere un tanque de 2.000 l. Según la Tabla 7, una asociación con tanque de 2.000 l tiene un consumo anual de 6.898,5 kWh, por lo que el consumo energético a 2014 se establecería en 7.202 kWh.

Para determinar el crecimiento de la demanda energética por proceso de cocción, y en particular las proyecciones del consumo de leña se tiene en cuenta la proyección de crecimiento poblacional determinada por (DANE, 2013), que para el año 2014 en el municipio de Cumbal corresponde al 1,94% y para el año 2015 corresponde al 1,92%. Aplicando el porcentaje de crecimiento a los 4,2 habitantes por vivienda, se obtiene que para el 2014 serán 4,28 habitantes por vivienda, y teniendo en cuenta el consumo per cápita que es de 1,88 kg/día, se determina que una vivienda consumirá 8,05 kg/día o 2.937 kg/año de leña; repitiendo los cálculos para el año 2015, se tendrán 4,36 habitantes por vivienda, y un consumo de 8,2 kg/día o 2.992 kg/año de leña por vivienda.

### Potencial de biomasa

Por las características pecuarias de la región es importante resaltar la cantidad de biomasa de origen animal que se produce como consecuencia de la actividad productiva predominante en el municipio de Cumbal, la producción de leche, sin descartar otros tipos de biomasa provenientes de otros animales o residuos agrícolas.

Para determinar la cantidad de biomasa debido a la explotación basada en el sector pecuario, se toma como referencia el último consolidado agropecuario correspondiente al año 2012 (Gobernación de Nariño, 2012), que registra toda la producción del departamento en cuanto a cultivos, su variedad y la cantidad de hectáreas sembradas, así como también la cantidad de animales que posee cada municipio, diferenciados por especie, edad y sexo.

En la Tabla 9 se muestra la cantidad de animales bovinos existentes en el municipio de Cumbal de acuerdo al género y edad.

Tabla 9. Cantidad de animales bovinos en el municipio de Cumbal.

Edad	Machos	Hembras	Total
Menores de 12 meses	2.937	4.591	7.528
De 12 a 24 meses	1.199	3.330	4.529
De 24 a 36 meses	280	1.421	1.701
Mayores de 36 meses	91	14.404	14.495
Total de animales			<b>28.253</b>

Fuente: Gobernación de Nariño. (2012). *Consolidado agropecuario 2012. Información tomada de las UMATAS y la secretaría de agricultura.*

Como se muestra en la Figura 4, en el departamento de Nariño la raza predominante es holstein (Grupo de investigación Producción y sanidad animal, línea de genética y mejoramiento animal, Universidad de Nariño, 2009), por lo que las proporciones de estiércol dadas por el peso de cada

animal, se trabajan exclusivamente sobre esta raza. Esta relación de estiércol-peso se presenta en la Tabla 10 (Weiss & St-Pierre, 2009), dónde: la vaca en lactancia es aquella que no está produciendo leche; la vaca de alta producción es aquella que produce leche en cantidades mayores; la vaca seca es aquella que no está produciendo leche y que está en proceso de recuperación; y la vaquillona es una vaca joven que aún no ha tenido crías.

Figura 4. Distribución racial en el trópico alto de ganado bovino en el departamento de Nariño.



Fuente: Grupo de investigación Producción y sanidad animal, línea de genética y mejoramiento animal, Universidad de Nariño. (2009). *Caracterización y evaluación genética de la población bovina lechera del trópico alto de Nariño, para la conformación de núcleos de selección.*

Tabla 10. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de bovinos Holstein.

Tipo de bovino	Peso del cuerpo, kg	Estiércol, kg/día
Vaca en lactancia. Prom	631	68
Vaca de alta producción	590	80
Vaca seca	755	39
Vaquillona, < 1 año	150	12
Vaquillona, > 1 año	440	24

Fuente: Weiss, William P., St-Pierre, Normand. (2009). *Estrategias de alimentación para disminuir la producción de estiércol de vacas lecheras.*

Teniendo en cuenta los datos de las Tablas 9 y 10 se realizan los siguientes análisis: se toman todas las reses incluyendo machos y hembras menores de 12 meses como vaquillonas menores de 1 año; las de 12 a 36 meses como vaquillonas mayores de 1 año; para las mayores de 36 meses se hace un promedio entre las vacas en lactancia, las de alta producción y las secas, a este promedio se lo llama vacas adultas, obteniendo así un estimado del potencial bovino del municipio (PERS Nariño, 2013).

Tabla 11. Total de estiércol producido en el municipio de Cumbal.

Tipo de bovino	Número de animales	Peso del cuerpo, kg	Estiércol, kg/día	Total estiércol, kg/día
Vaquillonas < 1 año	7.528	150	12	90.336
Vaquillonas > 1 año	6.230	440	24	149.520
Vacas adultas. Promedio	14.495	658,6	62,3	903.038,5
Total de animales				<b>1.142.895</b>

Fuente: PERS Nariño. (2013). *Estudio del potencial biomásico y criterios de diseño de biodigestores en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina del departamento de Nariño.*

En cuanto a la biomasa disponible en las asociaciones lecheras, el potencial principal se deberá al ganado bovino, sin embargo, en cuanto al sector doméstico se debe tener en cuenta otros tipos de animales y residuos.

En cuanto a la cantidad de porcinos (cerdos), el municipio de Cumbal cuenta con 21.600 animales de traspatio (Gobernación de Nariño, 2012), es decir, cerdos que no pertenecen a granjas. Los cerdos de traspatio en su mayoría son de levante y finalización, perteneciendo a familias cuyo sustento económico no se basa en la producción de estos, por lo que se encuentran en una cantidad reducida por hogar.

En la Tabla 12 se presenta la producción de estiércol en función de la clasificación de los cerdos.

Tabla 12. Producción de estiércol promedio de diversos tipos de porcinos.

Estado	Peso vivo, kg	Estiércol, kg/día
Hembra reproductora	173	8
Macho reproductor	160	7,38
Precebo	16	1,22
Levante	35	2,19
Finalización	80	5,01

Fuente: Sociedad de agricultores de Colombia. (2002). *Guía ambiental para el subsector porcícola.*

Disponible

en:

<[http://www.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.minambiente.gov.co%2Fdocumentos%2Fporc%25C3%25ADcola.pdf&h=0AQH\\_xuRA](http://www.facebook.com/l.php?u=http%3A%2F%2Fwww.minambiente.gov.co%2Fdocumentos%2Fporc%25C3%25ADcola.pdf&h=0AQH_xuRA)>

Teniendo en cuenta que los cerdos de traspatio corresponden en su mayoría a cerdos de levante y finalización, y su peso oscila entre 35 y 80 kg, se utiliza para determinar el estiércol producido el valor que resulta de promediar la cantidad de estiércol generada en estas dos etapas obteniendo

un valor de 3,6 kg por animal. De lo anterior, se obtiene que el total de estiércol producido por cerdos en el municipio de Cumbal corresponde a 77.760 kg/día (PERS Nariño, 2013).

Siguiendo con el análisis de la cantidad de biomasa producida por la explotación avícola, se determina según el consolidado agropecuario de 2012 que el municipio de Cumbal posee 30.000 aves de traspatio (Gobernación de Nariño, 2012). Según (Iglesias Martínez, 1995) un ave en promedio produce 80 kg de estiércol al año, por lo que la producción diaria sería de 0,223 kg por animal, con esto, se puede determinar que la producción de estiércol, por concepto de aves corresponde a un valor de 6.690 kg/día (PERS Nariño, 2013).

Otras especies animales como cuyes, ovejas, cabras y caballos aportan también a la producción de biomasa, sin embargo, no representan una participación tan significativa por lo que no hay estudios extensos al respecto. En el municipio de Cumbal se cuenta con 500 ejemplares de la especie caballar, 60.000 de la especie cuyicola, 1.500 de la especie ovinos y 30 de la especie caprinos (Gobernación de Nariño, 2012).

Es importante destacar que la contaminación de ríos y acuíferos se produce porque gran parte de las pequeñas porquerizas y lecherías se ubican a la orilla de los ríos y quebradas, ya que es conveniente tener disponibilidad de agua para poder limpiarlas. Si las aguas residuales no tienen un tratamiento adecuado, sus desechos se vierten en ríos y quebradas con la consecuente contaminación de aguas y degradación de tierras. Al lavar un corral con cerdos (8 a 10 animales) o ganado estabulado (5 vacas), se usan aproximadamente 50 l de agua por día (López A. & Solà P., 2008) causando un impacto ambiental negativo, con la contaminación de las principales fuentes abastecedoras de agua potable.

### **Resultados de encuestas**

El biodigestor se presenta como una opción que permite lograr aprovechar de forma adecuada el alto potencial de biomasa con el que cuenta el municipio de Cumbal.

Existen experiencias de implementación de biodigestores en el departamento de Nariño, incluyendo unas pocas en el municipio de Cumbal, se parte de ellas para realizar un análisis acerca de los resultados obtenidos y definir así qué tan factible puede resultar la implementación de estos sistemas en una región con características particulares.

Con la cooperación de Corponariño se logra conformar una base de datos con un total de 170 nombres de usuarios registrados como beneficiarios de la implementación de biodigestores en los años 2007, 2010 y 2013. Con un análisis estadístico sobre esta información se decide realizar un total de 68 visitas para determinar: estado de los biodigestores; características de implementación y de funcionamiento; inconvenientes en su uso; entre otras.

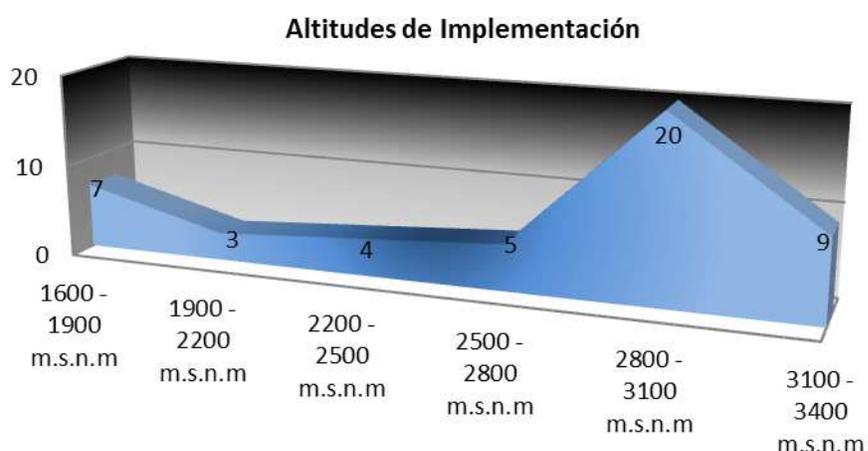
En la ejecución de este proceso se visitaron un total de 72 usuarios distribuidos en los municipios de Monopamba, San Juan, Pupiales, Cumbal y Guachucal, de los cuales se encontró que realmente solo se implementaron una cantidad de 48 biodigestores, indicando una información equívoca

existente en Corponariño. Por la anterior razón, todos los resultados se obtienen teniendo en cuenta las 48 encuestas contestadas completamente.

Los siguientes resultados corresponden a información común obtenida de las encuestas, independientemente del estado de funcionamiento de los biodigestores.

Como se observa en la Figura 5, la mayor cantidad de biodigestores fueron implementados entre los 2800 m.s.n.m y los 3400 m.s.n.m, ubicaciones muy convenientes para la producción lechera.

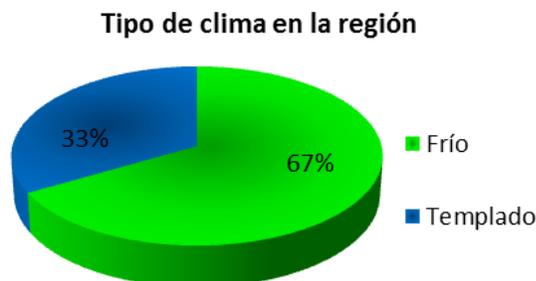
Figura 5. Resultados de encuesta respecto a altitudes de implementación de biodigestores en la Exprovincia de Obando.



Fuente: Esta investigación.

Siendo consecuentes con lo anterior y según criterio de los usuarios, se determina que el tipo de clima corresponde en su mayoría a clima frío y el resto a clima templado como se aprecia en la Figura 6.

Figura 6. Tipo de clima predominante en las regiones encuestadas.

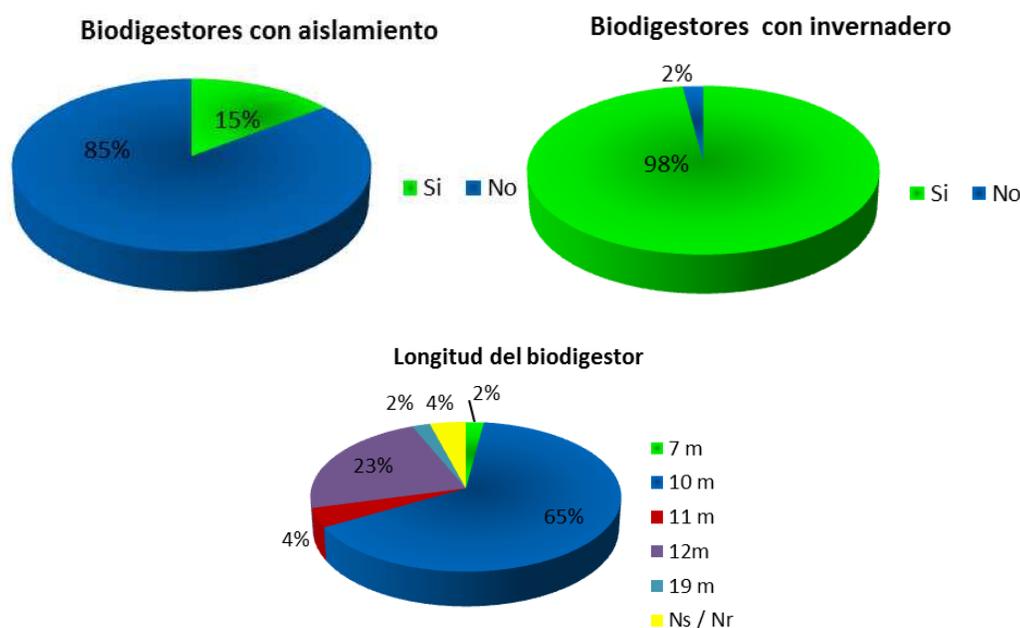


Fuente: Esta investigación.

En cuanto a aspectos constructivos, solo unos cuantos biodigestores fueron implementados con aislamiento, para lo cual se utiliza principalmente plástico, costales de arena y en menor cantidad,

concreto; además, la mayoría de ellos fueron implementados con invernadero de forma triangular o rectangular; por otra parte, las dimensiones de implementación fueron variadas según los resultados obtenidos (Figura 7).

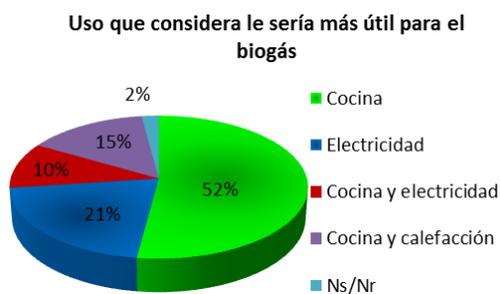
Figura 7. Resultados de encuestas acerca de características de construcción de biodigestores implementados en la Exprovincia de Obando.



Fuente: Esta investigación.

Se aprovecha la oportunidad para conocer la opinión de los usuarios que tienen o tuvieron biodigestor, respecto al uso que consideran más necesario se le debería dar al gas; los resultados se muestran en la Figura 8, donde se observa que la tendencia es a utilizarlo en procesos de cocción quemándolo directamente.

Figura 8. Concepto sobre la utilidad de biogás de los usuarios encuestados.



Fuente: Esta investigación.

Finalmente, se define la cantidad de biodigestores aún en funcionamiento, que corresponde a 14 de los 48 implementados, porcentualmente se exponen en la Figura 9 y su ubicación según municipios se define de la siguiente manera: uno en Monopamba; tres en San Juan; dos en Cumbal; siete en Pupiales; uno en Guachucal.

Figura 9. Resultados de encuestas respecto a biodigestores que permanecen en funcionamiento.

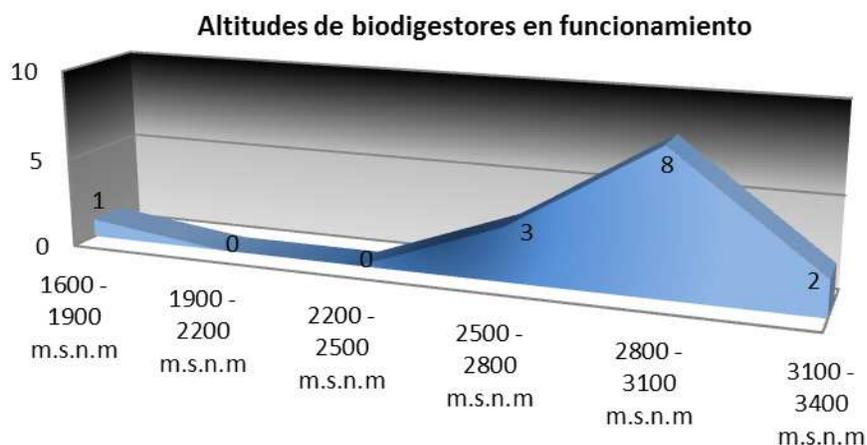


Fuente: Esta investigación.

Con base en el estado de los biodigestores, se establecen una serie de preguntas para los que están en funcionamiento y otras para los que no. A continuación se presentan los resultados de aquellos que aún se encuentran funcionales, tratando de identificar características constructivas, modo de funcionamiento, usos, beneficios e impresiones de sus propietarios.

En cuanto a la altitud de las ubicaciones que se muestran en la Figura 10, se observa una tendencia similar a la información obtenida respecto a la totalidad de los biodigestores, donde la mayoría de ellos se ubican entre los 2800 m.s.n.m y 3400 m.s.n.m.

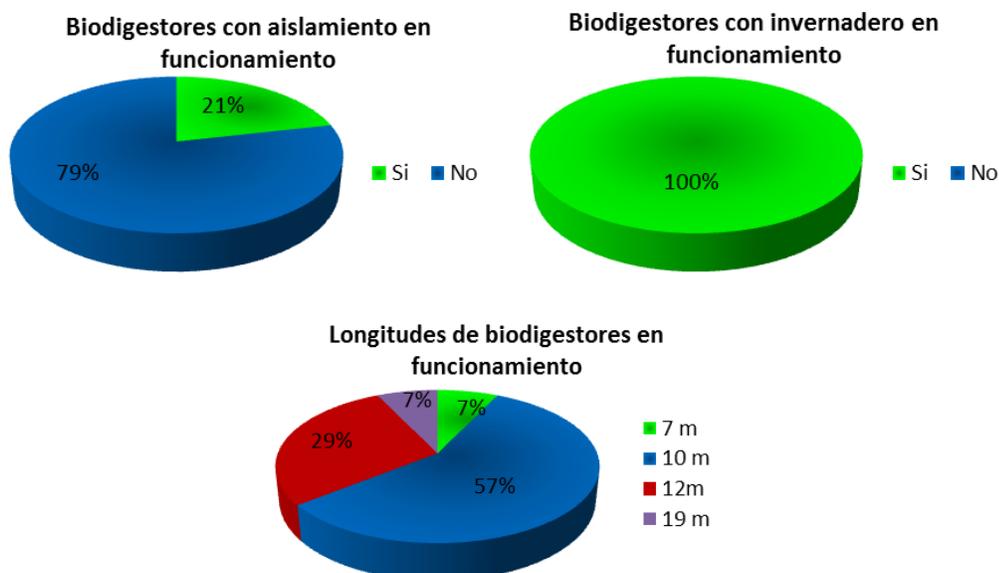
Figura 10. Altitudes de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento.



Fuente: Esta investigación.

En cuanto a las características constructivas, en la Figura 11 se observa que el porcentaje de aquellos que tienen aislamiento e invernadero tiende a subir, indicando que la implementación de estos elementos mejora el funcionamiento de los biodigestores.

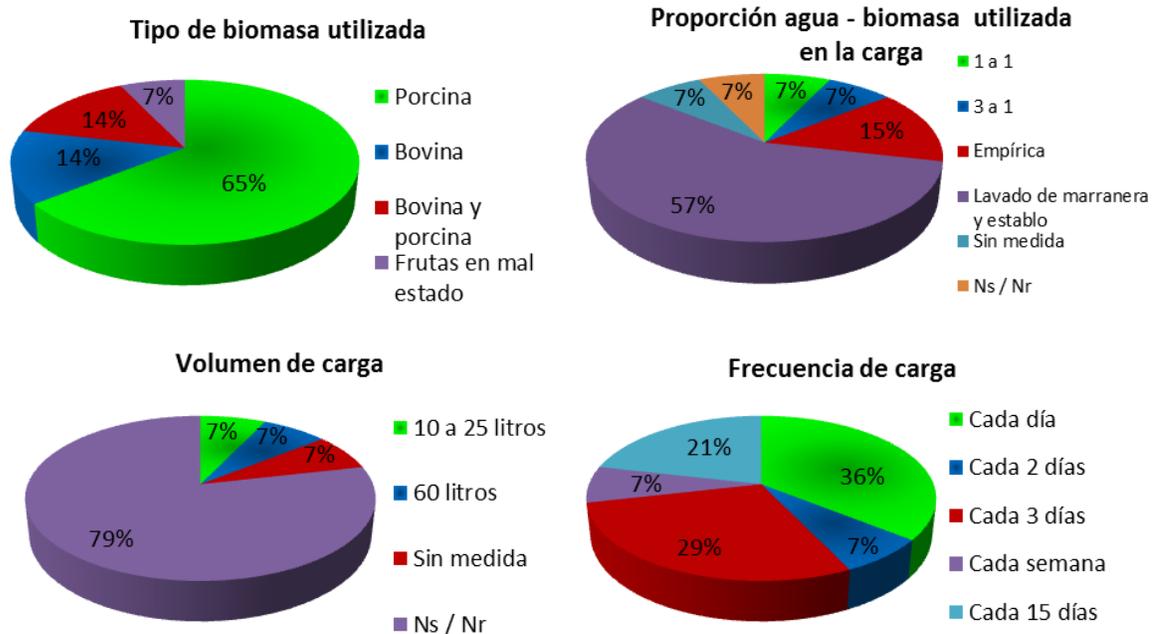
Figura 11. Características de construcción de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento.



Fuente: Esta investigación.

A continuación, en la Figura 12 se muestra los resultados referentes a los procedimientos de carga del biodigestor.

Figura 12. Procedimientos de carga de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento.



Fuente: Esta investigación.

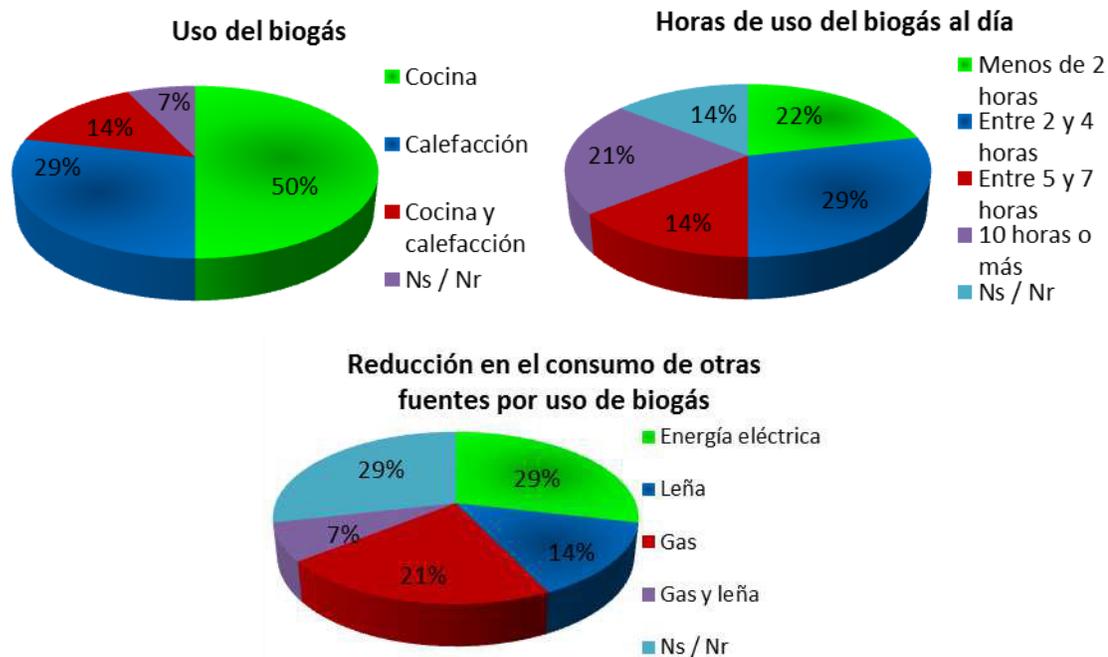
La mayoría porcentual del tipo de biomasa corresponde a excretas porcinas, esto se puede explicar si se tiene en cuenta que los últimos biodigestores fueron implementados para integrantes de la asociación porcicultora en Pupiales, por lo que al ser recientes aún la mayoría se encuentran funcionales.

En cuanto al proceso de carga y en particular a la proporción agua-biomasa y volumen manejados, es evidente la falta de capacitación y seguimiento de una metodología técnica que optimice el funcionamiento del sistema, produciendo un alto grado de desconocimiento con respecto al material que ingresa al biodigestor, lo que es una causa probable en primera instancia, de la disminución de sus beneficios, seguido de su desuso total.

La anterior situación, hace evidente la necesidad de realizar un estudio técnico acerca del tipo de biomasa, la proporción, el volumen y la frecuencia con la que se debe cargar el biodigestor, con las características y parámetros propios del municipio de Cumbal, de manera que los sistemas se trabajen eficientemente acompañando dicho estudio de una capacitación y socialización adecuada respecto a los resultados que en éste se determinen.

Para determinar los beneficios que deja la implementación de un biodigestor se realizan preguntas respecto al biogás y al bioabono producidos, los resultados se muestran en la Figura 13.

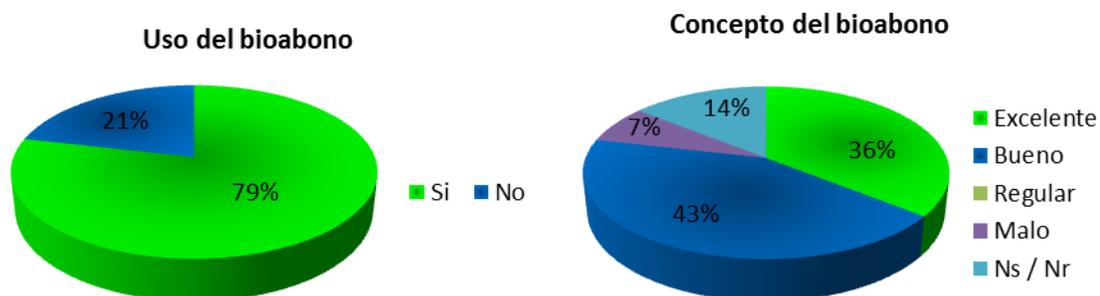
Figura 13. Características del biogás de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento.



Fuente: Esta investigación.

Es importante resaltar que en cuanto a la reducción del consumo de otras fuentes, no se refiere estrictamente a la sustitución total de éstas por biogás, sino que puede representar solo una disminución en su porcentaje de uso. También, es interesante observar que el uso que se le da en la actualidad es únicamente por combustión ya sea para procesos de cocción o calefacción, dejando a un lado la alternativa de generación eléctrica.

Figura 14. Uso y concepto del bioabono de biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento.



Fuente: Esta investigación.

Con respecto a los resultados obtenidos en referencia a la utilización del bioabono, se puede distinguir un concepto favorable de los usuarios que lo han utilizado argumentando beneficios en el crecimiento de sus cultivos, entre los cuales destacan pastos y forraje, papa, haba, zanahoria, uvilla, mora, maíz y tomate. A pesar de la importancia que tiene el conocimiento empírico que no se puede menospreciar, es necesario respaldar los resultados técnicamente mediante estudios realizados sobre este producto, que además serán útiles para mejorarlo hasta llegar a obtener un abono orgánico que pueda cumplir con las normas legales vigentes, y pueda convertirse en una alternativa económica que permita incrementar los ingresos de los propietarios de biodigestores.

Finalmente, se indaga acerca del mantenimiento que se ha debido realizar a los biodigestores durante su tiempo de servicio, resultados que se indican en la Figura 15. Es importante anotar que en la mayoría de los casos no se ha realizado ningún mantenimiento o simplemente se han ejecutado acciones de poda, limpieza y cambio de esponjillas, que cumplen una función de filtro. En cuanto a lo que se refiere a mantenimiento correctivo, se presentaron dos casos que debieron involucrar cambio de componentes, en uno de ellos el plástico que se rompió y en el otro la válvula de salida que se averió.

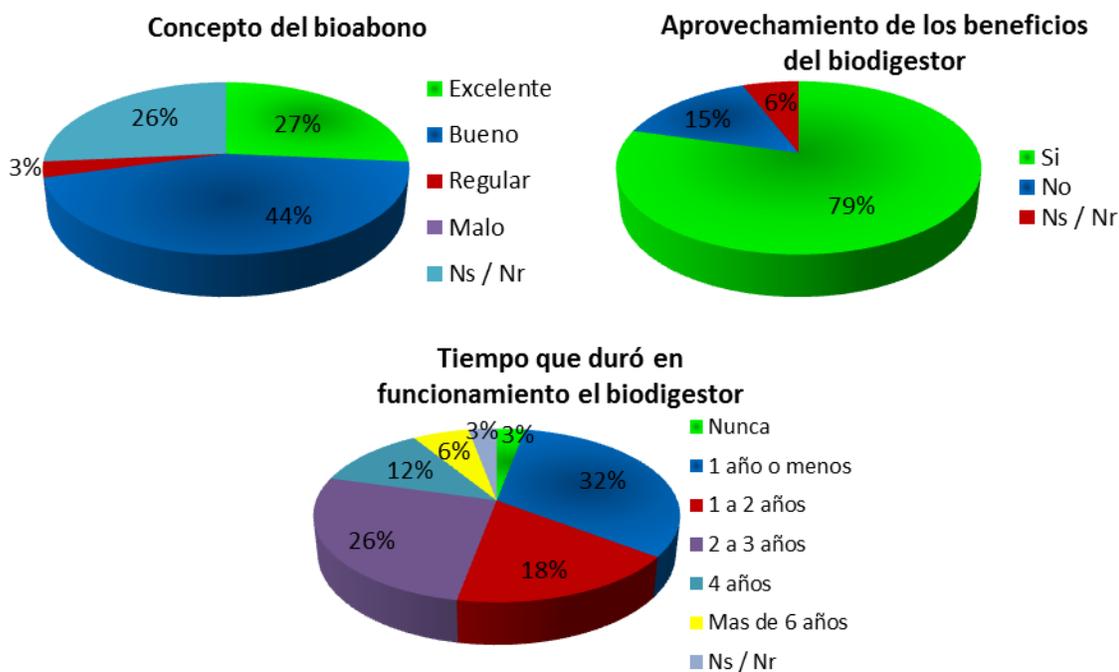
Figura 15. Mantenimiento realizado a biodigestores visitados que permanecen en funcionamiento.



Fuente: Esta investigación.

Continuando con las preguntas realizadas a los propietarios de los 34 biodigestores que se implementaron pero que ya no se encuentran en funcionamiento, se realizan preguntas con el fin de conocer sus conceptos en cuanto al bioabono y al beneficio que obtuvieron del uso de biodigestores, además del tiempo que permanecieron funcionales. Los resultados se presentan en la Figura 16.

Figura 16. Información acerca de biodigestores visitados que ya no están en funcionamiento.



Fuente: Esta investigación.

A pesar de que estos 34 biodigestores ya no están en funcionamiento, el concepto que los usuarios tienen de ellos es bastante favorable tanto en el uso del bioabono como del aprovechamiento de los demás beneficios, en cuanto a gas y manejo de residuos. Entre algunas de las razones por las cuales estos biodigestores no funcionan están: granizada; mal construido; descuido en el manejo; daño del plástico; daño de válvula; ausencia de animales; raíces de los árboles; perforación por ratones; dificultad para acarrear la biomasa.

Como conclusión, se puede afirmar que el concepto es muy favorable respecto a la implementación de biodigestores, siendo los usuarios conscientes de todos los beneficios que aporta no solo a su modo de vida, sino también a la favorabilidad sobre el impacto ambiental. Sin embargo, es necesario realizar estudios para obtener un correcto funcionamiento según las condiciones particulares que se desarrollan en el municipio de Cumbal, ya que es evidente la deficiencia en cuanto a procedimientos y manejo de estos elementos, por falta de capacitación y principalmente de una caracterización adecuada.

Con el objetivo de realizar un acercamiento preliminar al funcionamiento de los biodigestores implementados en la Exprovincia de Obando en lo que se refiere a los productos obtenidos de éstos, biogás y bioabono, se determina realizar unas pruebas técnicas consistentes en: medición de caudal y composición del gas; y análisis microbiológicos y físico-químicos del bioabono.

Para realizar las pruebas de biogás se escogen tres biodigestores de los que aún se encuentran en funcionamiento teniendo en cuenta la información recopilada en las visitas, considerando aspectos como el número de horas de uso del biogás, altitud a la que se encuentra ubicado y diferenciación en el tipo de biomasa utilizada. Los biodigestores escogidos se ubican en el municipio de Pupiales, el tipo de clima se clasifica como frío y en cuanto a su construcción, todos se construyen con invernadero y ninguno con aislamiento, otras de sus características se observan en la Tabla 13. En adelante se referenciará a los biodigestores según su número.

Tabla 13. Características de biodigestores seleccionados para mediciones de biogás.

Biodigestor	Propietario	Altitud, m.s.n.m.	Longitud, m	Biomasa	Carga	Frecuencia de carga	Uso del gas, h/día
<b>No. 1</b>	Magnolia Revelo	2.965	10	5 vacas y 5 cerdos	Lavado de corrales	Cada día	8
<b>No. 2</b>	Luis Pantoja	3.026	19	50 cerdos	Lavado de corrales	Cada 3 días	12
<b>No. 3</b>	Carolina Mora	3.054	12	43 cerdos	Lavado de corrales	Cada día	10

Fuente: Esta investigación.

Debido a la disponibilidad de recursos se midieron datos puntuales del caudal de gas generado. Para medir el caudal se empleó un anemómetro digital en el que se registró la velocidad de salida del biogás; todos los biodigestores analizados disponían de una tubería sumergida en una botella de agua (a manera de un sello hidráulico artesanal) desde donde, luego de burbujear, el biogás

sale al quemador usado para cocinar o para calentar los corrales de los animales (destino tradicional del biogás en las zonas rurales). En todos los biodigestores el diámetro de la tubería es de 0,5 in. También se midió la presión atmosférica dominante con un GPS Garmin Oregon 550T y la temperatura ambiental dominante. Para calcular el caudal se emplea la Ecuación 1.

$$Q = 0,25V\pi D^2 \quad [1]$$

Donde  $V$  es la velocidad registrada en el anemómetro y  $D$  el diámetro de la tubería (para calcular el área de salida). Para calcular el caudal en condiciones normales se empleó la relación de los gases ideales mediante Ecuación 2, a una presión de 101,325 kPa y una temperatura de 298 K.

$$Q_N = \frac{298 \times P \times Q}{101,325 \times T} \quad [2]$$

Donde  $P$  y  $T$  son las temperaturas medidas previamente y  $Q$  el caudal calculado en la Ecuación 1.

También se midió la composición del gas empleando un analizador de gases Geotechnical instrumentos Modelo BM10881. En este equipo se mide la composición de  $CH_4$  (infrarrojo no dispersivo),  $CO_2$  (infrarrojo no dispersivo) y oxígeno (celda electroquímica).

Para calcular el contenido energético de los gases se emplea el valor del poder calorífico ( $P_{Cal}$ ) reportado en la literatura especializada. Se utiliza la Ecuación 3.

$$W_{Cal} = Q \times P_{Cal} \quad [3]$$

La potencia así calculada corresponde al valor del calor liberado por la combustión del biogás que no tiene un tratamiento previo. Suponiendo una eficiencia térmica ( $\kappa$ ) del 25% en la transformación de esta energía en energía eléctrica viene dada por Ecuación 4.

$$W_{EE} = \frac{W_{Cal}}{\kappa} \quad [4]$$

Para calcular la potencia eléctrica generada en el caso de que el metano se purifique se emplea la Ecuación 5, en función de la concentración de metano en el biogás y el poder calorífico del mismo.

$$W_{CH_4} = Q \times C_{CH_4} \times P_{CH_4} \quad [5]$$

Los resultados se resumen en las Tablas 14 a 17, en las que se evalúan los tres biodigestores seleccionados. Desafortunadamente al momento de realizar las pruebas, el biodigestor No. 1 no se encontraba cargado, sin embargo se pudo establecer la composición del gas remanente en éste y la medición de caudal se hizo de forma indirecta; su propietario manifestó que el biogás suministrado dura 8 horas aproximadamente y que en ese tiempo se emplea un calefactor para los animales.

Teniendo en cuenta las medidas del reactor, su geometría y la zona correspondiente al almacenamiento del gas se calcula la cantidad de gas suministrado. Considerando los

procedimientos de uso y el ambiente en el que se emplaza este proceso, se cualifica las condiciones de operación como intermedias.

La Tabla 14 resume los resultados de la composición del biogás en el momento del muestreo.

Tabla 14. Composición del Biogás proveniente de los biodigestores.

Biodigestor	Condición de operación	CH <sub>4</sub> , %	CO <sub>2</sub> , %	O <sub>2</sub> , %	Otros, %
No. 1	Regular	70,7	25,2	0,4	3,7
No. 2	Excelente	63,7	33,8	0,5	2,0
No. 3	Mala	40,4	55,7	0,4	3,5

Fuente: Esta investigación.

Se deduce que las mezclas de la alimentación afectan la cantidad de metano en el biogás y que la cantidad alimentada no influye sobre esta composición. El biodigestor No. 1 es alimentado con una combinación de excretas porcinas y bovinas, mientras que el No. 2 es alimentado exclusivamente con excretas porcinas. Se concluye que las excretas de porcinos favorecen la composición de metano en el biogás.

El caudal aquí reportado corresponde a situaciones particulares y como tal carece de un estudio estadístico que soporte y dé confianza a estos datos. Como aproximación inicial permite obtener conclusiones superficiales sobre el comportamiento operacional de los biodigestores. Para un estudio más detallado se deben considerar variables como la temperatura ambiental y las condiciones de alimentación que, como es típico de las instalaciones rurales, no es uniforme y está sujeta a variabilidad. Los datos se reportan en la Tabla 15.

Tabla 15. Caudal de biogás medido.

Biodigestor	Altura, m.s.n.m.	Temperatura medida, K	Presión barométrica kPa	Velocidad, m/s	Caudal en el sitio, m <sup>3</sup> /h	Caudal normal, Nm <sup>3</sup> /h
<b>No. 1</b>	3.054	290	71,6	N.R.	0,98	0,71
<b>No. 2</b>	3.026	305	71,9	5	2,28	1,58
<b>No. 3</b>	2.965	301	72,1	0,5	0,23	0,16

Fuente: Esta investigación.

Con los resultados de caudal y composición del gas, se realiza una estimación acerca de la energía que se podría producir.

El poder calorífico del biogás es la energía liberada por la combustión de este componente, por lo tanto está relacionada con la cantidad de energía liberada. El poder calorífico del biogás oscila entre 22 a 25 MJ/Nm<sup>3</sup>, mientras el del metano puro es de 35.8 MJ/Nm<sup>3</sup> (Salomon & Silva Lora, 2009). La conversión de biogás a energía eléctrica se da en termo-generadores, que son

maquinaria con una eficiencia en conversión de energía calórica a eléctrica de un valor cercano al 25% (Tsai, 2007).

Los anteriores datos son suficientes para establecer, de manera superflua, la capacidad de producción de energía, donde el cálculo se realiza para diferentes condiciones de operación. Los resultados que se muestran en la Tabla 16 son suponiendo una eficiencia del 25% en la conversión de energía y para bajo poder calorífico y alto poder calorífico.

Tabla 16. Estimaciones preliminares energía eléctrica producida.

Biodigestor	Caudal, Nm <sup>3</sup> /h	Calor estimado (Potencia), kW		Potencia Energía eléctrica, kWh	
		Bajo	Alto	Bajo	Alto
<b>No. 1</b>	0,71	4,3	4,9	1,1	1,2
<b>No. 2</b>	1,58	9,7	11,0	2,4	2,7
<b>No. 3</b>	0,16	1,0	1,1	0,2	0,3

Fuente: Esta investigación.

Por otra parte, empleando el poder calorífico del metano puro, una eficiencia en conversión del 25% y las composiciones de este gas se tiene los resultados consignados en Tabla 17.

Tabla 17. Estimaciones preliminares de energía purificando el biogás.

Biodigestor	Caudal, Nm <sup>3</sup> /h	Biogás		Energía eléctrica (Potencial), kWh
		Concentración de metano, %	Calor potencial, kW	
<b>No. 1</b>	0,71	70,7	5,0	1,2
<b>No. 2</b>	1,58	63,7	10,0	2,5
<b>No. 3</b>	0,16	40,4	0,6	0,2

Fuente: Esta investigación.

El biodigestor No. 2 es el que tiene las mejores condiciones de operación ya que cuando se llevó a cabo esta prueba se encontraba en funcionamiento pleno lo que influyó en que el caudal calculado sea el mayor de todos. La composición del biogás, aunque más baja que la composición del biodigestor No. 1 tiene valores similares.

En cuanto al biodigestor No.1, se observa una composición excelente en cuanto al porcentaje de metano, sin embargo, el caudal es bajo debido a la irregularidad en el proceso de carga.

A pesar de que el biodigestor No. 3 tiene una alimentación permanente, esta no se realiza adecuadamente ya que algunos sólidos del lavado de los corrales se separan, por lo que gran parte de la carga orgánica se pierde; además la corriente de orina es mezclada, lo que afecta el

funcionamiento normal del proceso, en consecuencia el flujo es bastante bajo y su composición de metano es la menor de las composiciones evaluadas.

De este análisis se puede concluir que la falta de procedimientos de uso definidos según las características particulares de la región, hacen que los resultados obtenidos sean aleatorios, en ocasiones bastante buenos pero en otras no muy satisfactorios. Sin embargo, el potencial observado en algunas experiencias confirma la viabilidad de esta alternativa, que trabajada técnicamente puede generar muchos beneficios a la población y al medio ambiente.

Con los resultados de las encuestas acerca del concepto de los usuarios respecto a la calidad del bioabono, se determina importante realizar estudios técnicos de ésta para obtener una caracterización preliminar del producto; para esto se realizan dos tipos de pruebas: físico-químicas y microbiológicas.

Las pruebas se realizan sobre tres biodigestores, dos de los cuales ya se mencionaron con anterioridad, el del señor Luis Pantoja y el de la señora Magnolia Revelo, y adicional a éstos, el del señor Fidel Chalparizan, ya que se tenía información acerca de que este usuario enfocaba su interés en la producción de bioabono, descartando la opción de utilizar el biogás.

En cuanto a las ubicaciones, dos de los biodigestores se encuentran en el municipio de Pupiales, el tercero se encuentra en el municipio de Cumbal; algunas características a considerar son que el clima se clasifica como frío en las localizaciones de todos, los tres usuarios califican el bioabono como excelente. En la Tabla 18 se presentan otras características de estos biodigestores.

Tabla 18. Características de biodigestores seleccionados para análisis de bioabono.

Biodigestor	Propietario	Altitud, m.s.n.m.	Longitud, m	Biomasa	Carga	Frecuencia de carga	Uso del bioabono
No.1	Magnolia Revelo	2.965	10	5 vacas y 5 cerdos	Lavado de corrales	Cada día	Pasto
No.2	Luis Pantoja	3.026	19	50 cerdos	Lavado de corrales	Cada 3 días	Pasto
No.3	Fidel Chalparizan	3.398	10	1 cerdo	Sin medida	Cada 15 días o cada mes	Pasto, papa, árboles

Fuente: Esta investigación.

Para realizar los estudios físico-químicos se tomaron muestras de los tres biodigestores y se llevaron a los laboratorios especializados de la Universidad de Nariño, donde se solicitaron los análisis de nitrógeno, fósforo y potasio. La metodología para realizar dichos análisis se describe a continuación.

Las diferentes muestras se analizaron de acuerdo con los procedimientos descritos para el análisis químico de abonos líquidos del laboratorio de bromatología de la Universidad de Nariño, basado en las técnicas de la Association of Official Analytical Chemists, AOAC (AOAC, 2012).

Cabe resaltar que para el aseguramiento de la calidad de los resultados obtenidos mediante las diferentes técnicas se procedió de la siguiente manera:

- se verificó por duplicado una muestra por cada cinco muestras en el lote de muestras analizadas;
- se incluyó un blanco de reactivos por cada lote de muestras analizadas, cuando fue necesario;
- se corrió por cada lote de muestras analizado, una muestra de referencia de control interno.

La determinación de nitrógeno se realizó mediante el método de Kjeldahl, utilizando una unidad de digestión y una destilación Kjeldahl. El método se basa en la descomposición de los compuestos nitrogenados de la muestra con ácido sulfúrico concentrado en caliente, en presencia de un catalizador, formándose sulfato de amonio, el cual en exceso de hidróxido de sodio libera amoníaco que se destila y se absorbe en una disolución de concentración conocida de ácido bórico. El destilado se titula con ácido sulfúrico para determinar el amoníaco absorbido por el ácido bórico.

En la digestión, se midieron aproximadamente 2 mL de muestra. Se agregaron 2 g de mezcla catalítica seguidos de 5 mL de ácido sulfúrico concentrado y se llevó a digestión en un digestor de nitrógeno Gerhardt hasta que el líquido quedó totalmente claro y de un color azul verdoso. Se retiró el balón del digestor y se dejó enfriar.

En la destilación, se transfirió el contenido del balón Kjeldahl al destilador y se adicionaron aproximadamente 20 mL de hidróxido de sodio al 40 % hasta neutralizar la solución. En el terminal de salida del equipo de destilación se colocó un erlenmeyer con 5 mL de ácido bórico al 4 % y 3 gotas de indicador mixto, de tal manera que el terminal quedó inmerso en el líquido. La destilación de hidróxido de amonio se realizó durante un tiempo aproximado de 6 minutos, comprobando que se ha terminado el proceso con papel indicador de pH.

En la titulación, el destilado obtenido se tituló con ácido sulfúrico 0,1 N, utilizando un titulador eléctrico Metrohm hasta cambio de color de azul a rosado y se anotó el volumen de ácido sulfúrico gastado.

La determinación de minerales (P, K) consta de dos etapas principales: i) la digestión de la materia orgánica de la muestra por oxidación húmeda y ii) la determinación del elemento espectrofotométricamente.

- Digestión por vía húmeda

Se midieron aproximadamente 10 mL de muestra. Se adicionó 3 mL de ácido nítrico y se sometió a calentamiento a baja temperatura (150 °C) durante 40 minutos. Se dejó enfriar durante 6 minutos. En seguida se agregó 2 mL de ácido perclórico y se continuó el calentamiento a alta temperatura (220 °C) durante una hora hasta la aparición de humos blancos y la obtención de un líquido incoloro. Se dejó enfriar y se agregó 1 mL de ácido clorhídrico 6 N. Posteriormente se adicionaron 20 mL de agua tipo III y se filtró sobre un balón aforado de 50 mL (Extracto). Se corrió simultáneamente un blanco de proceso.

- Determinación de fósforo mediante el método del ácido ascórbico

En un tubo de ensayo se adicionaron 9 mL de la solución coloreadora de fósforo, que contiene 25 mL de una solución patrón A (molibdato de amonio, tartrato de antimonio y potasio y ácido sulfúrico) y 10 mL de una solución patrón B de ácido ascórbico aforados a 1 L de solución. En seguida se agregó 1 mL del extracto diluido (1 a 20) y se agitó. Después de 15 minutos se leyeron las absorbancias a una longitud de onda de 660 nm, en el espectrofotómetro Perkin Elmer Lambda 11.

A su vez se adicionaron en tubos de ensayo 9 mL de la solución coloreadora y 1 mL de los patrones de 0, 1, 2, 4, 5, 6, 8 y 10 mg/L de fósforo y se siguió el mismo procedimiento de análisis descrito para las muestras. Se corrió simultáneamente un blanco preparado con 9 mL de solución coloreadora y 1 mL de agua tipo III.

Para realizar los cálculos, se construyó la curva patrón de fósforo, graficando Concentración vs Absorbancia. Se interpolaron las absorbancias obtenidas para las diferentes muestras en la curva patrón y se determinó la concentración de fósforo en mg/L.

- Determinación espectrofotométrica de potasio

Se adicionaron 0,25 mL del Extracto en un balón aforado de 100 mL y se aforó con agua tipo III. Se prepararon patrones de 0,5, 1 y 2 mg/L de potasio y un blanco con 1 mL de HCl 6 N aforado a 100 mL de solución con agua tipo III. Posteriormente, usando la llama aire – acetileno y los estándares de potasio, se leyeron en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 2380 las concentraciones de potasio en los extractos diluidos, a una longitud de onda de 766,5 nm.

Finalmente, los resultados se presentan en el Anexo 4 y se resumen en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de los análisis físico químicos.

Biodigestor	Nitrógeno, g/l	Fósforo, g/l	Potasio, g/l	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , g/l	K <sub>2</sub> O, g/l	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +K <sub>2</sub> O+N, g/l
<b>No.1</b>	0,78	0,1	1,58	0,24	1,91	2,92
<b>No.2</b>	2,89	2,97	1,62	6,80	1,95	11,6
<b>No.3</b>	1,03	0,22	1,14	0,50	1,37	2,90

Fuente: Esta investigación.

Según la norma NTC 5167 (Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, 2011) referente a los productos usados como abonos, los valores mínimos de los parámetros analizados deben ser: 15 g/l para el fósforo soluble ( $P_2O_5$ ); 15 g/l para el potasio soluble ( $K_2O$ ); y 40 g/l para la sumatoria de todos los elementos, en este caso  $P_2O_5+K_2O+N$ .

Al comparar los resultados con la norma, en ninguno de los tres casos se alcanza los valores mínimos, sin embargo, es importante resaltar que la deficiencia en el conocimiento de las proporciones, el volumen y la frecuencia de carga por parte de los propietarios se refleja en los resultados tan variables que se obtuvieron, indicando que la ausencia de procedimientos técnicos para la operación de biodigestores es la causa principal de la minimización del rendimiento en los productos obtenidos, no solo para el bioabono sino también para el biogás como ya se estableció anteriormente.

Cabe anotar, que los resultados también demuestran, que si se trabajara adecuadamente con los biodigestores y si se tuviera una metodología para la producción de abono orgánico, sería posible potencializar este producto para generar una alternativa empresarial muy prometedora.

Otro aspecto fundamental en el análisis de bioabono hace referencia a los efectos que éste puede producir en la salud humana, por lo tanto se realizan pruebas microbiológicas sobre las mismas muestras seleccionadas, en particular se solicitan análisis de salmonella, coliformes, mesófilos, hongos y levaduras. Los resultados se presentan en el Anexo 4 y se resumen en la Tabla 20.

Tabla 20. Resultados de los análisis microbiológicos.

Biodigestor	Coliformes Totales, No Bacterias/g	Coliformes Fecales, No Bacterias/g	Mesófilos, UFC	Recuento de hongo y levaduras, UFC	Salmonella/25g Pos / Neg
<b>No.1</b>	≥ 2.400	7	7.250.000	73.000	Negativo
<b>No.2</b>	1.100	11	7.000.000	568.000	Negativo
<b>No.3</b>	15	15	47.000	64.000	Negativo

Fuente: Esta investigación.

Según la norma NTC 5167 (Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC, 2011) referente a los productos usados como abonos, los coliformes totales deben ser menores que 1.000 bacterias/g y la salmonella/25g debe ser negativa. Con respecto a los resultados obtenidos, se puede observar que todos cumplen con la norma en relación a la salmonella, sin embargo, en cuanto a los coliformes totales solo uno de los biodigestores cumple la norma demostrando una vez más la variabilidad de los resultados en función del erróneo manejo que se les está dando por falta de estudios técnicos bien fundamentados.

## 3.2. Marco de Referencia

### 3.2.1. Contribución a la Política Pública

Los productos directos y los efectos primarios y secundarios de la implementación de biodigestores para el sector lechero y el sector doméstico en el municipio de Cumbal, contribuye de manera positiva a algunos de los ejes estratégicos de los planes de desarrollo de la nación, del departamento y del municipio.

En el sector lechero:

El uso de biodigestores en este sector, para la generación de energía eléctrica y su posterior uso en la refrigeración de la leche producida manteniendo los tanques de frío existentes en las asociaciones, le da un valor agregado al producto haciendo más competitivas a las asociaciones beneficiadas por el proyecto. Esto se ve reflejado en un incremento de sus ingresos y la expansión de su sector, contribuyendo al plan de desarrollo del departamento en el eje estratégico Nariño Productivo y Competitivo, en el programa Desarrollo Productivo; además del tercer componente del Plan Nacional de Desarrollo 2010-2014, Prosperidad para todos, correspondiente al Crecimiento Sostenible y Competitividad.

En el sector doméstico:

Este sector hace uso de fuentes de energía contaminantes y no renovables en sus necesidades de procesamiento de alimentos en la cocina, como leña y GLP, lo que impacta negativamente al medio ambiente propiciando la tala de bosques y la liberación de gases tóxicos al medio ambiente por la combustión de la madera.

El biogás producido por los biodigestores es una alternativa amigable con el medio ambiente que puede usarse para las labores domésticas diarias, tanto en la cocina como para sistemas de calefacción de los hogares y de animales de granja. Todo esto aporta esfuerzos al Plan de Desarrollo Departamental en su eje estratégico: Nariño solidario, incluyente y generador de condiciones para el bien vivir. Además propicia la protección del medio ambiente protegiendo los bosques y por tanto las fuentes hídricas, estando acorde con el apartado de sostenibilidad de la biodiversidad y de los recursos naturales del eje estratégico Nariño Sostenible del Plan de Desarrollo Departamental.

Beneficios del bioabono:

El abono que resulta de los procesos del biodigestor, es un producto de muy buena calidad que puede ser usado para el cultivo de productos orgánicos, para comercializarse o para fertilizar los pastos en el sector lechero.

El uso del bioabono es una alternativa al uso de fertilizantes químicos, evitando así los problemas de salud que estos fertilizantes puedan producir. También puede ser usado para mantener un

buen pasto en el sector lechero, lo que influye directamente en una mejor producción de leche y un ahorro en la compra de otro tipo de fertilizantes, además de evitar, como ya se mencionó anteriormente, la utilización de fertilizantes que puedan afectar la salud tanto de los animales, como del ser humano.

El fomento del bioabono en la producción de alimentos y pastos aportan al Plan de Desarrollo Departamental en su eje estratégico: Nariño solidario, incluyente y generador de condiciones para el bien vivir, en su sección de salud para el bien vivir. Es posible realizar un post-proceso del bioabono para su comercialización, lo que le convierte en una fuente de ingresos para las personas de municipio de Cumbal, aportando así al eje estratégico Nariño Sostenible del Plan de Desarrollo Departamental.

Efectos Conjuntos de ambos sectores:

La implementación y puesta en marcha de biodigestores (independientemente de su uso para la generación de energía eléctrica, calefacción, cocina o para producción de bioabono), tiene la ventaja de mitigar la contaminación ambiental producida por la emisión de metano del estiércol dejado al aire libre, evitando así posibles enfermedades respiratorias y contribuyendo a la mejora del medio ambiente; todo esto acorde con el componente de Sostenibilidad Ambiental y Prevención del Riesgo del Plan Nacional de Desarrollo.

### 3.2.2. Antecedentes

A continuación se destacan algunos proyectos recopilados en la base de datos de Proyectos energéticos renovables no convencionales de América Latina (PERS Nariño, 2013) acerca de proyectos de implementación de biodigestores para generación de energía eléctrica y producción de biogás; el objetivo es tener información de proyectos realizados en países con similares condiciones económicas, culturales, políticas, sociales y ambientales en el sector rural.

- Generación eléctrica proveniente de biogás de una granja de cerdos (Costa Rica).

El proyecto se desarrolló en Costa Rica a 3.819 m.s.n.m. El biogás se utiliza para la generación de 60 kW de energía eléctrica para suplir las necesidades de la finca SERMIDE, localizada a 35 km al este de San José, en la comunidad de Agenjal del distrito de Santiago, cantón de Paraíso, provincia de Cartago, Costa Rica.

La energía se utiliza para energizar la planta de alimento de la granja, así como las bombas de lavado. El abono es utilizado en las plantaciones de caña, huertas y árboles de la finca.

El volumen útil del biodigestor es de 692m<sup>3</sup> y el volumen del gas es de 498m<sup>3</sup>, el biodigestor está en funcionamiento durante 8 horas al día usando el estiércol proveniente de 4.000 cerdos, correspondiente a 10.079 kg de estiércol al día.

Se reportan los siguientes puntos a tener en cuenta durante el desarrollo de proyectos de biodigestores:

- Las características del suelo donde se instalará el biodigestor son de gran importancia para prevenir imprevistos durante el movimiento de tierras.
- Los taludes deben tener un buen acabado para evitar posibles daños de la geomembrana.
- El clima es un factor determinante en la colocación de la geomembrana, la construcción de este tipo de proyectos debe programarse en la época de verano para evitar tiempos muertos durante la instalación de este material durante las horas de lluvia.
- En el lapso de instalación de la planta generadora es indispensable colocar el quemador para eliminar diariamente el biogás y así evitar sobrepresiones en la cubierta y escapes de biogás a la atmósfera.
- Las tuberías del sistema de agitación y de recolección de biogás dentro del biodigestor deben de colocarse manera que no dañen la cubierta.

- Generación de electricidad y abono orgánico a partir de la digestión anaeróbica de las excretas de varias lecherías (Costa Rica).

El proyecto se desarrolló en las fincas lecheras Robago, El Carmen, La Lima y Cerro Grande con una capacidad total de 130 kW de energía eléctrica en total. El biogás se obtiene de excretas bovinas mediante la implementación de 4 biodigestores. Se produce 163 m<sup>3</sup> de metano por día en total con el tratamiento de 3.474 kg de estiércol, impactando positivamente el medio ambiente.

El proyecto produjo impactos tanto a nivel económico como ambiental. Además se produce 3.867 m<sup>3</sup> de bio-fertilizante por año que es utilizado para mejorar la calidad de los pastos.

- Proyecto de biogás en áreas rurales de Bolivia (Bolivia).

El proyecto incluye la implementación de biodigestores para utilización del biogás en la cocina a una altura de 4.000 m.s.n.m. y temperaturas de hasta -10 °C. El proyecto busca reducir la contaminación por los desechos tanto animales como humanos.

- Aprovechamiento de energía térmica y abono orgánico por medio de un biodigestor en la finca agro-turística de Carlos Vargas (Costa Rica).

Para este proyecto se construyó un biodigestor de flujo continuo con capacidad para producir 21 m<sup>3</sup> de biogás diarios con el tratamiento de 456 kg de estiércol al día. El biogás se utiliza para sustituir el diésel utilizado en la caldera y así producir 600 kWh/mes de energía eléctrica. Se incorporó el fertilizante orgánico fermentado en el biodigestor a las 60 ha de pasto de la finca mediante un programa de fertilización basado en los contenidos del mismo efluente.

- Generación de energía eléctrica y bioabono utilizando los desechos producidos en la matanza de aves de la planta de proceso de avícola campestre S.A. de C.V. y excretas de ganado bovino de agropecuaria la laguna (El Salvador).

Para este proyecto se implementó un biodigestor de 6.640,55 m<sup>3</sup> de volumen a una altura de 2.800 m.s.n.m., capaz de producir 4.570 kg de bioabono al mes y 1.750 m<sup>3</sup> de biogás, siendo alimentado con las aguas residuales producidas en la matanza de pollos combinada con las aguas de la granja bovina de agropecuaria la Laguna.

Se diseñó el biodigestor en forma de trapecio invertido para la generación de 80 a 120 kW con el 70 % del metano generado. Además se utiliza el efluente proveniente del biodigestor como agua de riego cumpliendo con los límites establecidos en las normas vigentes del país. Con el proyecto se logró reducir el consumo energético de la planta en un 68 % además de la reducción de emisión de 282,18 t de GEI (gases de efecto invernadero) al año.

- Generación de electricidad y abono orgánico por medio de un biodigestor en la finca lechera los Ayotes en Tilaran (Costa Rica).

El biodigestor con capacidad de 279 m<sup>3</sup> se construyó a una altura de 564 m.s.n.m. para la generación de 45 kW de energía eléctrica con la producción de 27 m<sup>3</sup> de biogás. La energía producida por el sistema de generación sería utilizada para los equipos de los procesos internos de la lechería. La potencia generada es capaz de cubrir las necesidades de un ordeño diario (1,5 horas), lo que conlleva a un ahorro del 50% en la facturación eléctrica.

- Minicentral Bioeléctrica Miralvalle (El Salvador).

En este proyecto se reporta el desarrollo técnico de un biodigestor con una capacidad de 170 m<sup>3</sup>. Cuenta con un sistema de bombeo para alimentar el biodigestor y para la mezcla y agitación de los lodos. Se aspira a tratar un promedio anual de 1.825 m<sup>3</sup> de estiércol, con lo que esperan reducir el impacto que éste tiene sobre el ambiente. Se espera generar 15 kW de potencia a través de un generador alimentado con el biogás producido, para obtener un total de energía de 40 kWh al día, la cual alimentara los equipos de riego, bombeo e iluminación de la finca.

### 3.2.3. Estado del Arte

La Asociación Española de Normalización y certificación (AENOR) utiliza la definición de la especificación técnica Europea CEN/TS 14488 para catalogar la biomasa como: “Todo material de origen biológico excluyendo aquellos que han sido englobados en formaciones geológicas sufriendo un proceso de mineralización”. Entre estos últimos estarían el carbón, el petróleo y el gas natural (Castells, 2012).

Por otra parte, según el manual de energía renovable (Users Network BUN-CA, 2002) el término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de

maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). Esta es la fuente de energía renovable más antigua conocida por el ser humano, pues ha sido usada desde que nuestros ancestros descubrieron el secreto del fuego.

Existen diferentes tipos de biomasa dependiendo de la fuente que los produce, los cuales pueden ser utilizados para suministrar energía a una instalación. Entre las clasificaciones más aceptadas se encuentran las que se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Tipos de biomasa.

Tipo de biomasa	Descripción
<b>Biomasa natural</b>	Es la que se produce espontáneamente en la naturaleza sin ningún tipo de intervención humana. Los recursos generados en las podas naturales de un bosque constituyen un ejemplo de este tipo de biomasa. La utilización de estos recursos requiere de la gestión de su adquisición y transporte hasta la empresa lo que puede provocar que su uso sea inviable económicamente.
<b>Biomasa residual seca</b>	Se incluyen en este grupo los subproductos sólidos no utilizados en las actividades agrícolas, en las forestales y en los procesos de las industrias agroalimentarias y de transformación de la madera y que, por tanto, son considerados residuos. Este es el grupo que en la actualidad presenta un mayor interés desde el punto de vista del aprovechamiento industrial. Algunos ejemplos de este tipo de biomasa son la cáscara de almendra, el orujillo, las podas de frutales, el serrín, etc.
<b>Biomasa residual húmeda</b>	Son los vertidos denominados biodegradables: las aguas residuales urbanas e industriales y los residuos ganaderos (principalmente purines).
<b>Cultivos energéticos</b>	Son cultivos realizados con la única finalidad de producir biomasa transformable en combustible. Algunos ejemplos son el cardo ( <i>cynara cardunculus</i> ), el girasol cuando se destina a la producción de biocarburantes, el miscanto, etc.
<b>Biocarburantes</b>	Aunque su origen se encuentra en la transformación tanto de la biomasa residual húmeda (por ejemplo reciclado de aceites) como de la biomasa residual seca rica en azúcares (trigo, maíz, etc.) o en los cultivos energéticos (colza, girasol, patata, etc.), por sus especiales características y usos finales este tipo de biomasa exige una clasificación distinta de las anteriores.

Fuente: Nogués, Fernando S., Royo, Javier . (2002). *Ciclo energías renovables jornadas de biomasa*.

### Características energéticas de la biomasa.

Según (Nogués & Royo H., 2002) en muchas ocasiones, la biomasa se elimina por ser molesta para la instalación que la produce porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante, basta recordar que considerando que, por término medio, un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 kcal y que un litro de gasolina tiene aproximadamente 10.000 kcal, por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina.

Habitualmente, el contenido energético de la biomasa se mide en función del poder calorífico del recurso, aunque para algunos de ellos, como es el caso de la biomasa residual húmeda o de los biocarburantes, se determina en función del poder calorífico del producto energético obtenido en su tratamiento. La Tabla 22 recoge el poder calorífico superior y el poder calorífico inferior a distintos contenidos de humedad de algunos de los recursos de biomasa más habituales.

Tabla 22. Poder calorífico de la biomasa.

Producto	P.C.I. a humedad X, kJ/kg					
	X	P.C.I	X	P.C.I	X	P.C.I.
Leñas y ramas	0	19.353	20	15.006	40	10.659
Serrines y virutas	0	19.069	15	15.842	35	11.537
Orujillo de oliva	0	18.839	15	15.800	35	11.746
Cascara de almendra	0	18.559	10	16.469	15	15.424
Cortezas						
Coníferas	0	19.437	20	15.257	40	11.077
Fronosas	0	18.225	20	14.087	40	9.948
Poda de frutales	0	17.890	20	13.836	40	9.781
Paja de cereales	0	17.138	10	15.173	20	13.209
	30	11.286	-	-	-	-
Vid						
Sarmientos	0	17.765	20	13.710	40	9.656
Ramilla de uva	0	17.263	25	12.331	50	7.399
Orujo de uva	0	18.894	15	13.43	50	8.193

Fuente: Nogués, Fernando S., Royo, Javier . (2002). *Ciclo energías renovables jornadas de biomasa.*

Por otra parte, como no se puede llevar a cabo la combustión directa de la biomasa residual húmeda, su contenido energético puede determinarse en función del que posee el biogás obtenido de su digestión anaerobia. La cantidad de biogás generado y su contenido energético dependen de las características del sustrato tratado y de la tecnología empleada, en la Tabla 23 se muestra el potencial energético medio de algunos recursos.

Tabla 23. Potencial energético de biomasa.

Sustrato	Cantidad de gas a 30°C en 1/kg de residuo seco	Contenido en metano, %	P.C.I, kcal/m <sup>3</sup> N de biogás
Estiércol con paja	286	75	6.100
Excremento de vaca	237	80	6.500
Excremento de cerdo	257	81	6.600
Agua residual urbana	100(por m <sup>3</sup> de agua tratado)	65	5.300

Fuente: Nogués, Fernando S., Royo, Javier . (2002). *Ciclo energías renovables jornadas de biomasa.*

### Aplicaciones energéticas de la biomasa.

Existen varias aplicaciones de la biomasa que dependen de varios factores, como por ejemplo, las necesidades de energía que esta tiene que suplir, o la escala en la cual se encuentre, entre estas aplicaciones tenemos las siguientes (Nogués & Royo H., 2002).

- Generación de energía térmica: El sistema más extendido para este tipo de aprovechamiento está basado en la combustión de biomasa sólida, aunque también es posible quemar el biogás procedente de la digestión anaerobia de un residuo líquido o el gas de síntesis generado en la gasificación de uno sólido.
- Generación de energía eléctrica: En función del tipo y cantidad de biomasa disponible, varía la tecnología más adecuada a emplear para este fin:

*Ciclo de vapor:* está basado en la combustión de biomasa, a partir de la cual se genera vapor que es posteriormente expandido en una turbina de vapor.

*Turbina de gas:* utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido. Si los gases de escape de la turbina se aprovechan en un ciclo de vapor se habla de un “ciclo combinado”.

*Motor alternativo:* utiliza gas de síntesis procedente de la gasificación de un recurso sólido o biogás procedente de una digestión anaerobia.

- Cogeneración: Cuando una entidad presenta consumos térmicos y eléctricos importantes se puede plantear la instalación de un sistema de cogeneración, consistente en la producción conjunta de energía térmica y eléctrica. Esta tecnología presenta como gran ventaja la consecución de rendimientos superiores a los sistemas de producción de energía térmica o eléctrica por separado.

Aunque cada caso debe ser estudiado en detalle, en general, la cogeneración es adecuada para empresas con consumos de energía eléctrica importantes, con un factor de utilización elevado (más de 5.000 h/año) y donde sea posible aprovechar energía térmica a temperatura media (alrededor de 400-500 °C).

Un sistema de cogeneración basado en la utilización de biomasa permite disminuir el coste de la factura, tanto la eléctrica (existiendo la posibilidad añadida de venta del excedente de electricidad) como la de combustibles fósiles.

- **Generación de energía mecánica:** Los biocarburantes pueden ser empleados en los motores alternativos de automóviles, camiones, autobuses, etc., sustituyendo total o parcialmente a los combustibles fósiles. La utilización de biocarburantes es especialmente interesante en industrias agrarias que dispongan de una adecuada materia prima para su producción (aceites reciclados, colza, girasol, maíz, trigo, patata, etc.) y que puedan auto consumirlos (por ejemplo en tractores), llegando suponer importantes ahorros en la factura de los combustibles.

### **Biodigestor**

El biodigestor es un tanque cerrado, de cualquier forma, tamaño y material (Corona Zúñiga, 2007), el cual optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias anaerobias que descomponen y tratan los residuos dejando como subproducto gas combustible o biogás y un efluente líquido rico en nutrientes y materia orgánica estabilizada.

Basados en limitaciones externas como inversión, eficiencia del tratamiento, rendimiento de la energía neta y rendimiento de las operaciones, el rango de las tecnologías disponibles varía desde los sistemas muy rudimentarios hasta los más sofisticados tanto a escala doméstica como a escala comercial. La elección de cual digestor utilizar, está condicionada inicialmente por la temperatura y las características del sistema de manejo de residuos existente o que se planea instalar el cual determina el método de carga del digestor (Unidad de planeación minero energética UPME, 2003).

#### **- Temperatura**

La temperatura es uno de los principales factores que afectan el crecimiento de las bacterias responsables de la producción de biogás. La producción de biogás puede ocurrir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de temperatura de 4 °C a 68 °C. A medida que la temperatura aumenta, la tasa de producción de gas también se incrementa, y por ende disminuye el tiempo de retención de la materia orgánica dentro del digestor. En algunos casos se hace necesario implementar un sistema de calor suplementario para mejorar el rendimiento del proceso.

#### **- Método de carga**

El no cargar un digestor por una semana puede conducir a una pérdida en la producción de biogás. Más importante aún es que el cargar el digestor en intervalos irregulares puede interrumpir el proceso biológico y causar que el sistema trabaje ineficientemente o hasta detenerlo completamente. Por lo tanto, muchos digestores son diseñados para ser cargados diariamente. Con cargas continuas y descargas de material del sistema, las bacterias trabajan eficientemente y se procesan grandes cantidades de residuos.

La recolección diaria de residuos es también eficiente en términos de conservar los valores de nutrientes del residuo y preservar su potencial de producción de gas. Cualquier descomposición de material orgánico fuera del digestor reducirá la producción de biogás, por lo tanto, es mejor cargar residuos frescos al digestor. Si no se recolectan diariamente residuos, debe considerarse la opción de convertirse a esta práctica.

- PH

El pH de la materia prima indica si el proceso de digestión se lleva a cabo en condiciones adecuadas. Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, permiten un rango de variación entre 6 y 8 unidades de pH, teniendo como óptimo un pH de 7 a 7,2.

### Biogás

El biogás es un combustible natural, el cual se forma en un proceso biológico llamado digestión anaerobia, que degrada la materia orgánica en una serie de productos gaseosos (metano y dióxido de carbono fundamentalmente).

Tabla 24. Composición del biogás.

Gas	Porcentaje
Metano	50 al 70%
Dióxido de carbono	30 al 50%
Sulfuro de hidrógeno	1%
Hidrógeno	2%

Fuente: Marañón, Elena, et al. (1998). *Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias. Problemática y tratamiento.*

El poder calorífico del biogás es aproximadamente de 5.250 kcal/m<sup>3</sup> para una riqueza en metano del 60%. Esta propiedad permite el aprovechamiento del biogás como una fuente de energía. Como dato comparativo, en la Tabla 25 se presenta la equivalencia de 1 m<sup>3</sup> con el 70% de metano respecto a los combustibles más convencionales.

Tabla 25. Equivalencia de 1 m<sup>3</sup> de biogás con el 70% de metano respecto a otros combustibles.

Combustible	Equivalencia
Gas natural	0,6 m <sup>3</sup>
Gasolina	0,8 l
Gasóleo	0,71 l
Energía eléctrica	7 kWh
Propano	0,3 m <sup>3</sup>
Butano	0,2 m <sup>3</sup>

Fuente: Marañón, Elena, et al. (1998). *Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias. Problemática y tratamiento.*

### Efluente

A continuación se expone información referente al efluente recopilada en el documento Producción de abono orgánico y biogás mediante biodigestión anaeróbica de lodos activos (Rivera Toro, 2010). En el pasado los biodigestores fueron considerados principalmente como una manera de producir gas combustible a partir de materia orgánica de desecho, pero debido a la creciente importancia del uso sostenible de los recursos naturales en los sistemas agrícolas, hoy se aprecia el papel de los biodigestores en una perspectiva mucho más amplia, y específicamente, por su aplicación potencial para el reciclaje de los nutrientes de los cultivos. Esto puede contribuir en la reducción de la dependencia de los fertilizantes sintéticos y hacer más fácil el cultivar orgánicamente.

Por otra parte, el proceso anaeróbico y el largo tiempo transcurrido dentro del biodigestor, eliminan a la mayoría de organismos, incluso a los parásitos intestinales que pueden causar enfermedades. De esta manera, la materia orgánica introducida es mejorada química y biológicamente a partir del proceso de fermentación. Los cambios que ocurren en el sustrato durante el proceso de digestión han recibido relativamente poca atención y la preocupación principal se ha centrado en los temas de salud y medio ambiente. Recientemente, se ha empezado a prestar más cuidado al valor del efluente como fertilizante.

Durante el proceso de digestión anaeróbica dentro del biodigestor, el carbono es el único elemento que es emitido en cantidades considerables bajo condiciones normales. Otros nutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K) se mantienen en iguales cantidades, pero salen en una mayor concentración en el efluente, dado que el estiércol ha sido digerido dentro del biodigestor y se ha reducido su volumen. Por tanto, la misma cantidad anual de macronutrientes que ingresa al sistema es la que sale del biodigestor a través de su tubo de salida.

El biodigestor mejora la capacidad fertilizante del material a fermentar ya que todos los nutrientes tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio así como los elementos menores son conservados en el efluente. En el caso del nitrógeno, buena parte del mismo, presente en forma

de macromoléculas es convertido a formas más simples como amonio ( $\text{NH}_4$ ), las cuales pueden ser aprovechadas directamente por los vegetales. Además, el efluente por su presentación casi líquida, permite un fácil manejo en sistemas de riego. Su uso ha sido probado en varios países y en diferentes cultivos, reportando incrementos en las cosechas y mejoramientos en las propiedades del suelo.

### **Generador eléctrico a partir de biogás**

Según (Coto & Maldonado, 2005) el biogás puede usarse para producir electricidad por medio de muchos sistemas; pero algunos sistemas son ineficientes como es el caso de las lámparas de biogás. Para aprovechar de una mejor manera la energía térmica, es más eficiente el uso de generadores de energía eléctrica. Se ha comprobado que con  $0,75 \text{ m}^3$  de biogás/kWh se pueden encender 25 bombillos de 40 W, mientras que usando esos mismos  $0,75 \text{ m}^3$  de biogás en lámparas de biogás sólo pueden encender 7 de estas.

El mismo autor, expone además que el biogás se puede usar para reemplazar la gasolina o el combustible diesel en motores de combustión interna. En motores de gasolina el reemplazo puede ser total, mientras que en motores diesel sólo se puede alcanzar un máximo del 80%, esto se debe a que este tipo de motor carece de una bujía, la cual genera la chispa para que suceda la explosión dentro de la cámara de combustión; los métodos de adaptación de motores al uso del biogás se deben hacer para proteger y aumentar la eficiencia del motor.

### **Conservación de la leche.**

Según (Herrera Chávez, 2012) el objetivo de una explotación lechera es obtener la máxima cantidad de leche posible, con el menor costo y con la máxima calidad. La leche es un alimento perecedero, fácilmente contaminable y, por tanto, su calidad puede deteriorarse con enorme rapidez si no se disponen los medios adecuados. Por ello, la conservación de la leche en la granja tiene como objetivo principal *inhibir el crecimiento microbiano*. El mejor sistema, y prácticamente el único, de almacenar y conservar la leche en la granja desde el ordeño hasta la recogida por la industria láctea, consiste en enfriarla a una temperatura suficientemente baja y durante un tiempo limitado. La eficacia del enfriamiento para mantener la calidad de la leche depende de factores como (Herrera Chávez, 2012):

- Temperatura de conservación

Enfriar la leche a una temperatura entre 3 y 4 °C retarda el crecimiento de los gérmenes. Según el decreto 616 de 2006 (Ministerio de la protección social, 2013) la leche debe refrigerarse a 4 °C +/- 2 °C inmediatamente después del ordeño o entregarse a las plantas de enfriamiento o procesamiento en el menor tiempo posible, garantizando la conservación e inocuidad; una temperatura inferior a 3 °C puede dar lugar a fenómenos de congelación que deben ser evitados, pues pueden alterar la composición y calidad de la leche.

- Duración del almacenamiento

Independientemente de la temperatura a que se conserve la leche, cuanto más largo es el período de almacenamiento mayor es el crecimiento bacteriano. Según el decreto 616 de 2006 (Ministerio de la protección social, 2013) la leche debe transportarse a las plantas de procesamiento antes de 48 horas.

- Contaminación inicial

El número de gérmenes que ya están presentes en la leche cuando empieza el enfriamiento es un factor que tiene gran importancia para obtener buenos resultados. Para obtener una leche de buena calidad bacteriológica no basta con enfriarla y mantenerla fría, sino que también hay que realizar todo el proceso del ordeño y el almacenamiento con una higiene rigurosa, por lo que los malos resultados en calidad no son necesariamente debidos a un mal funcionamiento del tanque refrigerante.

- Velocidad de enfriamiento

La velocidad del enfriamiento inicial de la leche es otro de los factores que influyen en el número total de gérmenes, ya que no es lo mismo un enfriamiento prácticamente instantáneo que uno de mayor duración.

La Tabla 26 muestra la evolución del contenido de gérmenes en la leche durante un período de almacenamiento de 72 horas, en funciones de la contaminación inicial y la temperatura de conservación.

Tabla 26. Evolución del contenido de gérmenes en la leche cruda.

Condiciones de producción	Temperatura de almacenamiento, °C	Recién ordeñado	Recuento estándar por microorganismos		
			24 H	48 H	72 H
Vacas y equipos de ordeño limpio	4,4	4.295	4.138	4.566	8.427
	10	4.295	13.961	127.727	5.725.277
	15,5	4.295	1.587.333	33.011.111	236.500.000
Vacas y equipos de ordeño poco limpio	4,4	136.533	281.646	538.775	749.030
	10	136.533	1.170.546	13.662.115	25.687.541
	15,5	136.533	24.573.571	639.884.615	2.407.033.333

Fuente: Callejo Ramos, Antonio. (2009). *Ordeño mecánico*. Disponible en: <  
[http://ocw.upm.es/produccion-animal/ordeno-mecanico/Tema\\_5\\_Refrigeracion\\_de\\_la\\_leche/tema\\_05-\\_refrigeracion\\_de\\_la\\_leche\\_en\\_granja.pdf](http://ocw.upm.es/produccion-animal/ordeno-mecanico/Tema_5_Refrigeracion_de_la_leche/tema_05-_refrigeracion_de_la_leche_en_granja.pdf) >

Durante unas dos horas después del ordeño el crecimiento de las bacterias es muy lento (fase bacteriostática), para ir posteriormente aumentando de forma rápida. Por ello, hay que aprovechar este período para enfriar la leche hasta la temperatura de conservación.

## **Equipo para el enfriamiento de la leche.**

El tanque refrigerante es el sistema que se utiliza en la mayoría de las granjas para enfriar y almacenar la leche. Estos tanques están formados principalmente por una cuba de acero inoxidable, forrada de aislamiento térmico, con el evaporador directamente acoplado al fondo, y un equipo frigorífico con sus correspondientes controles y automatismos (Herrera Chávez, 2012). Según (Callejo Ramos, 2009) existen una serie de elementos y características de los tanques frigoríficos que, por su importancia, se podrían denominar críticos, puesto que de ellos depende en gran medida que se conserve o se deteriore la calidad de la leche que se almacena y conserva en ellos. Entre ellos se pueden citar:

El agitador debe estar perfectamente diseñado y construido, con una velocidad de rotación bien estudiada para evitar que se produzcan salpicaduras y espuma, que aumentan la superficie de contacto de la leche con el aire, puesto que la tensión superficial en la zona de contacto entre el aire y la leche produce rotura de las membranas de los glóbulos de la grasa, que queda en libertad, aumentando el riesgo de lipólisis.

Sobre la capacidad del equipo frigorífico en cuanto a la velocidad de enfriamiento de la leche que debe alcanzar, no sólo hay que tener en cuenta la potencia del compresor, dato que en muchas ocasiones se toma como único parámetro para evaluarla, sino que hay que tener en cuenta que un equipo es un conjunto de tres elementos: compresor, evaporador y condensador, que son los que realmente influyen y condicionan la capacidad del equipo. Si estos tres elementos no están perfectamente equilibrados y acoplados entre sí, se puede dar el caso, como ocurre frecuentemente, que el período de enfriamiento sea excesivamente largo o de que la temperatura de evaporación del agente refrigerante sea excesivamente baja. Si esto último sucede, las superficies del evaporador que están en contacto con la leche pueden llegar a estar a varios grados bajo cero, fenómeno que se produce en tanques mal diseñados, formándose hielo en las capas inferiores de la leche que están en contacto con el evaporador. En estos casos hay destrucción de caseínas y rotura de la membrana de los glóbulos grasos, con las consecuencias que ya conocemos.

Finalmente, el aislamiento es otro elemento de gran importancia porque de él dependen las pérdidas de frío que se produzcan, que afectan al tiempo de funcionamiento del equipo frigorífico durante el enfriamiento y conservación de la leche. Si el aislamiento no es correcto, las pérdidas serán excesivas, prolongándose en la misma medida los tiempos de enfriamiento, con los inconvenientes apuntados, además de que durante el período de conservación habrá demasiadas fluctuaciones de la temperatura de la leche, que obliga a que funcione el equipo con demasiada frecuencia.

Tanto en estos casos como en los que se sobredimensionan los compresores por defecto de capacidad de los evaporadores, se produce un funcionamiento excesivamente prolongado de los equipos frigoríficos, con un considerable aumento en el consumo de energía eléctrica.

## **Abono orgánico.**

Según (Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación SAGARPA) los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas pueden obtener importantes cantidades de nutrientes; el suelo con la descomposición de estos abonos se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas.

- Efecto de los abonos orgánicos sobre las características físicas y químicas del suelo.

Los abonos orgánicos influyen favorablemente sobre las características físicas del suelo, estas características son: estructura, porosidad, aireación, capacidad de retención de agua, infiltración, conductividad hidráulica y estabilidad de agregados.

Un aumento en la porosidad aumenta la capacidad del suelo para retener el agua incrementando simultáneamente la velocidad de infiltración de esa misma agua en el suelo.

La composición química de los abonos orgánicos por supuesto varía de acuerdo al origen de estos. Las plantas, los residuos de cosecha, los estiércoles, entre otros, difieren gradualmente en cuanto a los elementos que contienen. Las características químicas del suelo que cambian por efectos de la aplicación de abonos orgánicos son obviamente el contenido de materia orgánica; derivado de esta aumenta el porcentaje de nitrógeno total, la capacidad de intercambio de cationes, el PH y la concentración de sales, la última podría ser perjudicial para el desarrollo de plantas sensibles a ciertos niveles de algunos compuestos en particular.

- Efectos de los abonos orgánicos sobre las características biológicas del suelo

Se debe a que los estiércoles contienen grandes cantidades de compuestos de fácil descomposición, cuya adición casi siempre resulta en un incremento de la actividad biológica. Los microorganismos influyen en muchas propiedades del suelo y también ejercen efectos directos en el crecimiento de las plantas.

En la mayoría de los casos, el resultado del incremento de la actividad biológica, repercute en el mejoramiento de la estructura del suelo por efecto de la agregación que los productos de la descomposición ejercen sobre las partículas del suelo; las condiciones de fertilidad aumentan lo cual hace que el suelo tenga la capacidad de sostener un cultivo rentable. Asimismo se logra tener un medio biológicamente activo, en donde existe una correlación positiva entre el número de microorganismos y el contenido de materia orgánica del suelo.

- Efectos de los abonos orgánicos en la inhibición de los patógenos del suelo

Los abonos orgánicos pueden prevenir y controlar la presencia y severidad de las enfermedades del suelo, su acción se basa en los siguientes puntos:

- Incremento de la capacidad biológica del suelo para amortiguar los patógenos.

- Reducción del número de patógenos por la competencia que se establece con los microorganismos no patógenos del suelo.
- Aumento en el contenido de nitrógeno amoniacal en el proceso de mineralización del abono orgánico.
- Incremento de la capacidad de los hospedantes para provocar rechazo hacia los patógenos.

Los mecanismos por los que los abonos orgánicos inhiben a los patógenos del suelo y enfermedades radiculares involucran: a) la germinación y propagación de los fitopatógenos, b) la competencia por nutrientes, c) la producción de compuestos tóxicos volátiles y no volátiles, d) la modificación del ambiente del suelo, e) la interferencia con la diseminación del inoculo y f) el estímulo de agentes de control biológico (antagonistas, parásitos y depredadores).

Al aplicar materiales orgánicos (estiércoles, abonos verdes, compostas, etc) al suelo, se promueve el crecimiento de raíces y la absorción de nutrientes con repercusión en el rendimiento. La diversidad de la microflora en o alrededor de las raíces en estos cultivos aumenta y se correlaciona negativamente con la incidencia de enfermedades radiculares de las plantas, por efecto de un aumento de microbiostasis en la rizósfera.

#### - Respuesta de los cultivos al uso de abonos orgánicos

La mayoría de los cultivos muestra una clara respuesta a la aplicación de los abonos orgánicos, de manera más evidente bajo condiciones de temporal y en suelos sometidos al cultivo de manera tradicional y prolongada. No en vano, los abonos orgánicos están considerados universales por el hecho que aportan casi todos los nutrientes que las plantas necesitan para su desarrollo. Es cierto que, en comparación con los fertilizantes químicos, contiene bajas cantidades de nutrientes; sin embargo, la disponibilidad de dichos elementos es más constante durante el desarrollo del cultivo por la mineralización gradual a que están sometidos.

En los ensayos tradicionales de la aplicación de abonos orgánicos, siempre se han reportado respuestas superiores con estos, que con la aplicación de fertilizantes químicos que aporten cantidades equivalentes de nitrógeno y fosforo, éste es, en resumen el efecto conjunto de factores favorables que proporcionan los abonos orgánicos al suelo directamente y de manera indirecta a los cultivos.

Los abonos orgánicos deben considerarse como la mejor opción para la sostenibilidad del recurso suelo; su uso ha permitido aumentar la producción y la obtención de productos agrícolas orgánicos; esto es, ha apoyado al desarrollo de la agricultura orgánica que se considera como un sistema de producción agrícola orientado a la producción de alimentos de alta calidad nutritiva sin el uso de insumos de síntesis comercial. Los productos obtenidos bajo este sistema de agricultura consideran un sobreprecio por su mejor calidad nutritiva e inexistencia de contaminantes nocivos para la salud.

## DISEÑO PRELIMINAR DE UN BIODIGESTOR

A continuación, se presentan unas condiciones generales para el diseño preliminar de un biodigestor desarrollado en el documento Estudio del potencial biomásico y criterios de diseño de biodigestores en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina del departamento de Nariño (PERS Nariño, 2013). Para el diseño del biodigestor se debe tener en cuenta que exista el potencial de biomasa requerido para su funcionamiento. Para su implementación se inicia identificando el sitio donde se va a situar cumpliendo con unas características específicas: Debe ubicarse cerca de la vivienda, en un sitio perfectamente nivelado, teniendo en cuenta que los rayos del sol sean permanentes durante todo el día, esto para permitir que el biodigestor aproveche al máximo el sistema de energía solar pasivo, se recomienda que el biodigestor se ubique en un nivel más bajo que la construcción de la vivienda, esto es debido a que el gas no tiene presión y éste se desplaza con mayor facilidad de abajo hacia arriba.

Existen varios tipos de biodigestores pero los que más se amoldan a la región por su fácil implementación y mantenimiento son los tubulares de geomembrana de PVC y de polietileno, los cuales actúan en forma similar según estudios realizados por (Pedraza, Chará, Conde, Giraldo, & Giraldo, 2001), la gran diferencia radica en los costos de los materiales, siendo el de geomembrana de PVC el más costoso pero más resistente a los daños externos, su escogencia radicaría en la disponibilidad presupuestal del usuario.

Figura 17. Adecuación del plástico.

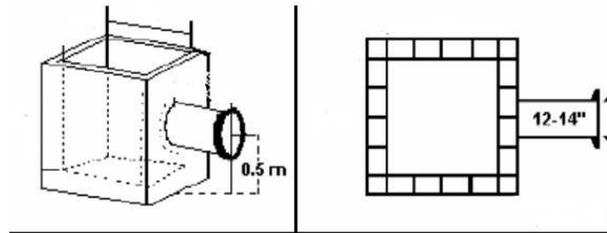


Fuente: Castillos, Ana. (S.F.). *BIOGAS construcción y funcionamiento de biodigestores plásticos de flujo continuo.*

Una vez identificado el sitio donde se ubicará el biodigestor se procede a construir su base la cual debe tener un 5% de desnivel dependiendo de sus medidas, esta se construye casi siempre cavando una fosa en la tierra, sin embargo, es recomendable utilizar un buen aislamiento para evitar agresiones en el plástico. Un material adecuado es el concreto que le brinda mayor resistencia a las paredes de la base, además se debe construir también las cámaras de carga y descarga las cuales deben tener un desnivel siendo más alta la de salida con respecto a la de

entrada, esto porque el material que ha sido digerido se vuelve más denso y sale con más facilidad, este material se llama efluente.

Figura 18. Cámaras carga-descarga.



Fuente: Alcaldía de Sutatenza Boyacá. (S.F). *Cartilla biodigestores*. Disponible en: <  
[http://www.sutatenza-boyaca.gov.co/apc-aa-files/34323332663534623464383035653533/CARTILLA\\_T\\_CNICA\\_BIODIGESTOR\\_1\\_.pdf](http://www.sutatenza-boyaca.gov.co/apc-aa-files/34323332663534623464383035653533/CARTILLA_T_CNICA_BIODIGESTOR_1_.pdf)>

Las dimensiones de la base se calcularán dependiendo de las necesidades y potencial de biomasa disponible, sin embargo se deben considerar medidas superiores a los 10 m x 1 m ya que medidas inferiores a estas no producen gas suficiente para suplir las necesidades de un hogar o un equipo generador, y se debe tener en cuenta que el contenido de mezcla en el plástico es de 75% y del gas es de 25%. Las dimensiones de las cámaras dependen de las de la base

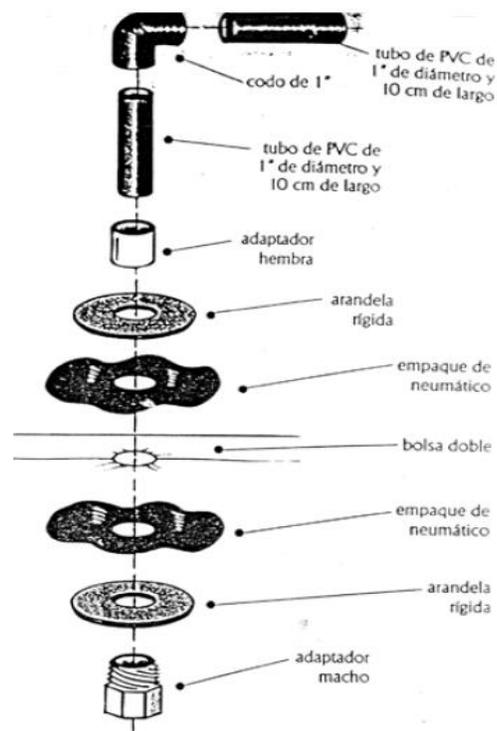
Figura 19. Base del biodigestor.



Fuente: Castillos, Ana. (S.F.). *BIOGAS construcción y funcionamiento de biodigestores plásticos de flujo continuo*.

Sobre la parte superior de la bolsa de plástico y en el centro de la misma, se coloca la válvula de salida de gas, siendo necesario reforzar el plástico en esa área con una goma de cámara de neumático donde se realiza un corte de 1" y se coloca la platina de tanque por dentro de la bolsa doble (si es de polietileno), y se rodea con un trozo de cámara de neumático. La platina se une al resto de los accesorios por un rebose para plastiducto o cupla de PVC.

Figura 20. Detalle del armado de la válvula de salida de biogás.

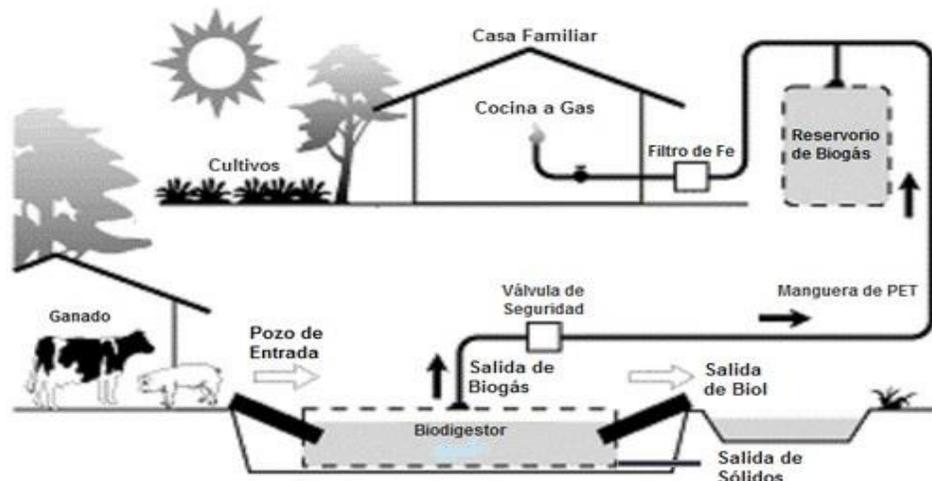


Fuente: Castillos, Ana. (S.F.). *BIOGAS construcción y funcionamiento de biodigestores plásticos de flujo continuo*.

Una vez lista la base y el plástico se procede a acoplarlo, seguidamente se amarran los extremos del plástico a la tubería que se encuentra en las cámaras. Para la conducción del gas se coloca tubería PVC de  $\frac{1}{2}$  pulgada las cuales van conectadas a la válvula de salida del gas. En el trayecto de la conducción es necesario instalar una válvula de seguridad que permita evacuar la sobrecarga de biogás. Esta se construye utilizando una T de PVC de  $\frac{1}{2}$  pulgada, una botella plástica con orificio y un tramo corto de manguera que va introducida en la botella que contiene agua y que permite dar salida cuando hay demasiada presión del biogás, esta es una protección que deben tener todos los biodigestores, sin embargo no se debe dejar escapar gas metano a la superficie ya que es muy contaminante por lo que es necesario diseñar un sistema de electroválvula el cual permita evacuar el gas cuando hay presión asegurándose de quemarlo para reducir su efecto contaminante.

Antes de llegar al destino final se coloca un reservorio para el gas el cual puede ser implementado con el mismo material del biodigestor, uno de los lados del reservorio se cierra con una goma de cámara de auto o bicicleta, y al otro extremo se le coloca una "T" de PVC y se cierra con la misma goma.

Figura 21. Esquema de un biodigestor.



Fuente: Jarabo, Francisco. (2000). *Energías renovables*.

El biogás está compuesto en su mayor parte por gas combustible metano, y también por otros gases que son tóxicos y corrosivos, por tal razón se debe diseñar un sistema que filtre estos gases antes del proceso de combustión. Para lograr lo anterior, se coloca una Y sanitaria en la línea de conducción del biogás, en su interior tendrá limalla de hierro como material filtrante. Este tipo de filtro es por reacción química, la limalla al entrar en contacto con el  $H_2S$  produce una reacción que oxida el hierro pasando el biogás totalmente pero quedándose el ácido sulfhídrico.

Figura 22. Limalla de hierro, Y sanitaria.



Fuente: Calero, Diego A., Nacimba, Christian R. (2011). *Generación de gas metano a partir de desechos orgánicos y aplicación en un motor de combustión interna para generación de energía eléctrica*.

### Invernadero

Teniendo en cuenta que la zona hacia dónde va dirigido el proyecto tiene temperaturas que oscilan entre los 8 y 10°C se debe construir un invernadero que recubra al biodigestor por completo, evitando dejar espacios abiertos que permitan el intercambio de aire con el exterior.

El invernadero se recubre con polietileno de baja densidad al que se le han incorporado aditivos que aumentan, por un lado, su resistencia a la foto-degradación (filtros de la radiación ultravioleta) y por otro su termicidad (absorbentes de la radiación infrarroja media). La termicidad es la propiedad de un material de retener la radiación.

### Carga del biodigestor

Antes de cargar por primera vez el biodigestor se debe primero llenarlo de aire o mediante el escape de un motor, con el fin de detectar posibles fugas por daños en el material o mal acoplamiento de los implementos, luego se la llena con agua para que salga el aire o humo. El llenado debe ser hasta un 75% de del volumen del biodigestor, volumen que luego ocupará la biomasa, teniendo en cuenta que la primera carga se hará con este mismo volumen.

Para las mezclas de la biomasa se deben tener en cuenta varios aspectos, entre los cuales se resaltan: Relación Carbono/Nitrógeno y cantidad de humedad. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1 por lo anterior, la mezcla que se ingresa al biodigestor debería ser de diferentes tipos de biomasa y teniendo en cuenta que en la región objeto de estudio el mayor potencial de biomasa proviene de excretas de animales, se muestra a continuación algunas relaciones C/N.

Tabla 27. Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno de algunos residuos disponibles en el medio rural.

Residuos animales	% C	% N	C/N
Bovinos	30	1,30	25:1
Equinos	40	0,80	50:1
Ovinos	35	1,00	35:1
Porcinos	25	1,50	16:1
Caprinos	40	1,00	40:1

Fuente: Vamero, María T. (2011). *Manual de biogás*.

De la Tabla 27 se puede decir que una buena combinación sería equinos con porcinos, sin embargo se pueden hacer muchas combinaciones según las proporciones que se utilice. La carga debe hacerse diariamente, la dilución de la biomasa con las excretas por lo general se la hace a 1:3 o 1:2 una parte de estiércol por tres o dos partes de agua y la cantidad dependerá del tamaño del biodigestor.

### PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

Este ítem comprende el conjunto de programas, proyectos y actividades, necesarios para prevenir, mitigar, corregir y compensar los impactos generados por el proyecto durante las diferentes

etapas. A continuación se mencionan para cada impacto identificado, lo que debe formularse como mínimo en un programa y/o proyecto como medida de manejo para su siguiente fase.

El PMA será presentado en fichas en las cuales se deberá precisar como mínimo: objetivos, metas, etapa, impactos a controlar, tipo de medida, acciones a desarrollar, lugar de aplicación, población beneficiada, mecanismos y estrategias participativas, personal requerido, indicadores de seguimiento (cualificables y cuantificables) y monitoreo, responsable de la ejecución, cronograma y presupuesto.

Se sugiere como mínimo contemplar, en caso de que apliquen, para el manejo de los impactos identificados los siguientes programas para cada uno de los medios:

#### **- Medio Abiótico**

Tener en cuenta los siguientes programas:

- De conservación y restauración de la estabilidad geotécnica.
- De Manejo y disposición de materiales sobrantes.
- Manejo de taludes.
- De atención y protección de sitios críticos, sensibles o vulnerables durante la operación del proyecto, en la franja de protección del embalse.
- De restauración en las zonas de uso temporal (campamentos, accesos transitorios).
- De manejo del recurso hídrico
- De manejo paisajístico.
- De manejo de áreas de préstamo lateral.
- De manejo de materiales de construcción.
- De manejo de residuos líquidos.
- De manejo de áreas de disposición final de residuos sólidos domésticos, industriales y peligrosos.
- De manejo de captaciones.
- De manejo de fuentes de emisiones y ruido

En caso de presentarse impactos que no se puedan prevenir, mitigar o corregir, se deberá proponer programas encaminados a subsanar los efectos causados.

#### **- Medio Biótico**

Tener en cuenta los siguientes programas:

- Programa de manejo Flora.
- Considerando: Remoción de cobertura vegetal y descapote, manejo y conservación de la capa superior del suelo (capa vegetal) con fines de restauración de áreas afectadas, manejo y disposición del material removido.
- Programa de conservación, restauración y compensación de la cobertura vegetal considerando actividades tales como: revegetalización, empradización y manejo de las sucesiones naturales en el contexto local, de forma que se garantice la minimización del efecto de fragmentación de los ecosistemas. Debe contener actividades y obras para resarcir y retribuir a las comunidades, regiones o localidades por los impactos ambientales ocasionados con la realización del proyecto. Para su elaboración se debe partir de la oferta, la demanda y la afectación que se realice en cada recurso.
- Programa de manejo de fauna silvestre
  - Se deberá presentar un programa de salvamento contingente (ahuyentamiento, rescate y reubicación) de la fauna silvestre que será afectada tanto por las actividades de deforestación. Este será basado en la búsqueda de animales en el río, por tierra en las posibles áreas afectadas, a fin de lograr el mayor número de avistamientos de fauna atrapada.
  - Se deberá desarrollar un estudio ecológico de los sitios de reubicación de fauna, considerando oferta de hábitat, tipo de cobertura vegetal, determinar rutas de fuga y corredores biológicos, área y accesibilidad, análisis de la capacidad de carga de los ecosistemas que recibirán fauna. Dentro del programa de rescate, se deberán incluir profesionales idóneos para la captura, atención y liberación de los ejemplares, cronograma actualizado y descripción de actividades y tiempo de captura en campo, considerando los resultados arrojados en el estudio de inventario faunístico y plantear el seguimiento y el acompañamiento de dicha reubicación. Se deberá contar con un centro de atención para la fauna silvestre que resulte afectada por el proyecto.
  - Se deberán presentar e implementar simultáneamente a las actividades de construcción, un programa de señalización de vías, que obligue a la reducción de velocidad por parte de los conductores de vehículos y equipos que transiten por áreas con presencia de fauna silvestre y a que se dé prelación al paso de individuos de fauna por la vía.
  - Se deberán diseñar e implementar medidas de protección de la fauna a fuentes y equipos de generación de alto voltaje.
- Programa de conservación. Con énfasis en:

- Manejo de especies vegetales y faunísticas en peligro crítico en veda o aquellas que no se encuentren registradas dentro del inventario nacional o que se cataloguen como posibles especies no identificadas.
- Desarrollo y fomento de ecosistemas y especies de flora y fauna afectables por el proyecto.
- Protección y conservación de hábitats. Se deberán definir programas para conservación de especies de flora y fauna endémica, en veda, amenazadas o en peligro crítico y de especies que no se encuentren registradas dentro del inventario nacional o se cataloguen como posibles nuevas especies;
- Programa de control de macrófitas acuáticas y empalizadas, en el área del embale y las colas.
- Programas de educación y capacitación al personal vinculado al proyecto, teniendo en cuenta la determinación y delimitación de los ecosistemas y especies de flora y fauna de especial interés.
- Programa de compensación
  - Por aprovechamiento de la cobertura vegetal: Las áreas a compensar no serán asimiladas a aquellas que por diseño, o requerimientos técnicos tengan que ser empradizadas o revegetalizadas. Se presentará un listado de predios y propietarios donde se realizarán las actividades de compensación forestal, sus correspondientes áreas, especies, distancias, densidades, sistemas de siembra y plan de mantenimiento (mínimo a tres años); en caso de compra de predios, como compensación, se debe realizar un programa de preservación y conservación, el cual debe ser concertado entre la Corporación ambiental competente, el municipio y el propietario del proyecto.
  - Por afectación paisajística: Un programa de manejo paisajístico de áreas de especial interés para las comunidades y las entidades territoriales.
  - Por fauna y flora: Establecer un programa de recuperación de hábitats para la preservación de especies endémicas, en peligro de extinción o vulnerables, entre otras y apoyo a proyectos de investigación de especies de fauna y flora vulnerables con fines de reemplazamiento.

#### - Medio Socioeconómico

Se deberán tener en cuenta los siguientes programas:

- Programa de educación y capacitación al personal vinculado al proyecto.
- Programa de información y participación comunitaria.

- Programa de apoyo a la capacidad de gestión institucional.
- Programa de información y sensibilización sobre el proyecto a la comunidad aledaña al proyecto.
- Programa de contratación de mano de obra local.
- Programa de arqueología preventiva
- Programa de compensación social: En caso de afectación a los componentes social, económico y cultural (infraestructura o actividades individuales o colectivas), la compensación debe orientarse a la reposición, garantizando iguales o mejores condiciones de vida de los pobladores asentados en el área de influencia directa.

### **Programa de Seguimiento y Monitoreo del proyecto**

El programa de seguimiento y monitoreo deberá contemplar como mínimo lo indicado en cada una de las fichas del plan de manejo ambiental; los sitios de muestreo deben georreferenciarse y justificar su representatividad en cuanto a cobertura espacial y temporal, para establecer la red de monitoreo que permita el seguimiento de los medios abiótico, biótico y socioeconómico. Dicho programa deberá incluir para cada uno de los medios lo siguiente:

#### **- Medio abiótico**

- Agua residual y corriente receptora
- Aguas subterráneas
- Emisiones atmosféricas, calidad de aire y ruido
- Suelo
- Sistemas de manejo, tratamiento y disposición de residuos sólidos

#### **- Medio biótico**

- Flora y fauna (endémica, en peligro de extinción o vulnerable, entre otras).
- Áreas donde han sido dispuestas las especies reubicadas.
- Humedales
- Recursos hidrobiológicos
- Programas de revegetalización y/o reforestación.

#### **- Medio Socioeconómico**

- Los conflictos sociales;
- Impactos sociales indirectos
- Acciones y procesos generados por las obras;
- La atención de inquietudes, solicitudes o reclamos de las comunidades;
- La participación e información oportuna de las comunidades;
- El monitoreo arqueológico;
- Seguimiento del proceso de educación ambiental.

## Plan de Contingencia

### - Análisis de Riesgos

Debe incluir la identificación de las amenazas o siniestros de posible ocurrencia, el tiempo de exposición del elemento amenazante, la definición de escenarios, la estimación de la probabilidad de ocurrencia de las emergencias y la definición de los factores de vulnerabilidad que permitan calificar la gravedad de los eventos generadores de emergencias en cada escenario. Esta valoración debe considerar los riesgos tanto endógenos como exógenos. Se debe presentar la metodología utilizada.

Durante la evaluación de la vulnerabilidad se deben considerar, al menos los siguientes factores:

**Víctimas:** número y clase de víctimas, así como también el tipo y gravedad de las lesiones.

**Daño ambiental:** evalúa los impactos sobre el agua, fauna, flora, aire, suelos y comunidad, como consecuencia de una emergencia.

**Pérdidas materiales:** representadas en infraestructura, equipos, productos, costos de las operaciones del control de emergencia, multas, indemnizaciones y atención médica, entre otras.

El riesgo es una función que depende de la probabilidad de ocurrencia de la emergencia y de la gravedad de las consecuencias de la misma. La aceptabilidad de los riesgos se clasifica con el fin de definir el alcance de las medidas de planeación requeridas para el control.

Los resultados del análisis se deben llevar a mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, en escala 1:50.000 o menor y 1:25.000 o mayor según corresponda al área de influencia indirecta o directa, respectivamente.

### - Plan de contingencia

Con base en el análisis de riesgos, se deberá estructurar el Plan de Contingencia mediante el diseño de planes estratégicos, consistentes en la elaboración de programas que designen las

funciones y el uso eficiente de los recursos para cada una de las personas o entidades involucradas; planes operativos donde se establezcan los procedimientos de emergencia, que permitan la rápida movilización de los recursos humanos y técnicos para poner en marcha las acciones inmediatas de la respuesta; y un sistema de información, que consiste en la elaboración de una guía de procedimientos, para lograr una efectiva comunicación con el personal que conforma las brigadas, las entidades de apoyo externo y la comunidad afectada.

Este plan de contingencia debe contemplar: emergencias y contingencias durante la construcción y los lineamientos para la operación.

Deben cartografiarse las áreas de riesgo identificadas, las vías de evacuación y la localización de los equipos necesarios para dar respuesta a las contingencias.

### **3.3. Problema Central, Causas y Efectos**

El municipio de Cumbal junto con el PERS-Nariño tienen gran interés en la mejora de las condiciones de vida de sus habitantes que puedan garantizar el saneamiento básico y garantizar un acompañamiento integral, teniendo en cuenta también que la población objetivo se encuentra inmersa en una amplia problemática descrita e identificada en el diagnóstico de la situación actual, por ello se identificó el problema central que trata de: *Desaprovechamiento de los recursos biomásicos existentes en el municipio de Cumbal para la generación de energía renovable y producción de abono orgánico.*

Con la ayuda también del ítem anteriormente descrito se identificó algunas de las causas directas que pueden aportar y/o generar esta problemática actualmente existente, destacándose las siguientes:

- Escasa información del manejo y destino final de la biomasa.
- Escasa oferta de energías alternativas para la conservación de la leche en el sector lácteo y/o elaboración de productos alimenticios en el hogar.
- Desinformación de procesos para la producción de abono orgánico a partir de la biomasa.

Que presentan los siguientes efectos principales donde se encuentran:

- Elevados costos de energía.
- Producción de gases de efecto invernadero en el sector ganadero.
- Tala de bosques.
- Manejo inadecuado de los desechos orgánicos como fertilizante
- Uso de fuentes de energía no renovable.

El árbol de problemas que contiene las anteriores causas y efectos del problema central se encuentra en el Anexo 1.

## 4. FORMULACIÓN DE LA ALTERNATIVA

### 4.1. Nombre de la Alternativa

Aprovechamiento de los recursos biomásicos existentes mediante su uso en biodigestores para generación de energía y producción de abono orgánico en el municipio de Cumbal del departamento de Nariño.

### 4.2. Resumen de la Alternativa

Existen diversas formas de aprovechar los recursos biomásicos producidos por el desarrollo de actividades económicas agropecuarias. En nuestro contexto se hace referencia al uso de biodigestores para el aprovechamiento principalmente de los desechos animales, que se convierte en una muy buena alternativa para el tratamiento de esta biomasa, con beneficios adicionales en cuanto a la generación térmica y/o eléctrica dependientes del biogás, y la producción de abono dependiente del efluente.

En este orden de ideas y teniendo en cuenta las características del municipio de Cumbal en cuanto a actividad productiva se refiere, además de las necesidades de la población en el campo productivo y doméstico, surgen dos opciones que se podrían trabajar conjuntamente o individualmente en un proyecto basado en biodigestores; la decisión de trabajar esta solución no surge como el resultado del análisis de alternativas, sino por los antecedentes existentes y experiencias previas en la subregión Exprovincia de Obando, que demuestran la viabilidad de implementar biodigestores, además de las condiciones agrícolas, pecuarias, climáticas y económicas de la región en cuestión.

La primera opción se enfoca a una necesidad identificada en el sector lechero con respecto a procesos de enfriamiento de leche. Las asociaciones lácteas ya constituidas, exponen el costo elevado en la oferta de energía eléctrica además de la irregularidad de ésta, por lo que sus procesos productivos se ven altamente afectados. Se propone impulsar el uso de biodigestores para realizar dichos procesos utilizando como insumo primario la biomasa existente, que es de carácter gratuito, de manera que se pueda reducir costos, asegurar una regularidad en el servicio y mitigar el efecto ambiental.

Para definir el mejor procedimiento a utilizar en el proceso de enfriamiento de leche, realizado directamente con biogás o con generación eléctrica para la alimentación de tanques de frío, se establecen unos estudios a realizar que permitan viabilizar una o dos de las opciones, para concluir acerca de la más adecuada y eficiente.

La segunda opción, se enfoca a la producción de biogás como fuente de energía térmica que sustituya las actualmente en uso, leña y GLP, que son perjudiciales para el medio ambiente y para la salud de la población.

Las dos opciones presentan la ventaja adicional de producción de abono orgánico como fuente de ingreso.

En cuanto a la selección de los usuarios, número de biodigestores a implementar y costos, no es posible en esta etapa realizar una estimación por la complejidad de los estudios que aún hacen falta, debido a que es necesario realizar las investigaciones y diseños planteados para ejecutarse en la siguiente etapa. Sin embargo, se tiene claro que para la implementación, los usuarios que se elijan deberán ser los encargados de la construcción y puesta en marcha del biodigestor, por supuesto, con la asesoría y supervisión de personal calificado que coordinará este proceso; lo anterior es importante, ya que además de reducir costos por contrapartida de los beneficiarios, estos adquirirán los conocimientos necesarios para encargarse del mantenimiento del sistema, reduciendo los costos del proyecto por este concepto, y teniendo en cuenta que este es mínimo en los sistemas implementados con biodigestores.

### **4.3. Objetivos**

#### **4.3.1. Objetivo General**

Establecer estudios detallados para el aprovechamiento de los recursos biomásicos existentes mediante su uso en biodigestores para generación de energía y producción de abono orgánico en el municipio de Cumbal del departamento de Nariño.

#### **4.3.2. Objetivos Específicos**

1. Ampliar la información sobre el manejo y aprovechamiento de biomasa en un sistema de biodigestores, teniendo en cuenta las características propias de la región objeto de estudio.
2. Diseñar dos sistemas basados en biodigestores para el municipio de Cumbal; uno de ellos encaminado a realizar el proceso de enfriamiento de leche, y el otro para realizar el proceso de cocción en viviendas.
3. Establecer una metodología adecuada para la producción de abono orgánico a partir del efluente resultado de los procesos bioquímicos del biodigestor, aportando a la generación de una alternativa empresarial.
4. Formular un documento de factibilidad para dar continuidad al proyecto.

#### 4.4. Productos, Actividades y Personal Requerido

Tabla 28. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 1.

Producto	Código actividad	Actividad	Personal requerido
Un prototipo de biodigestor.	A1-1	Caracterización de la biomasa disponible en el sector lechero del municipio de Cumbal mediante análisis de composición, cantidad disponible en la región, entre otros.	3 asistentes de investigación Ing. Agrónomo Ing. Sistemas Zootecnista Estadístico
	A1-2	Caracterización de la biomasa disponible en el sector doméstico en el municipio de Cumbal mediante análisis de composición, cantidad disponible en la región, entre otros.	3 asistentes de investigación Ing. agrónomo Ing. sistemas Zootecnista Estadístico
	A1-3	Diseño de un prototipo según las condiciones de la región, incluyendo la instrumentación electrónica para la medición de variables y parámetros de funcionamiento.	6 estudiantes de pregrado Ing. Civil Ing. Electrónico Ing. Químico Ing. Mecánico Ing. Agroindustrial
	A1-4	Implementación del prototipo y su sistema de medición.	6 estudiantes de pregrado Ing Civil Ing Electrónico Ing Quimico Ing Mecanico Ing Agroindustrial 3 personas de apoyo
Estudio técnico del biogás producido y	A2-1	Realización de mediciones y análisis del comportamiento de los parámetros de funcionamiento del	6 Estudiantes de pregrado Ing. Sistemas

parámetros de funcionamiento en un biodigestor.		biodigestor.	Ing. Agroindustrial Ing. Químico Ing. Electrónico Ing. Mecánico 1 persona de apoyo
	A2-2	Caracterización del biogás producido con biomasa procedente del sector lechero; mediante estudios de composición, caudal y poder calorífico.	Ing. Químico Ing. Mecánico 1 Asistente de investigación
	A2-3	Caracterización del biogás producido con biomasa procedente del sector doméstico; mediante estudios de composición, caudal y poder calorífico.	Ing. Químico Ing. Mecánico 1 Asistente de investigación
	A2-4	Implementación de un sistema de prueba de generación eléctrica.	1 Asistente de investigación Ing. Mecánico Ing. Electrónico
Cartilla técnica sobre el aprovechamiento de biomasa con la implementación de biodigestores.	A3-1	Articulación de la información consolidada en las actividades anteriores.	2 Asistentes de investigación Ing. Electrónico
	A3-2	Impresión, distribución y socialización de la cartilla.	2 Asistentes de investigación Ing. Electrónico Diseñador gráfico Ing. Agroindustrial
Sitio web del proyecto.	A4-1	Diseño e implementación de una plataforma web para unificar la información.	Ing. de Sistemas Diseñador gráfico
	A4-2	Recopilación y organización de la información en la plataforma web.	Ing. de Sistemas Diseñador gráfico 2 Asistentes de investigación

Fuente: Esta investigación.

Tabla 29. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 2.

Producto	Código actividad	Actividad	Personal requerido
Un documento sobre el análisis de la demanda energética en la población objetivo.	A1-1	Caracterización de la demanda energética de las asociaciones lecheras beneficiarias del proyecto.	Ing. Electrónico 2 Asistentes de investigación Ing. Sistemas
	A1-2	Caracterización de los requerimientos energéticos para el proceso de cocción de los hogares beneficiarios del proyecto.	Ing. Electrónico 2 Asistentes de investigación Ing. Sistemas
Un documento sobre la viabilidad del proceso de enfriamiento de leche utilizando dos opciones de energía con biogás: directamente en cuarto frío y tanque de frío.	A2-1	Recopilación y análisis de la información sobre el proceso de enfriamiento con biogás	Ing. Mecánico Ing. Agroindustrial 2 Asistentes de investigación
	A2-2	Recopilación y análisis de la información sobre la generación de energía eléctrica para alimentación de tanques de frío.	Ing. Electrónico Ing. Mecánico 2 Asistentes de investigación
	A2-3	Elección de la opción más adecuada para el proceso de enfriamiento de leche.	Ing. Electrónico Ing. Mecánico Ing. Agroindustrial
Un diseño del sistema de enfriamiento de leche con la opción seleccionada, generación eléctrica para tanque de frío o refrigeración con biogás.	A3-1	Diseño de un sistema de generación eléctrica o un sistema de refrigeración con los planos y dimensionamiento correspondientes, instalaciones eléctricas o de gas, ubicación y planes de mantenimiento.	Ing. Electrónico Ing. Mecánico Ing. Civil Ing. Agroindustrial
	A3-2	Diseño del biodigestor con planos y dimensionamiento de estructura física, conexiones, ubicación.	Ing. Electrónico Ing. Mecánico Ing. Civil Ing. Agroindustrial Ing. Químico
	A3-3	Elaboración de un instructivo de	Diseñador gráfico

		funcionamiento en cuanto a carga de biomasa, proporciones y frecuencia.	Ing. Agroindustrial Ing. Electrónico
	A3-4	Análisis del impacto ambiental de los diseños elaborados para determinar su sostenibilidad en este eje.	Ing. Ambiental
Un diseño del sistema de generación de energía térmica con biodigestor para el proceso de cocción en el sector doméstico.	A4-1	Diseño del biodigestor con planos y dimensionamiento de estructura física, conexiones, ubicación.	Ing. Electrónico Ing. Mecánico Ing. Civil Ing. Agroindustrial Ing. Químico
	A4-2	Elaboración de un instructivo de funcionamiento en cuanto a carga de biomasa, proporciones y frecuencia.	Diseñador gráfico Ing. Agroindustrial Ing. Electrónico
	A4-3	Análisis del impacto ambiental de los diseños elaborados para determinar su sostenibilidad en este eje.	Ing. Ambiental

Fuente: Esta investigación.

Tabla 30. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 3.

Producto	Código actividad	Actividad	Personal requerido
Un documento técnico sobre la composición del bioabono.	A1-1	Realización de estudios sobre la composición del bioabono.	Ing. Agroindustrial Ing. Químico Biólogo 2 Asistentes de investigación
Un documento descriptivo del proceso de transformación del bioabono a abono orgánico y la aplicación de	A2-1	Recopilación de información e identificación del proceso más adecuado de obtención de abono orgánico a partir de bioabono.	Ing. Agroindustrial Ing. Electrónico 2 Asistentes de investigación
	A2-2	Análisis de la aplicabilidad del abono orgánico a diferentes cultivos de la región.	Ing. Agrónomo 2 Asistentes de investigación

éste en cultivos de la región.	A2-3	Consolidación del proceso de la información y emisión del documento.	Ing. Agroindustrial Ing. Electrónico 2 Asistentes de investigación
Un estudio de mercado sobre el abono orgánico en el departamento de Nariño que incluya una propuesta de esquema empresarial.	A3-1	Análisis de la demanda de abonos químicos y orgánicos en el departamento de Nariño.	Ing. Electrónico Economista 3 Asistentes de investigación
	A3-2	Análisis de la oferta de abonos químicos y orgánicos en el departamento de Nariño.	Ing. Electrónico Economista 3 Asistentes de investigación
	A3-3	Comparación del abono producido con respecto a los comerciales disponibles en el mercado, en cuanto a sus características, costos y efectos sobre los cultivos.	Ing. Electrónico Economista
	A3-4	Formulación de un esquema empresarial para la producción y venta de abono orgánico.	Economista

Fuente: Esta investigación.

Tabla 31. Productos, actividades y personal requerido, Objetivo Específico 4.

Producto	Código actividad	Actividad	Personal requerido
Documento de factibilidad	A1-1	Consolidación de la información y formulación del documento de factibilidad	Investigador principal 4 Co-investigadores

Fuente: Esta investigación.

#### 4.5. Identificación y Descripción de la Innovación Propuesta

Los biodigestores han sido utilizados en numerosos proyectos en toda latinoamérica para la producción de biogás, la generación eléctrica y la producción de bioabono. La presente propuesta tiene como fin no solo la implementación de biodigestores, sino también un estudio a fondo sobre

cómo conseguir un óptimo funcionamiento mediante la mezcla de diferentes tipos de biomasa y la tecnificación de su diseño y estructura, teniendo en cuenta su aplicación en el sector lácteo y el sector doméstico, innovando entonces a través de la mejora de este tipo de dispositivos.

El enfriamiento de leche es parte del proceso productivo de las asociaciones lecheras del municipio de Cumbal, generando gastos energéticos debido a la maquinaria y los equipos requeridos que son energizados con el tendido eléctrico.

En el municipio de Cumbal hay una alta oferta de biomasa por el mismo hecho de ser una región productora de leche. La utilización de este recurso para ayudar a solventar las necesidades energéticas de las asociaciones lecheras del municipio de Cumbal mediante la generación de energía eléctrica y/o biogás es una novedad en el departamento de Nariño, ayuda a incentivar el uso de nuevas tecnologías en los procesos del agro e innova mediante la generación de una oportunidad de negocio con la producción de abono orgánico de alta calidad.

En el sector doméstico del municipio de Cumbal en su mayoría se usa leña, carbón y GLP para los procesos de cocción, lo cual genera contaminación y tala de bosques; sin embargo, es sabido que la región cuenta con un gran potencial biomásico debido a la cría de animales. La utilización de este recurso por medio de biodigestores tecnificados y optimizados para la generación de biogás y solución de las necesidades de combustión, es una solución innovadora frente a otro tipo de soluciones, pues es una alternativa de bajo costo para el beneficiario.

#### 4.6. Metodología y Distribución de Responsabilidades

**Objetivo 1.** Ampliar la información sobre el manejo y aprovechamiento de biomasa en un sistema de biodigestores.

*A1-1 Caracterización de la biomasa disponible en el sector lechero del municipio de Cumbal mediante análisis de composición, cantidad disponible en la región, entre otros.*

Para obtener un estimado del potencial de biomasa que posee la región, se complementará la información existente recolectada en la etapa de formulación de este proyecto, con recopilación adicional de información en cuanto a producción de cultivos y explotación de animales, haciendo énfasis en cantidad y tipos. Para esto será necesario consultar en fuentes de entidades públicas como: la Gobernación de Nariño (consolidado agropecuario), la Alcaldía de Cumbal, Coorponariño, Fedegan, entre otras.

Una vez consolidada esta información se realizará una encuesta dirigida a la población beneficiaria, con el fin de dimensionar la cantidad de biomasa con la que las asociaciones cuentan potencialmente para utilizar en los biodigestores; para su elaboración se debe indagar acerca de: número de cabezas de ganado, tipo de ganado, alimentación, disponibilidad de establos y centros de ordeño, tipo de cultivos, hectáreas cultivadas, residuos agrícolas, entre otros. La encuesta se realizará presencialmente con el desplazamiento de personal de apoyo a cada predio de las

asociaciones lecheras, utilizando herramientas digitales o manuales según se determine la conveniencia.

Además, se levantará un registro fotográfico de las instalaciones, terrenos, animales, cultivos, para ser utilizados en actividades posteriores de diseño. En cuanto al posicionamiento geográfico y altitud de la zona, en la misma visita, se utilizará un equipo GPS que permita obtener estos datos de manera confiable.

Posteriormente se procederá a analizar la información recopilada mediante fuentes secundarias y fuentes primarias a través de las encuestas, para determinar cuáles son los tipos de biomasa que se podría utilizar sosteniblemente en el sistema de biodigestor.

Con los tipos de biomasa definidos, se adicionará el análisis estadístico que determine las características del muestreo a desarrollar de manera que sea representativo; con lo anterior, se procederá a tomar muestras directamente en las zonas objeto de estudio según el plan de muestreo estipulado.

Finalmente, las muestras tomadas se llevarán a laboratorios especializados para efectuarles análisis físico-químicos con el fin de determinar su composición. Los resultados se tratarán estadísticamente para obtener unos datos consolidados que se puedan utilizar posteriormente en la etapa de diseño.

*A1-2 Caracterización de la biomasa disponible en el sector doméstico en el municipio de Cumbal mediante análisis de composición, cantidad disponible en la región, entre otros.*

Para obtener un estimado del potencial de biomasa que posee la región se complementará la información existente recolectada en la etapa de formulación de este proyecto, con recopilación adicional de información en cuanto a producción de cultivos y explotación de animales, haciendo énfasis en cantidad y tipos; para esto será necesario consultar en fuentes de entidades públicas como: gobernación de Nariño (consolidado agropecuario), alcaldía de Cumbal, Coorponariño, Fedegan, entre otras.

Una vez consolidada esta información se realizará una encuesta dirigida a la población beneficiaria, con el fin de dimensionar la cantidad de biomasa con la que los hogares cuentan potencialmente para utilizar en los biodigestores; para su elaboración se debe indagar acerca de: número y tipo de animales, alimentación, instalaciones para los animales, tipo de cultivos, hectáreas cultivadas, residuos agrícolas, entre otros. La encuesta se realizará presencialmente con el desplazamiento de personal de apoyo a una cantidad de predios, determinados estadísticamente, utilizando herramientas digitales o manuales según la conveniencia.

Además, se levantará un registro fotográfico de las instalaciones, terrenos, animales, cultivos, para ser utilizados en actividades posteriores de diseño. En cuanto al posicionamiento geográfico y altitud de la zona, en la misma visita, se utilizará un equipo GPS que permita obtener estos datos de manera confiable.

Posteriormente se procederá a analizar la información recopilada mediante fuentes secundarias y fuentes primarias a través de las encuestas, para determinar cuáles son los tipos de biomasa doméstica que se podrían utilizar sosteniblemente en el sistema de biodigestor.

Con los tipos de biomasa definidos, se adicionará el análisis estadístico que determine las características del muestreo a desarrollar de manera que sea representativo. Con lo anterior, se procederá a tomar muestras directamente en las zonas objeto de estudio según el plan de muestreo estipulado.

Finalmente, las muestras tomadas se llevarán a laboratorios especializados para efectuarles análisis físico-químicos con el fin de determinar su composición. Los resultados se tratarán estadísticamente para obtener unos datos consolidados que se puedan utilizar posteriormente en la etapa de diseño.

*A1-3 Diseño de un prototipo según las condiciones de la región, incluyendo la instrumentación electrónica para la medición de variables y parámetros de funcionamiento.*

Se complementará la información existente, con recopilación de información disponible en la web, en cuanto a: tipo de biodigestores existentes y sus características de funcionamiento, para determinar cuál es el más adecuado según las condiciones propias de la región; procesos de funcionamiento y mezclas de biomasa teniendo en cuenta la composición resultante de manera que optimice dichos procesos; generación eléctrica a partir de biogás; instrumentación electrónica para medición de ph, temperatura y caudal.

A partir de la información anterior, se elegirá el tipo de biodigestor idóneo para aplicar en la zona realizando el diseño correspondiente según los siguientes componentes:

- Selección del lugar donde se implementará, con la respectiva carta de compromiso del propietario del terreno (Corponariño).
- Mezclas a realizar para la optimización de producción de gas con base en la información recopilada y en los resultados obtenidos en las actividades A1-1 Y A1-2.
- Dimensionamiento, tuberías de conexión de gas, filtros y selección de materiales del biodigestor, teniendo en cuenta el caudal requerido para realizar pruebas y las mezclas de biomasa analizadas.
- Obra civil que involucra la ubicación del biodigestor según el terreno, incluyendo además la estructura sobre la que reposará, la construcción de las cámaras, del reservorio, del invernadero, entre otros.
- Sistemas de medición de ph y temperatura en el interior del biodigestor, resistentes a las condiciones, con una resolución adecuada según los rangos que manejen las variables y una frecuencia de muestreo determinada por la variabilidad de estas.
- Sistema de medición de caudal del gas producido en el biodigestor, con una frecuencia de muestreo relacionada con la variación de temperatura.

#### *A1-4 Implementación del prototipo y su sistema de medición.*

Con el diseño obtenido de la actividad anterior se procederá a efectuar la adquisición de materiales necesarios para la implementación del prototipo, diferenciándose según su aplicación así: de construcción, del biodigestor y electrónicos.

La implementación se realizará en dos etapas comenzando, en primera instancia, por las obras civiles; posteriormente, la construcción y acople del biodigestor e instrumentación electrónica simultáneamente.

Finalmente, se realizará la primera carga del biodigestor comenzando por las mezclas de biomasa estipuladas para el sector lechero.

#### *A2-1 Realización de mediciones y análisis del comportamiento de los parámetros de funcionamiento del biodigestor.*

Desde el momento en que se realice la primera carga y teniendo en cuenta que en primera instancia se analizará el comportamiento del biodigestor utilizando biomasa existente en el sector lácteo, se iniciarán las mediciones de temperatura y ph, llevando un registro detallado de la medición y la hora a la que se realiza, y almacenando esta información en una base de datos.

Se probarán a lo largo de 3 meses, contados a partir de que culmine el tiempo de retención, diferentes métodos de carga modificando la frecuencia y mezcla utilizada. Durante este tiempo se realizarán los registros pertinentes de temperatura, de ph y de caudal. Transcurrido este tiempo, se modificará el proceso de carga utilizando biomasa existente domésticamente, se medirá continuamente el ph y la temperatura, y tras esperar un tiempo adecuado para la estabilización de los procesos internos del biodigestor, se procederá a realizar pruebas por un tiempo de 3 meses durante el cual se modificará el método de carga en cuanto a la frecuencia y mezcla; se medirá la temperatura, el ph y el caudal.

Con los datos obtenidos se realizará un análisis detallado del comportamiento del biodigestor en función de los parámetros medidos, con lo que se obtendrá como resultado los procedimientos más adecuados en cuanto a frecuencia de carga y mezcla de biomasa, que permitan maximizar la generación de biogás en el caso de biodigestores utilizados en el sector lechero y en el sector doméstico.

#### *A2-2 Caracterización del biogás producido con biomasa procedente del sector lechero mediante estudios de composición, caudal y poder calorífico.*

Se procederá a diseñar e implementar un sistema de captura de gas, de manera que no se altere la composición y el volumen muestreado a pesar de su manipulación y transporte desde la ubicación del prototipo (Cumbal), hasta la ciudad donde se encuentre ubicado el laboratorio especializado seleccionado para el desarrollo de los análisis.

Se tomarán muestras durante los 3 meses que se trabaje con biomasa existente en el sector lechero, en función de las variaciones en el método de carga en cuanto a frecuencia y mezcla. Estas se analizarán en los laboratorios especializados donde se realizarán estudios, del poder calorífico y cromatográficos que determinen la composición del gas.

De la actividad A2-1 se utilizarán los datos obtenidos de las mediciones de caudal y junto con los resultados de los análisis anteriormente descritos, se consolidará la caracterización del gas producido con biomasa disponible en el sector lácteo.

*A2-3 Caracterización del biogás producido con biomasa procedente del sector doméstico mediante estudios de composición, caudal y poder calorífico.*

Se tomará muestras durante los 3 meses que se trabaje con biomasa existente en el sector doméstico, en función de las variaciones en el método de carga en cuanto a frecuencia y mezcla. Estas se analizarán en los laboratorios especializados, donde se realizarán estudios del poder calorífico y cromatográficos que determinen la composición del gas.

De la actividad A2-1 se utilizarán los datos obtenidos de las mediciones de caudal y junto con los resultados de los análisis anteriormente descritos, se consolidará la caracterización del gas producido con biomasa disponible en el sector doméstico.

*A2-4 Implementación de un sistema de prueba de generación eléctrica.*

Se recopilará información referente a generadores eléctricos que trabajen a biogás y a generadores de combustión interna que se puedan modificar para funcionar con biogás; lo anterior utilizando bibliotecas locales, bases de datos y páginas web de distribuidores de la tecnología.

Se seleccionará y se adquirirá un generador eléctrico de combustión interna según la información previamente recopilada; seguido, se realizarán las modificaciones técnicas pertinentes para que el generador funcione utilizando biogás como fuente de energía. Se realizarán pruebas modificando condiciones mecánicas que permitan mejorar la eficiencia en el proceso de conversión de energía.

Finalmente, se realizará una comparación en cuanto a costos de inversión y funcionamiento, mantenimiento y obsolescencia, entre un generador a biogás, cuya adquisición sea posible, y el sistema generador resultado de estas pruebas.

*A3-1 Articulación de la información consolidada en las actividades anteriores.*

Al tener la información recopilada se procederá a seleccionar aquellos datos que sean de gran importancia y trascendencia para la elaboración de la cartilla, caracterizándola como una herramienta clave en las capacitaciones, siendo de fácil interpretación y de ayuda para todos aquellos que deseen conocerlo, buscando contribuir a la retroalimentación, la experiencia del ejercicio profesional y al aprendizaje constante.

La cartilla constará de un listado de capítulos y actividades base, describiendo el potencial y aprovechamiento que se le puede dar a la biomasa con el uso de biodigestores, con aclaraciones en los casos que así lo requieran. Las notas a ser plasmadas serán ideadas para la comunidad involucrada en el desarrollo del estudio, con el fin de ubicarla en contexto con la sociedad.

La recopilación de la información se realizará a través de una investigación documental, los resultados de las encuestas y la observación directa.

Los apartados del manual de procedimientos se elaborarán según (Vasconcelos, 2011) conteniendo lo siguiente:

- Portada Principal y Formato.
- Aprobación del Documento y Control de Revisiones.
- Tabla de contenido.
- Introducción.
- Glosario.
- Objetivo.
- Contenido.
- Anexos.

#### *A3-2 Impresión, distribución y socialización de la cartilla.*

Se realizará esta actividad teniendo en cuenta la información de la actividad anterior.

Después de la impresión, se procederá a la distribución de la cartilla a la población involucrada y por último, se hará una socialización y/o transferencia de tecnología capacitando a la población objetivo con el contenido de la misma. Esta socialización se desarrollará teniendo en cuenta el modelo de Innovación Rural Participativa (IRP) promovida como una contundente manifestación de lo que implican los procesos de innovación por aprendizaje y cooperación, ensamblando en función de la creación y fortalecimiento de capacidades.

Estas actividades se requieren para la sostenibilidad del proyecto promoviendo el aprendizaje fundamentado a la comunidad.

#### *A4-1 Diseño e implementación de una plataforma web para unificar la información.*

Se diseñará el entorno gráfico y se definirán las secciones a realizar según los productos que se planeen compartir. A continuación se desarrollará la página web, incluyendo esquematización, diseño y programación.

#### *A4-2 Recopilación y organización de la información en la plataforma web.*

Según la confidencialidad que se establezca en el proyecto, la información se seleccionará y clasificará como pública o privada, generando información de interés para el desarrollo rural no solo del departamento sino también de la nación.

Siendo la web un medio de difusión global, se dará a conocer los avances tecnológicos, productivos y sociales desarrollados en el departamento mediante la acción conjunta de los diferentes actores.

**Objetivo 2.** Diseñar dos sistemas basados en biodigestores para el municipio de Cumbal; uno de ellos encaminado a realizar el proceso de enfriamiento de leche y el otro para realizar el proceso de cocción en viviendas.

*A1-1 Caracterización de la demanda energética de las asociaciones lecheras beneficiarias del proyecto.*

Se recopilará la información necesaria a través de encuestas y mediciones energéticas en las diferentes asociaciones lecheras incluidas en el proyecto. El diseño de la encuesta debe permitir que se determine el consumo energético en las diferentes actividades realizadas por cada asociación, así como también los rangos de horarios en los cuales dicho consumo aumenta o disminuye.

La aplicación de las encuestas se debe realizar por personal capacitado, que recogerá la información suministrada directamente por los encuestados y utilizando un analizador de redes, realizará las mediciones de consumo energético, potencia real y potencia aparente del sistema de enfriamiento de leche.

Los datos obtenidos se organizarán y se analizarán con el fin de entregar una óptima caracterización del consumo energético de las asociaciones lecheras de la región.

*A1-2 Caracterización de los requerimientos energéticos para el proceso de cocción de los hogares beneficiarios del proyecto.*

Se recopilará la información necesaria a través de encuestas y mediciones en los hogares beneficiarios del proyecto. El diseño de la encuesta debe permitir que se determinen los diferentes insumos utilizados para la cocción de los alimentos (leña, carbón, gas, energía eléctrica, entre otros), así como también la cantidad y el tiempo requeridos para este proceso.

La aplicación de las encuestas se debe realizar por personal capacitado, que recogerá la información suministrada directamente por los encuestados y realizará las mediciones correspondientes en los diferentes hogares, utilizando equipos especializados cuando sea requerido.

Los datos obtenidos se organizarán, procesarán y se analizarán con el fin de entregar una óptima caracterización del consumo energético de los hogares de la región.

#### *A2-1 Recopilación y análisis de la información sobre el proceso de enfriamiento con biogás.*

Haciendo uso de las herramientas web de búsqueda, bases de datos en red, manuales y textos disponibles en las bibliotecas locales, se recolectará información sobre la disponibilidad y detalles de sistemas de enfriamiento y/o refrigeración de alimentos con sistemas que funcionen a biogás, dando prioridad a los procesos de enfriamiento de leche.

La información a recolectar incluirá antecedentes sobre refrigeración de alimentos (preferiblemente leche) con equipos que trabajen directamente con biogás. Una vez realizada esta recolección, y de ser satisfactoria, se recopilará información adicional como: Equipos necesarios, requerimientos de funcionamiento, capacidad, eficiencia del sistema, materiales necesarios para su construcción y/o adaptación al enfriamiento de leche (en caso de la existencia del sistema para otro tipo de alimento), disponibilidad en el mercado de repuestos y equipos.

Teniendo en cuenta los requisitos técnicos de las asociaciones lecheras beneficiarias del municipio de Cumbal y la revisión anterior, se procede a estimar un costo de implementación de un sistema de enfriamiento a base de biogás.

Finalmente, basándose en la información recopilada en etapas anteriores, se realizará un análisis de ventajas y desventajas de este tipo de sistemas, así como un análisis de la viabilidad de su implementación en el municipio de Cumbal.

#### *A2-2 Recopilación y análisis de la información sobre la generación de energía eléctrica para alimentación de tanques de frío.*

Haciendo uso de las herramientas web de búsqueda, bases de datos en red, manuales y textos disponibles en las bibliotecas locales, se recolectará información sobre el proceso de enfriamiento de leche haciendo uso de tanques de frío, además de los sistemas y métodos de generación eléctrica a partir de biogás.

La información a recolectar incluirá: especificaciones técnicas sobre el funcionamiento de los sistemas de enfriamiento basados en tanques de frío, tales como, potencia necesaria, energía requerida en función de las temperaturas del líquido a procesar y eficiencia; además de antecedentes sobre el desarrollo de sistemas de generación de energía eléctrica a partir del biogás producido por un Biodigestor.

Una vez realizada la recolección planteada, se realizará un resumen donde se especifique: Equipos necesarios, requerimientos de funcionamiento, capacidad, eficiencia del sistema, materiales necesarios para su construcción, disponibilidad en el mercado de repuestos y equipos.

Teniendo en cuenta los requisitos técnicos de las asociaciones lecheras beneficiarias del municipio de Cumbal y la revisión anterior se procederá a estimar un costo de implementación de un sistema de enfriamiento de leche haciendo uso de tanques de frío alimentados con energía eléctrica generada a partir de biogás.

Basándose en la información recopilada en etapas anteriores, se realizará un análisis de ventajas y desventajas de este tipo de sistemas, así como un análisis de la viabilidad de su implementación en el municipio de Cumbal.

Luego se procederá a redactar el documento con el análisis de viabilidad, ventajas y desventajas de cada una de las opciones y sus respectivos argumentos.

#### *A2-3 Elección de la opción más adecuada para el proceso de enfriamiento de leche.*

Teniendo en cuenta el consolidado de ventajas y desventajas de los dos métodos de enfriamiento de leche (en tanques de frío directamente haciendo uso del biogás, y en tanques de frío mediante la generación de energía eléctrica), se procede a la elección de una opción teniendo en cuenta aspectos técnicos y económicos. La elección se hace con base a la mejor combinación de costo y rendimiento.

La información de la opción escogida será profundizada en la medida que se requiera y utilizada al momento del diseño de la solución.

#### *A3-1 Diseño de un sistema de generación eléctrica o un sistema de refrigeración con los planos y dimensionamiento correspondientes, instalaciones eléctricas o de gas, ubicación y planes de mantenimiento.*

El sistema de enfriamiento de leche se diseña con base en la opción seleccionada haciendo uso de la información, los estudios y el análisis desarrollado previamente. El diseño debe adaptarse de la mejor forma posible a las condiciones de la zona donde se realizará la instalación en el municipio de Cumbal.

Si la opción escogida es un sistema de enfriamiento de leche que funcione directamente a biogás, el diseño incluirá:

- Tamaño y dimensiones del cuarto frío, teniendo en cuenta los requerimientos de volumen de la leche a enfriar, los contenedores del líquido y las formas de almacenamiento.
- Localización del cuarto de frío teniendo en cuenta la estabilidad del terreno, el tamaño y la distancia prudente con el biodigestor fuente del combustible.
- Sistema de tuberías desde el lugar donde se implementará el biodigestor hasta donde se construye el cuarto frío, optimizando costos y teniendo en cuenta las necesidades de presión y caudal.
- Sistemas de aislamiento del cuarto frío, incluyendo materiales y mecanismos.

Si la opción escogida es un sistema de enfriamiento basado en tanques de frío y generación eléctrica el diseño incluirá:

- La elección de los equipos de generación eléctrica que cumplan los requerimientos de potencia y energía de los tanques de frío que las asociaciones lecheras del municipio de Cumbal tienen disponible.
- El diseño de un cuarto de máquinas para resguardar los equipos necesarios para la generación eléctrica a partir de biogás teniendo en cuenta la envergadura de los equipos de generación y las condiciones a las que deben permanecer (humedad, luz, etc.).
- Diseño óptimo de las tuberías requeridas tanto para transportar como para acondicionar el biogás ( en cuanto a presión y caudal) al sistema de generación de energía, incluyendo materiales, dimensiones y requerimientos por parte de otras etapas del sistema.
- Sistema de interfaz humana para el control y vigilancia del sistema de generación, incluyendo indicadores de estado, switches y mecanismos de protección.

Independientemente de la opción seleccionada se generará un manual de uso y mantenimiento de los sistemas, incluyendo mecanismos de reparación, corrección de errores, instructivo de consecución de repuestos, diagramas y cuidados.

#### *A3-2 Diseño del biodigestor con planos y dimensionamiento de estructura física, conexiones y ubicación.*

Independientemente de la opción seleccionada, se realizarán diseños completos con base en los resultados obtenidos previamente en la implementación y pruebas realizadas en el prototipo con relación a: la estructura del biodigestor; las mezclas óptimas de biomasa a utilizar; la producción y regulación de biogás con dicha mezcla; la demanda energética del sector lácteo.

Los diseños contarán con planos de:

- Lugar donde se implementará considerando la topografía, características del terreno y la cercanía al punto del uso del gas. Se debe contar con la respectiva carta de compromiso del propietario del terreno. Este ítem será diferente para cada asociación teniendo en cuenta las características propias de cada predio, sin embargo, se pretenderá conservar un estándar en la mayor cantidad de aspectos posibles, con modificaciones estrictamente necesarias cuando se requiera.
- Estructura y materiales del biodigestor con el dimensionamiento y escalamiento adecuado para suplir la demanda energética requerida, incluyendo todas las partes que lo constituyen, reactor y reservorio; las obras civiles tales como cámaras de entrada/salida, invernadero, estructuras sobre la que reposará el biodigestor, el reservorio y la estructura de protección.
- Estructura de transporte de gas desde la salida del biodigestor hasta el sitio de uso final, incluyendo los dispositivos reguladores, filtros, válvulas de seguridad, quemadores de exceso de gas, interconexión con el reservorio y actuador final.

#### *A3-3 Elaboración de un instructivo de funcionamiento en cuanto a carga de biomasa, proporciones y frecuencia.*

Con base en los estudios realizados a nivel de prototipo de biodigestor y teniendo en cuenta el escalamiento necesario, se realizará un instructivo claro y detallado sobre el funcionamiento de éste incluyendo:

- Tipo de biomasa a cargar y su composición, si es necesario utilizar varios tipos de biomasa se especifica la proporción de cada tipo y el método para medirla y mezclarla.
- Frecuencia de carga del biodigestor y bajo qué condiciones se debe recargar.
- Rutinas de mantenimiento y verificación de buen funcionamiento.
- Manual de reparación del sistema que exprese el método y los pasos a seguir si se presenta una anomalía o si se requiere la intervención de personal especializado; el manual también incluye una guía de consecución de repuestos y materiales.

El instructivo se realizará usando lenguaje claro y común para facilitar la comprensión de cualquier usuario que lo requiera, utilizará gráficos y fotografías para explicar sus procesos y así asegurar el correcto funcionamiento del biodigestor.

*A3-4 Análisis del impacto ambiental de los diseños elaborados para determinar su sostenibilidad en este eje.*

El impacto ambiental se realizará partiendo de los resultados obtenidos con respecto a mezclas, frecuencia y cantidad de biomasa requerida para alimentar el biodigestor, además de la sustitución de otras fuentes energéticas.

Se identificará, predecirá y evaluará los impactos ambientales de la posible implementación de los diseños, por medio de la elaboración de matrices de impacto y mitigación. Estos resultados se evaluarán en el marco normativo vigente para respaldar la ejecución del proyecto.

Adicionalmente, se definirán los procedimientos para tramitar los permisos necesarios que soporten el cumplimiento de las leyes ambientales, de manera que se pueda avalar el desarrollo del proyecto en la etapa posterior de ejecución.

*A4-1 Diseño del biodigestor con planos y dimensionamiento de estructura física, conexiones, ubicación.*

Con base en los resultados obtenidos previamente en la implementación y pruebas realizadas en el prototipo en relación a: la estructura del biodigestor; las mezclas óptimas de biomasa a utilizar; la producción y regulación de biogás con dicha mezcla; la demanda energética del sector doméstico teniendo en cuenta los factores de conversión de energía basados en el poder calorífico; se realizarán los diseños completos con sus respectivos planos de:

- Lugar donde se implementará considerando la topografía, características del terreno y la cercanía al punto de consumo del gas. Se debe contar con la respectiva carta de compromiso del propietario del terreno.

Este ítem será diferente para cada beneficiario teniendo en cuenta las características propias de cada predio, sin embargo, se pretenderá conservar un estándar en la mayor cantidad de aspectos posibles, con modificaciones estrictamente necesarias cuando se requiera.

- Estructura y materiales del biodigestor con el dimensionamiento y escalamiento adecuado para suplir la demanda energética requerida, incluyendo todas las partes que lo constituyen, reactor y reservorio; las obras civiles tales como las cámaras de entrada/salida, el invernadero, las estructuras sobre la que reposará el biodigestor, el reservorio y la estructura de protección.
- Estructura de transporte de gas desde la salida del biodigestor hasta el sitio de consumo, incluyendo los dispositivos reguladores, filtros, válvulas de seguridad, quemadores de exceso de gas, interconexión con el reservorio y quemador de la estufa.

#### *A4-2 Elaboración de un instructivo de funcionamiento en cuanto a carga de biomasa, proporciones y frecuencia.*

Con base en los estudios realizados a nivel del prototipo de biodigestor y teniendo en cuenta el escalamiento necesario, se realizará un instructivo claro y detallado sobre el funcionamiento de éste incluyendo:

- Tipo de biomasa a cargar y su composición; si es necesario utilizar varios tipos de biomasa se especificará la proporción de cada tipo y el método para medirla y mezclarla.
- Frecuencia de carga del biodigestor y bajo qué condiciones se debe recargar.
- Rutinas de mantenimiento y verificación del buen funcionamiento.
- Manual de reparación del biodigestor que contenga el método y los pasos a seguir si una anomalía se presenta o si se requiere la intervención de personal especializado, el manual también incluye una guía de consecución de repuestos y materiales.

El instructivo se realizará usando lenguaje claro y común para facilitar la comprensión de cualquier usuario, además, utilizará gráficos y fotografías para explicar sus procesos y así asegurar el correcto funcionamiento del biodigestor.

#### *A4-3 Análisis del impacto ambiental de los diseños elaborados para determinar su sostenibilidad en este eje.*

Con base en los resultados obtenidos con respecto a mezclas, frecuencia y cantidad de biomasa de alimentación del biodigestor, además de la sustitución de otras fuentes energéticas, se identificará, predecirá y evaluará los impactos ambientales de la posible implementación de estos diseños, esto por medio de la elaboración de matrices de impacto y mitigación. Estos resultados se evaluarán en el marco normativo vigente para respaldar la ejecución del proyecto.

Adicionalmente, se definirán los procedimientos para tramitar los permisos necesarios que soporten el cumplimiento de las leyes ambientales, de manera que se pueda avalar el desarrollo del proyecto en la etapa posterior de ejecución.

**Objetivo 3.** Establecer una metodología adecuada para la producción de abono orgánico a partir del efluente resultado de los procesos bioquímicos del biodigestor, aportando a la generación de una alternativa empresarial.

*A1-1 Realización de estudios sobre la composición del bioabono.*

Con el objeto de establecer los requisitos que debe cumplir el bioabono, los ensayos a los cuales se someterá el producto orgánico usado como abono, fertilizante y enmiendas de suelo, se efectuarán de acuerdo con lo indicado en las NTC-ISO 8633, NTC-ISO 8634, NTC 3795 y en la NTC 46.

Los métodos de análisis físico-químicos del componente orgánico de los productos clasificados como orgánicos, se basarán en el desarrollo de metodologías de análisis de suelos y de material vegetal. Teniendo en cuenta que ya se han tomado algunas muestras de bioabono y realizado el análisis de las mismas, se obtendrán datos y resultados más detallados.

El cálculo del fósforo, calcio, magnesio y elementos menores se determinarán con la metodología descrita en las normas NTC 1860, NTC 1369, NTC 234 Y NTC 202.

Los métodos de análisis microbiológicos se determinarán según lo indicado en la NTC 5167 de 2004.

Todos estos ensayos se realizarán en laboratorios especializados que cumplan con las normas anteriormente establecidas. La información obtenida se recopilará en un documento técnico sobre la composición del bioabono.

*A2-1 Recopilación de información e identificación del proceso más adecuado de obtención de abono orgánico a partir de bioabono.*

Hay que tener en cuenta que la técnica de recopilación de información es parte del método científico que se está utilizando. Los datos que se recojan tendrán que estar totalmente acorde a la información requerida para no recabar en datos innecesarios.

La elección del método dependerá de la estrategia de recolección de datos, el tipo de variable y el punto de obtención de información. Los principales métodos de recopilación que se tendrán en cuenta en el proyecto son:

- Registros: donde se consignará los registros y licencias que sean particularmente importantes para la indagación completa.
- Cuestionarios: formularios para encuestas.

- Observaciones directas: se realizarán mediciones directas para generar datos más precisos para todas las variables.

La información recolectada se dirigirá a un registro organizado que permita conocer y analizar lo que realmente sucede en la unidad o tema investigado. Esto consistirá en la recolección, síntesis, organización y comprensión de los datos que se requieren y cómo se buscará diagnosticar y definir el problema. La información a recopilar estará clasificada como:

- Primaria: que contiene información original no abreviada ni traducida.
- Secundaria: obras de referencia que auxilian al proceso de investigación.

Y se dividirá según las siguientes fuentes:

- Documentales
- De campo

Con la información obtenida y clasificada, se determinará el proceso de obtención de abono orgánico más adecuado siendo uno de sus insumos el bioabono.

#### *A2-2 Análisis de la aplicabilidad del abono orgánico a diferentes cultivos de la región.*

En primera instancia se producirá abono orgánico a partir de bioabono realizando el proceso definido en la anterior actividad. Posteriormente, se procederá a experimentar este producto en diferentes cultivos representativos del departamento de Nariño, teniendo en cuenta las variables de eficiencia e incidencia de enfermedades y deficiencias en el cultivo, esto con el fin de analizar la calidad del abono orgánico dependiendo de las necesidades del consumidor. Se utilizará como punto de comparación cultivos adicionales abonados con un producto comercial y otros libres de abonos.

Los resultados obtenidos se interpretarán mediante un diseño experimental, permitiendo obtener conclusiones sobre las variables evaluadas que permitirán resaltar propiedades distintivas del abono para posteriormente lograr una selección adecuada.

Luego se continuará con los estudios de mercado y la posible incursión dentro del mismo, haciendo énfasis en la necesidad de establecer prácticas que permitan mantener el nivel de productividad de los suelos, incrementar la producción agrícola y preservar los ecosistemas en el tiempo.

#### *A2-3 Consolidación del proceso, de la información y emisión del documento.*

La interpretación de los resultados y la indagación llevará inmediatamente a las conclusiones del diagnóstico realizado.

El análisis del instrumento de recolección de información será utilizado para el estudio individual de preguntas que se realizará con base en la transformación del bioabono en abono orgánico. Para llevar a cabo éste, se diseñará una forma donde se tabulará la información para así consolidarla.

El objetivo es emitir la información a la población interesada explicando las técnicas que se utilizan para la producción de abono orgánico a partir de bioabono y presentar una solución al problema planteado, para lo cual se realizará la presentación del problema, los métodos a emplear para su estudio, los resultados a obtener, las conclusiones a las que se llegue y las recomendaciones con base en estas. Con respecto a la estructura del informe, ésta será sencilla y seguirá los pasos fundamentales del diseño del proyecto, ya que el informe debe ser la respuesta a lo planteado.

La ventaja de utilizar estos informes consiste en que los datos son compilados por diferentes agentes, también se podrán entregar en un formato digital pre-elaborado, directamente de los registros. La confidencialidad de la información deberá formar parte de la redacción y emisión de datos, y no deberá contener información individualizada.

#### *A3-1 Análisis de la demanda de abonos químicos y orgánicos en el departamento de Nariño.*

Para realizar el análisis de la demanda se hace uso de fuentes de información primaria y secundaria.

La información secundaria se obtendrá a partir de documentos existentes que presentan de manera global la utilización de los diferentes abonos en el departamento, además de identificar los productores más representativos de los cuales se obtendrá la información primaria.

La información primaria se obtendrá a partir de una encuesta diseñada para indagar el uso de los diferentes tipos de abonos existentes en el mercado, qué cultivos son utilizados y con qué regularidad, el costo y beneficio de los mismos. La encuesta se aplicará según un plan de muestreo formulado estadísticamente.

Finalmente, toda la información recopilada será organizada y se realizará un análisis detallado que presente los abonos más utilizados y su relación beneficio costo, entre otros.

#### *A3-2 Análisis de la oferta de abonos químicos y orgánicos en el departamento de Nariño.*

Para el análisis de la oferta se obtendrá información de las diferentes empresas existentes en el departamento de Nariño, dedicadas a la producción y/o distribución de abonos orgánicos y químicos.

La recolección de la información se debe hacer por medio de visitas a las diferentes empresas, así como también apoyándose en documentos de mercado presentados por las mismas.

Los aspectos a analizar de los diferentes tipos de abonos ofrecidos al público son: características, costos y cantidades producidas y vendidas dentro de un periodo de tiempo determinado.

A la información recopilada se le realizará un análisis detallado para presentar un registro organizado de los aspectos mencionados anteriormente.

*A3-3 Comparación del abono producido con respecto a los comerciales disponibles en el mercado en cuanto a sus características, costos y efectos sobre los cultivos.*

Teniendo en cuenta la información recopilada en las actividades anteriores se realizará una tabla en la cual se registrarán los datos más relevantes que permitan una comparación del abono orgánico producido a partir del efluente resultado de los procesos bioquímicos del biodigestor, en contraste con los abonos comerciales más relevantes utilizados por la población del departamento de Nariño.

Además, se resaltarán la sostenibilidad productiva que presenta la producción del abono orgánico a partir del bioabono.

*A3-4 Formulación de un esquema empresarial para la producción y venta de abono orgánico.*

Con base en toda la información y documentación obtenida referente a la producción de abono orgánico, aplicabilidad de éste, análisis y demanda, y comparación de las características con respecto a los abonos comerciales, se formulará un esquema empresarial para posibilitar la generación de una alternativa de ingresos aportando a la sostenibilidad social y económica del proyecto.

**Objetivo 4.** Formular un documento de factibilidad para dar continuidad al proyecto.

*A1-1 Consolidación de la información y formulación del documento de factibilidad.*

Se recopilará y consolidará toda la información de los productos obtenidos como resultado de las actividades realizadas y se formulará un documento en un formato adecuado para su posterior presentación a diferentes fondos de financiación.

**4.7. Indicadores de Objetivo General, de Producto y de Gestión**

Tabla 32. Indicadores que miden el objetivo general.

Indicador	Meta	Unidad de Medida
Estudios Y Diseños Realizados	8	Número
Comunidades con proyectos productivos colectivos sostenibles	1	Número

Fuente: Esta investigación.

Tabla 33. Indicadores de producto, objetivo específico 1.

Producto	Indicador	Unidad	Fórmula	Meta	Año
Un prototipo de biodigestor	Estudios Y Diseños Realizados	Número	Ne Ne1 - Neo	1	2015
Estudio técnico del biogás producido y parámetros de funcionamiento en un biodigestor.	Estudios Realizados	Número		1	2015
Cartilla técnica sobre el aprovechamiento de biomasa con la implementación de biodigestores	Ejemplares De Cartillas Elaborados Y Difundidos	Número		1	2015
Sitio web del proyecto	Documentos de desarrollo informático aprobados	Número	Sumatoria de documentos aprobados	1	2015

Fuente: Esta investigación.

Tabla 34. Indicadores de producto, objetivo específico 2.

Producto	Indicador	Unidad	Fórmula	Meta	Año
Un documento sobre el análisis de la demanda energética en la población objetivo	Estudios de mercado realizados	Número	e	1	2015
Un documento sobre la viabilidad del proceso de enfriamiento de leche utilizando dos opciones de energía con biogás: directamente en cuarto frío y tanque de frío.	Estudios De Impacto Apoyados	Número	Total De Los Estudios Financiados	1	2015
Un diseño del sistema de enfriamiento de leche con la opción seleccionada, generación eléctrica para tanque de frío o refrigeración con biogás	Estudios Y Diseños Realizados	Número	Ne Ne1 - Neo	1	2015
Un diseño del sistema de generación de energía térmica con biodigestor para proceso de cocción en el sector doméstico	Estudios De Impacto Apoyados	Número	Total De Los Estudios Financiados	1	2015

Fuente: Esta investigación.

Tabla 35. Indicadores de producto, objetivo específico 3.

Producto	Indicador	Unidad	Fórmula	Meta	Año
Un documento técnico sobre la composición del bioabono.	Documentos de evaluación realizados	Número		1	2015
Un documento descriptivo del proceso de transformación del bioabono a abono orgánico y la aplicación de éste en cultivos de la región.	Metodologías Para Los Estudios De Impacto Planteadas	Número	Total De Las Metodologías Planteadas Por Los Estudios De Impacto Financiados Por Colciencias	1	2015
Un estudio de mercado sobre el abono orgánico en el departamento de Nariño que incluya una propuesta de esquema empresarial	Estudios de mercado realizados	Número	e	1	2015

Fuente: Esta investigación.

Tabla 36. Indicadores de producto, objetivo específico 4.

Producto	Indicador	Unidad	Fórmula	Meta	Año
Documento de factibilidad	Estudios Técnicos Y De Factibilidad Realizados	Número		1	2016

Fuente: Esta investigación.

De acuerdo con la tipología establecida por el DNP, los indicadores de gestión “cuantifican los recursos físicos, humanos y financieros utilizados en el desarrollo de las acciones; y mide la cantidad de acciones, procesos, procedimientos y operaciones realizadas durante la etapa de implementación” (DNP, 2009). A continuación se relacionan los indicadores de gestión aplicables al presente proyecto.

Tabla 37. Indicadores de gestión.

Indicador	Unidad	Fórmula	Meta	Año
Proyectos Productivos Sostenibles	Número	Pp Pp1 Ppo	1	2015
Estudios Técnicos Y De Factibilidad Realizados	Número		1	2016

Fuente: Esta investigación.

#### 4.8. Fuentes de Verificación y Supuestos

Tabla 38. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 1.

Código actividad	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
------------------	-----------	-------------------------	-----------

A1-1	Caracterización de la biomasa disponible en el sector lechero del municipio de Cumbal; mediante, análisis de composición, cantidad disponible en la región, entre otros.	Recopilación de información. Actas de compromiso, pruebas de laboratorio, informes y encuestas realizadas a la comunidad objetivo	Retraso de las actividades propuestas en el proyecto por parte del personal, condiciones climáticas no óptimas y paros.
A1-2	Caracterización de la biomasa disponible en el sector doméstico en el municipio de Cumbal; mediante, análisis de composición, cantidad disponible en la región, entre otros.	Recopilación de información, registro de salidas de campo, encuestas y reportes de actividades.	Incumplimiento de actividades por parte del personal contratado, condiciones climáticas.
A1-3	Diseño de un prototipo según las condiciones de la región, incluyendo la instrumentación electrónica para la medición de variables y parámetros de funcionamiento.	Actas de compromiso firmadas, reportes e informes de actividades.	Tardanza en la caracterización completa de la zona con los análisis de la biomasa existente y la aplicación de encuestas.
A1-4	Implementación del prototipo y su sistema de medición.	Registro fotográfico y prototipo implementado.	Demora en la entrega de materiales necesarios, condiciones climáticas adversas y cierre de vías.
A2-1	Realización de mediciones y análisis del comportamiento de los parámetros de funcionamiento del biodigestor.	Emisión de un documento consolidado con los datos de interés.	Desarrollo de la metodología, retraso por condiciones de vías cerradas y condiciones climáticas.
A2-2	Caracterización del biogás producido con biomasa procedente del sector lechero; mediante estudios de composición, caudal y poder calorífico.	Emisión del documento con la información de interés.	Demora de la entrega de resultados por parte del personal y laboratorios, falta de recopilación de información necesaria.
A2-3	Caracterización del biogás producido con biomasa procedente del sector doméstico; mediante estudios de composición, caudal y poder calorífico.	Emisión del documento con la información de interés.	Demora de la entrega de resultados por parte del personal y laboratorios falta de

			recopilación de información necesaria.
A2-4	Implementación de un sistema de prueba de generación eléctrica.	Actas de compromiso, reporte de actividades e informe de avances.	Retraso de las actividades propuestas en el proyecto por parte del personal, condiciones climáticas no óptimas.
A3-1	Articulación de la información consolidada en las actividades anteriores.	Documento con la información consolidada.	Desarrollo de una base de datos destacando información de interés.
A3-2	Impresión, distribución y socialización de la cartilla.	Registro fotográfico, listas de asistencia a las capacitaciones por parte de la comunidad.	Retraso de las actividades propuestas en el proyecto por parte del personal.
A4-1	Diseño e implementación de una plataforma web para unificar la información.	Página web puesta en marcha con información disponible.	Recolección de la información y desarrollo de los diversos estudios propuestos.
A4-2	Recopilación y organización de la información en la plataforma web.	Base de datos con la recopilación de información.	Fallas del personal contratado para el desarrollo de actividades de interés para el avance del proyecto.

Fuente: Esta investigación.

Tabla 39. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 2.

Código actividad	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
A1-1	Caracterización de la demanda energética de las asociaciones lecheras beneficiarias del proyecto	Estudio técnico de análisis de mercado.	Retraso de las actividades propuestas en el proyecto por parte del personal, condiciones climáticas no óptimas, paros y condiciones de las

			vías de transporte.
A1-2	Caracterización de los requerimientos energéticos para el proceso de cocción de los hogares beneficiarios del proyecto.	Estudio técnico de análisis de mercado.	Fallas por parte del personal, condiciones climáticas no óptimas, paros y condiciones de las vías de transporte.
A2-1	Recopilación y análisis de la información sobre el proceso de enfriamiento con biogás.	Base de datos con los resultados de interés, actas de compromiso.	Retraso en Desarrollo de las actividades propuestas en el proyecto.
A2-2	Recopilación y análisis de la información sobre la generación de energía eléctrica para alimentación de tanques de frío.	Bases de datos realizadas y adecuadas con el desarrollo de la actividad.	Condiciones adversar por las cuales no se pueda acceder a la información de interés y faltas del personal contratado para este fin.
A2-3	Elección de la opción más adecuada para el proceso de enfriamiento de leche.	Documento con los análisis y las determinaciones pertinentes de por qué se escogió la opción.	Demora en la entrega de resultados para realizar la discusión y conclusiones de las alternativas.
A3-1	Diseño de un sistema de generación eléctrica o un sistema de refrigeración con los planos y dimensionamiento correspondientes, instalaciones eléctricas o de gas, ubicación y planes de mantenimiento.	Documento con la información y anexos para su posterior puesta en marcha.	Fallas por parte del personal, condiciones climáticas no óptimas, paros y condiciones de las vías de transporte.
A3-2	Diseño del biodigestor con planos y dimensionamiento de estructura física, conexiones, ubicación.	Documento técnico con los diseños realizados, actas de compromiso firmadas.	Fallas por parte del personal, condiciones climáticas no óptimas, paros y condiciones de las vías de transporte.
A3-3	Elaboración de un instructivo de funcionamiento en cuanto a carga de biomasa, proporciones y frecuencia.	Documento con la información sobre el método más adecuado de carga.	Retraso en el desarrollo del prototipo y puesta en marcha del mismo y condiciones

			climáticas adversas.
A3-4	Análisis del impacto ambiental de los diseños elaborados para determinar su sostenibilidad en este eje.	Documento técnico sobre la información de interés.	Retraso en el desarrollo del prototipo y puesta en marcha del mismo y condiciones climáticas adversas.
A4-1	Diseño del biodigestor con planos y dimensionamiento de estructura física, conexiones, ubicación.	Documento técnico con los diseños realizados, actas de compromiso firmadas.	Retraso en el desarrollo del prototipo y puesta en marcha del mismo y condiciones climáticas adversas.
A4-2	Elaboración de un instructivo de funcionamiento en cuanto a carga de biomasa, proporciones y frecuencia.	Emisión de un documento con la información sobre el método más adecuado de carga.	Tardanza por parte del personal involucrado en esta actividad.
A4-3	Análisis del impacto ambiental de los diseños elaborados para determinar su sostenibilidad en este eje.	Documento técnico sobre la información de interés.	Retraso en el desarrollo del prototipo y puesta en marcha del mismo y condiciones climáticas adversas.

Fuente: Esta investigación.

Tabla 40. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo Específico 3.

Código actividad	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
A1-1	Realización de estudios sobre la composición del bioabono.	Análisis laboratorios especializados.	Retraso de entrega de resultados por parte del laboratorio e inapropiadas actividades de recolección de muestras para su estudio.
A2-1	Recopilación de información e identificación del proceso más adecuado de obtención de abono orgánico a partir de bioabono.	Actas de compromiso firmadas, emisión del documento con la información de interés.	Tardanza en la entrega de la base de datos para la recolección de información.
A2-2	Análisis de la aplicabilidad del abono orgánico a diferentes cultivos de la región.	Actas de compromiso firmadas, facturas de	Demora en la realización de experimentos en

		compra de materiales.	cultivos de la región e inadecuadas condiciones climáticas.
A2-3	Consolidación del proceso, de la información y emisión del documento.	Emisión del documento con la información consolidada.	Desarrollo de las actividades anteriores.
A3-1	Análisis de la demanda de abonos químicos y orgánicos en el departamento de Nariño.	Realización de las encuestas y caracterización.	Condiciones climáticas adversas, paros, retenes y condiciones de las vías de transporte.
A3-2	Análisis de la oferta de abonos químicos y orgánicos en el departamento de Nariño.	Realización de encuestas, registro fotográfico.	Condiciones climáticas adversas, paros, retenes y condiciones de las vías de transporte.
A3-3	Comparación del abono producido con respecto a los comerciales disponibles en el mercado, en cuanto a sus características, costos y efectos sobre los cultivos.	Consolidación de la información en un documento.	Desempeño del personal y las adecuadas condiciones climáticas y experimentales para la obtención de resultados.
A3-4	Formulación de un esquema empresarial para la producción y venta de abono orgánico.	Actas de compromiso firmadas y estudios realizados.	Atraso de entrega de resultados por parte del personal.

Fuente: Esta investigación.

Tabla 41. Fuentes de verificación y supuestos para actividades, Objetivo específico 4.

Código actividad	Actividad	Fuentes de verificación	Supuestos
A1-1	Consolidación de la información y formulación del documento de factibilidad.	Documento con estudios realizados y mercado identificado.	Actas de compromiso firmadas, desarrollo de las demás actividades del proyecto.

Fuente: Esta investigación.

Tabla 42. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 1.

Producto	Indicador	Fuentes de verificación	Supuestos
----------	-----------	-------------------------	-----------

Un prototipo de biodigestor.	Estudios Y Diseños Realizados	Desarrollo del documento con información del funcionamiento del biodigestor, actas de compromiso firmadas y facturas de compra de materiales.	Condiciones climáticas adversas, paros, retenes y condiciones de las vías de transporte.
Estudio técnico del biogás producido y parámetros de funcionamiento en un biodigestor.	Estudios Realizados	Emisión de un documento consolidado con información de interés, actas de compromiso.	Caracterización de la zona teniendo en cuenta las encuestas, Condiciones climáticas adversas y paros.
Cartilla técnica sobre el aprovechamiento de biomasa con la implementación de biodigestores.	Ejemplares De Cartillas Elaborados Y Difundidos	Distribución y socialización del documento informativo.	Atraso en la aplicación de la metodología de recopilación de información.
Sitio web del proyecto.	Documentos de desarrollo informático aprobados	Información a disposición del público, actas de compromiso.	Retraso en el desarrollo de la metodología para su publicación.

Fuente: Esta investigación.

Tabla 43. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 2.

Producto	Indicador	Fuentes de verificación	Supuestos
Un documento sobre el análisis de la demanda energética en la población objetivo.	Estudios De Mercado Realizados	Aplicación de encuestas a la población objetivo, registro fotográfico.	Recopilación de la información secundaria que permita caracterizar el mercado.
Un documento sobre la viabilidad del proceso de enfriamiento de leche utilizando dos opciones de energía con biogás: directamente en cuarto frío y tanque de frío.	Estudios De Impacto Apoyados	Desarrollo de los experimentos y documento de avances sobre la metodología planeada.	Demora en el desarrollo de las actividades propuestas, analizando opciones.
Un diseño del sistema de enfriamiento de leche con la opción seleccionada,	Estudios Y Diseños Realizados	Documentos técnicos con los diseños realizados, actas de compromiso y facturas del material obtenido.	Tardanza en la recopilación de información y desarrollo de la metodología

generación eléctrica para tanque de frío o refrigeración con biogás.			propuesta.
Un diseño del sistema de generación de energía térmica con biodigestor para proceso de cocción en el sector doméstico.	Estudios De Impacto Apoyados	Documento con los diseños requeridos realizados.	Recopilación de la información y caracterización del biodigestor.

Fuente: Esta investigación.

Tabla 44. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 3.

Producto	Indicador	Fuentes de verificación	Supuestos
Un documento técnico sobre la composición del bioabono.	Documentos de evaluación realizados	Emisión del documento con la información de interés.	Retraso en la recopilación de información y caracterización del bioabono, Condiciones climáticas adversas y paros.
Un documento descriptivo del proceso de transformación del bioabono a abono orgánico.	Metodologías Para Los Estudios De Impacto Planteadas	Emisión del documento con la información de interés.	Condiciones climáticas adversas, paros, retenes y condiciones de las vías de transporte.
Un estudio de mercado sobre el abono orgánico en el departamento de Nariño que incluya una propuesta de esquema empresarial.	Estudios De Mercado Realizados	Análisis de las oportunidades de mercado con el bien y/o servicio que se prestará, adecuada utilización de los recursos.	Análisis de la oferta, demanda y demás propiedades del mercado.

Fuente: Esta investigación.

Tabla 45. Fuentes de verificación y supuestos para productos, Objetivo Específico 4.

Producto	Indicador	Fuentes de verificación	Supuestos
Documento de factibilidad.	Estudios Técnicos Y De Factibilidad Realizados	Documento con estudios realizados y mercado identificado.	Condiciones climáticas adversas, paros, retenes y

			condiciones de las vías de transporte.
--	--	--	--

Fuente: Esta investigación.

#### 4.9. Bienes y/o Servicios

Para este caso los servicios o bienes que se van a ofrecer a la población objetivo son los que se muestran en la Tabla 46, teniendo en cuenta que se desarrollará la profundización de los diseños, estudios técnicos y de mercado partiendo de que no se reportan en la información secundaria la oferta y la demanda de los mismos, por ello se requiere un estudio más exhaustivo para la posible ejecución y puesta en marcha del proyecto en una fase posterior.

Tabla 46. Determinación de los bienes y/o servicios obtenidos a través del desarrollo del proyecto.

Bien o Servicio	Unidad de Medida	Descripción	Año Inicial Histórico	Año Final Histórico	Año Final del Proyecto
Cartilla demostrativa sobre el aprovechamiento de biomasa con la implementación de biodigestores	Número	Divulgación y capacitación a los productores que tratara del aprovechamiento de la biomasa con el uso de biodigestores	2009	2013	2016
Modelos interpretativos	Número	Aquí se encuentra el desarrollo del prototipo de biodigestor donde se realizara el análisis de comportamiento y variables de interés.	2009	2013	2016
Documento de factibilidad	Número	Con la información y lo experimentos hechos se realizara una consolidación de todo en este documento para su presentación a un sistema de financiación dando así continuidad al proyecto.	2009	2013	2016
Estudios y diseños	Número	Protocolos, diseño y un conjunto de estudios detallados sobre	2009	2013	2016

		el proceso del biodigestor como son los diseños estructurales, planos de construcción y funcionamiento.			
Transferencia de conocimiento	Número	Personas capacitadas sobre el aprovechamiento de la biomasa, a través de la asistencia a las capacitaciones realizadas sobre el total de la población involucrada y/o objetivo.	2009	2013	2016
Análisis sobre la producción de energía eléctrica	Número	Determinación de la energía necesaria para el proceso de refrigeración de la leche.	2009	2013	2016

Fuente: Esta investigación.

Tabla 47. Oferta y Demanda de los bienes y/o servicios dados por el proyecto.

Año	Oferta	Demanda	Déficit
2009	0	1	-1
2010	0	1	-1
2011	0	1	-1
2012	0	1	-1
2013	0	1	-1
2014	0	1	-1
2015	0	1	-1
2016	0	1	-1

Fuente: Esta investigación.

#### 4.10. Beneficios e Ingresos

Según el Manual de Valoración y Cuantificación de Beneficios (Departamento nacional de planeación, 2006), los beneficios del proyecto son derivados de las causas y efectos directos e indirectos en la identificación del problema. De acuerdo con el problema planteado, los beneficios del proyecto son:

- Beneficios por generación de empleo con la implementación de un programa

- Beneficio por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información.

La valoración de cada uno de los beneficios se detalla a continuación.

### **Beneficios por generación de empleo con la implementación del proyecto:**

Para el desarrollo del proyecto se contratará con mano de obra calificada a nivel profesional, técnicos y estudiantes de pregrado. El beneficio se valora respetando la cantidad de salarios mínimos estipulados en la tabla de pago de personal con recursos del fondo de Ciencia Tecnología e Innovación presentada por la Gobernación del Departamento de Nariño y el Consejo Departamental de Ciencia, Tecnología e Innovación de Nariño (CODECTI), en la convocatoria departamental para conformar el banco de proyectos elegibles susceptibles de ser financiados con cargo a los recursos del fondo de ciencia, tecnología e innovación del Sistema General de Regalías (SGR).

El detalle de esta valoración se presenta en la Tabla 48, donde el beneficio se obtiene teniendo en cuenta la formación del personal y sumando los salarios totales obtenidos según la dedicación mensual de la persona en la ejecución de la(s) actividad(es) para la(s) que fue contratada.

Tabla 48. Beneficios de generación de empleo.

Formación	Número de Personas	Beneficio
Técnica	1	\$ 1.310.000
Pregrado	25	\$ 326.527.734,38
Estudiantes de pregrado	14	\$ 67.344.480,00
Mano de obra no calificada	3	\$ 589.500,00
Cartilla demostrativa	600	\$ 3.000.000,00
Página web	600	\$ 3.600.000,00
<b>TOTAL</b>		<b>\$ 402.371.714</b>

Fuente: Esta investigación.

### **Ver Anexo 3. Presupuesto Completo del Proyecto.**

**Beneficio por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información:** la puesta en marcha del proyecto tiene como uno de sus productos un documento donde se describe la metodología para el aprovechamiento de la biomasa existente en el municipio de Cumbal con el uso de biodigestores teniendo en cuenta indicadores estándar, ambientales y socioeconómicos.

De esta manera se diseñará una página web que recopilará toda la información sobre el tema estudiado para esta zona y además una cartilla sobre el proceso de producción de bioabono a abono orgánico realizando así un uso eficiente de todos los productos y subproductos del biodigestor.

Con esta información, y teniendo en cuenta que se recolectara información y diseños más detallados en el transcurso del proyecto a nivel de factibilidad la cuantificación de este beneficio se valorara en un 10% del costo total del proyecto.

Tabla 49. Beneficio por aumento en la eficiencia en la búsqueda y procesamiento de la información.

Formación	Número	Valor	Beneficio
Estudios a nivel de Factibilidad	1	10% del total del proyecto	\$ 73.709.354,99
TOTAL			\$ 73.709.354,99

Fuente: Esta investigación.

#### 4.11. Horizonte del Proyecto

La ejecución y evaluación del proyecto se realizará en un tiempo correspondiente a la duración de las actividades propuestas según el cronograma, finalizando con la formulación del documento de factibilidad para darle continuidad a la solución del problema central. Por lo anterior, el horizonte de la presente propuesta es de 17 meses contados a partir de la fecha de aprobación.

#### 4.12. Impactos Esperados

En la Tabla 50 se establecen los impactos científicos y tecnológicos del proyecto en las entidades participantes, que se esperan del desarrollo de esta etapa del proyecto.

Tabla 50. Impactos científicos y tecnológicos del proyecto en las entidades participantes.

Impacto	Indicador
Formación de recursos humanos en investigación, nuevas tecnologías y en gestión tecnológica.	Estudios y diseños realizados como parte de trabajos de grado de estudiantes de pregrado.
Desarrollo de capacidades de diseño en la entidad o grupo.	Estudios y diseños realizados de forma interdisciplinaria por profesionales de diversas áreas del conocimiento.
Mejoramiento de la oferta de servicios tecnológicos.	Cartillas y documentos emitidos respecto a caracterización de la biomasa, procedimientos de uso de los biodigestores y producción de abono orgánico a partir de bioabono.

Fuente: Esta investigación.

En cuanto a los impactos sobre la productividad y competitividad de la entidad beneficiaria o el sector relacionado, y los impactos sobre el medio ambiente y la sociedad, debido a que la siguiente etapa corresponde aún a pre inversión, no se puede vincular los impactos que se esperan con un indicador verificable, sin embargo, el resultado final que corresponde a un

documento de factibilidad permitirá generar impactos importantes en los dos énfasis antes mencionados entre los que se puede destacar: formación de recursos humanos en investigación, nuevas tecnologías y en gestión tecnológica; desarrollo de capacidades de diseño; consolidación de capacidades para realizar actividades de innovación y desarrollo; mejoramiento de la oferta de servicios tecnológicos; acceso a nuevos mercados nacionales o internacionales; empleo generado; mejoramiento de la productividad y la calidad; regiones y comunidades beneficiadas por el proyecto; reducción en el consumo de recursos naturales; reducción en la generación de emisiones, vertimientos y residuos sólidos; mejoramiento de la calidad del medio ambiente; eliminación o reducción de riesgos para la salud humana; aprovechamiento sostenible de nuevos recursos naturales; mejoramiento de la calidad de vida.

#### **4.13. Efectos Ambientales**

A partir de la situación ambiental del área, se analizó e identificó los componentes ambientales susceptibles de afectación por la localización del proyecto, mediante la identificación y la evaluación de los impactos ambientales con el fin de evitar, compensar, restaurar y mitigar el deterioro del medio ambiente que pudieran provocar las actividades del mismo.

Mediante la evaluación ambiental se pretende identificar y calificar los impactos generados por las actividades tanto de construcción, de operación y de las diferentes etapas del proyecto, lo cual permite dar pautas para sugerir el respectivo plan de manejo ambiental, acordes con las necesidades y problemas presentados en el área, buscando minimizar y mitigar dichos impactos que se deberán implementar en un futuro.

Para la evaluación de impactos se aplicó la metodología de Forenses (1972) y Coles (1978), de cuya combinación de métodos permite establecer una matriz de evaluación, como una herramienta para el análisis cualitativo y cuantitativo de los impactos esperados, elementos afectados y elementos del proyecto que generaron mayor impacto, además permiten la comparación y jerarquización para obtener el orden de importancia de las medidas ambientales a implementar.

La escala de valoración para la caracterización de impactos se realizaron de acuerdo a los criterios de calificación propuestos por Coles (1987), estos son: duración, intensidad, probabilidad de ocurrencia, tendencia, reversibilidad, área de influencia, magnitud, carácter del efecto y grado de confiabilidad (ver Tabla 51 a continuación).

Dicha tabla presenta los criterios de evaluación con su respectiva categoría de calificación y la asignación de valores subjetivos, de acuerdo a una escala de valoración de los parámetros que oscila entre 0 y 3, teniendo en cuenta el valor 0 como no impacto; de otra parte se determina el tipo de impacto (directo o indirecto) y se designa el carácter del impacto si es positivo o negativo, de esta forma se detectan las actividades que causan mayores efectos, los elementos ambientales más afectados y los impactos más significativos que requieren, por lo tanto un manejo ambiental.

La magnitud del impacto resulta de promediar los seis valores dados a los parámetros de caracterización anteriores (duración, intensidad, probabilidad de ocurrencia, tendencia, área de influencia y reversibilidad) y su valor se aproximará al entero más próximo.

$$\text{Magnitud de Impacto (Mi)} = \frac{D + I + Po + T + Ai + R}{6}$$

Tabla 51. Escala de valoración para la caracterización de impactos.

Criterio de calificación	Categoría	Valor
1. Duración	Largo plazo	3
	Mediano plazo	2
	Corto plazo	1
2. Intensidad	Alta	3
	Moderada	2
	Baja	1
3. Posibilidad o probabilidad de ocurrencia	Alta	3
	Media	2
	Baja	1
4. Tendencia	Deterioro	3
	Estabilidad	2
	Mejoramiento	1
5. Área de influencia	Regional	3
	Local	2
	Puntual	1
6. Reversibilidad	Recuperable a largo plazo	3
	Recuperable a mediano plazo	2
	Recuperable a corto plazo	1
7. Magnitud del impacto	Alto	2.5 a 3.0= 3
	Medio	1.6 a 2.4= 2
	Bajo	< de 1.5= 1

Fuente: Coles. (1987). *Titulo*. Disponible en:< página web>

### Identificación de los impactos esperados.

A partir de la identificación de las actividades generadoras y los elementos o componentes del medio, se aplica el método del árbol de impacto (Sorensen, 1973), el cual mediante una relación causa-efecto, determina los impactos tipo primario (impacto directo) y secundario (indirecto).

### Caracterización de los impactos esperados.

Aplicando el método de Coles (1987), se realiza una asignación de valores numéricos subjetivos a los criterios en la Tabla 51, estos impactos se evalúan de acuerdo a:

1. **Duración:** se identifica teniendo en cuenta el tiempo durante el cual se manifiestan y permanecen los efectos o alteraciones que sufre el medio posterior a la ejecución de una acción específica.

Las categorías son:

**Largo plazo:** Esta categoría se asigna a un impacto, cuando el efecto sobre el medio permanece aún después de finalizar la acción, se califica con un valor de 3.

**Mediano plazo:** Cuando el efecto sobre el medio permanece únicamente durante el tiempo de duración de la acción, se califica con un valor de 2.

**Corto plazo:** Cuando el efecto sobre el medio es transitorio y permanece solo en un lapso de tiempo entre la recepción del impacto y la finalización de la acción. Tiene una calificación de 1.

2. **Intensidad:** Determina la dimensión o tamaño de cambio que causa el impacto sobre el elemento afectado. Las categorías asignadas son:

**Alta:** Cuando una propiedad esencial del elemento es afectada por una acción o el impacto varía las características del elemento en más de un 70%, su valoración es de 3.

**Moderada:** Cuando solo se varía algunas de las características del elemento, o su porcentaje de variación está entre 35 y 70%, se le asigna un valor de 2.

**Baja:** Cuando sólo una característica no esencial del elemento es afectada o cuando el porcentaje de variación de las características es inferior al 35%, su valor es de 1.

3. **Posibilidad de ocurrencia:** Hace referencia a la posibilidad de ocurrencia de los impactos, basados en el tipo de actividad y la sensibilidad del medio ambiente. Las categorías de la probabilidad del impacto se califican como:

**Alta:** se asigna cuando existe la certeza que el impacto va a ocurrir o por lo menos un 70% de probabilidad de ocurrencia, se califica con un valor de 3.

**Media:** cuando la probabilidad de ocurrencia varía entre 35 y 70%, el valor asignado es de 2.

**Baja:** Cuando la probabilidad de ocurrencia del impacto es baja (menor del 35% de probabilidad) o casi nula, se asigna un valor de 1.

4. **Tendencia:** Con este criterio se pretende determinar la evolución del elemento del medio después de sufrir alteraciones al efectuarse actividades que causan impactos tanto positivos como negativos, estableciéndose para su calificación tres categorías a saber:

**Deterioro:** Esta categoría se asigna a los impactos que ocasionen cambios tan fuertes sobre los elementos del medio, que traen como consecuencia un deterioro paulatino de estos. La calificación para los impactos negativos es de 3.

**Estabilidad:** Se usa para calificar los impactos que no ocasionan cambios posteriores sobre el medio, es decir que los elementos después del impacto tienden a permanecer en su estado actual. La calificación es de 2.

**Mejoramiento:** Esta categoría se utiliza para calificar los impactos de tipo positivo, que ocasionan mejoramiento en los elementos, generalmente se usa cuando se aplican las medidas de corrección y compensación necesarias. Se califica como 3 en los impactos positivos.

5. **Área de influencia:** Hace referencia al área en donde se desarrolla determinado impacto. Las categorías de calificación son las siguientes:

**Regional:** aquellos impactos que afectan a nivel de región, generalmente cubren el área de influencia indirecta del proyecto. Se valora con 3.

**Local:** Aquellos que involucran los impactos que limitan su efecto sólo a los alrededores donde se realiza el proyecto. Su calificación es de 2.

**Puntual:** Se refiere a los impactos que presentan sus efectos dentro del área donde se ejerce la acción directa. Su calificación es de 1.

6. **Reversibilidad:** Este aspecto mide el grado de recuperación de los elementos en cada uno de los Ecosistemas, después de haberse implementado las acciones correctivas para los efectos causados por los diferentes impactos durante la realización de las actividades específicas. Dentro de este aspecto se establecieron las siguientes categorías de clasificación:

**Recuperable a largo plazo:** Este aspecto sugiere que los ecosistemas pueden lograr su recuperación, después de haberse desarrollado sobre él labores de corrección, compensación y recuperación de los elementos afectados durante la realización de las actividades específicas. Se supone un tiempo aproximado no inferior de 18 meses, su calificación es de 3.

**Recuperable a mediano plazo:** Se presenta cuando después de aplicar las labores pertinentes, los ecosistemas afectados inician su recuperación en un término de seis a 18 meses, dependiendo de cada uno de los elementos del medio. Se califica con 2.

**Recuperable a corto plazo:** En esta categoría de calificación el tiempo necesario para la recuperación de los elementos de cada ecosistema afectado es de aproximadamente 3 a 6 meses. Se califica con 1.

- 7. Magnitud (MGI):** La magnitud global del impacto es el resultado de promediar los valores dados a los parámetros de calificación por lo tanto determina el grado de afectación del elemento dependiendo de su duración, probabilidad de ocurrencia, tendencia, extensión, y capacidad de recuperación del elemento afectado. Matemáticamente se expresa con la siguiente relación:

$$MGI = \frac{VCi \dots n}{Np}$$

Dónde:

MGI = Magnitud global del impacto

VC = Valor de calificación para cada parámetro por impacto

Np = Número de parámetros evaluados

Su rango de calificación sería:

Alta: Cuando el promedio oscila entre 2,5 y 3, aproximándose a 3

Media: Cuando el promedio oscila entre 1.6 y 2.4, aproximándose a 2

Baja: Cuando el promedio es inferior a 1.5, aproximándose a 1

La valoración de los impactos ambientales para el presente estudio, parte de un análisis multidisciplinario constituido por los componentes biótico, abiótico y social. Las matrices obtenidas, son el resultado de la valoración cuantitativa que se construyó bajo las categorías planteadas y registradas como información primaria en las salidas de campo. A continuación se presenta las matrices considerando las siguientes categorías:

1. Impactos ambientales negativos componente
2. Impactos ambientales positivos componente

### IMPACTOS AMBIENTALES NEGATIVOS

Se valoraron tres componentes generales, de los cuales se consideraron las categorías pertinentes y constantes para cada una de las subestaciones, de tal manera que se cruzó en total la información de 14 impactos, cuya información de entrada se presenta en la matriz 1 y se expone la valoración de 0-3 por cada etapa y cada una de las actividades de ella.

Tabla 52. Categorías valoradas para Impactos ambientales negativos.

Componente	Categorías	Número de Impactos
<b>Biótico</b>	1. Pérdida cobertura vegetal (PCV) 2. Fragmentación de vegetación (FV) 3. Destrucción hábitats (DH) 4. Desplazamiento de poblaciones (DP) 5. Erosión del suelo (ES) 6. Generación de plagas (GP)	6
<b>Abiótico</b>	1. Producción de ruido (PR) 2. Alteración del paisaje (AP) 3. Generación de residuos sólidos (GRS) 4. Generación de residuos líquidos (GRL) 5. Generación de emisiones atmosféricas (GEA)	5
<b>Social</b>	1. Variación demográfica (VD) 2. Alteración cultural (AC) 3. alteración de la calidad de vida (ACV)	3
<b>Total Impactos valorados</b>		14

Fuente: Esta investigación.

La valoración de la magnitud total de los impactos negativos por componente, permiten determinar cuál es la tendencia de impactos en cada una de las etapas del funcionamiento de un biodigestor, cuyos valores finales pueden registrarse como impactos bajos, medios, críticos y no determinados.

Tabla 53. Matriz de impactos ambientales negativos.

Etapa (Actividad)		PC V	F V	D H	D P	E S	G P	P R	A P	GR S	GR L	GE A	V D	A C	AC V
Operación	Preparación de la Carga	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
	Verificación de la concentración C/N	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0
	Llenado del Digestor	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0
	Duración de la Digestión	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	Descarga	1	1	1	0	1	3	0	0	1	1	0	0	0	0
	Actividades	0	0	0	0	0	2	0	0	1	1	0	0	0	0

	cotidianas														
	Bioabono	1	1	1	0	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gas transformado en energía	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
Cierre y/o abandono	Desmantelamiento de instalaciones y equipos	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	Adecuación de Instalaciones	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

Magnitud del impacto	
Alto	3
Medio	2
Bajo	1
No determinado	0

Fuente: Esta investigación.

Tabla 54. Valoración total de la magnitud de los impactos negativos.

Etapa (actividad)		MICB	MICAB	MICS	Tipo de Impacto
Operación	Preparación de la Carga	ND	ND	ND	INL
	Verificación de la concentración C/N	ND	ND	ND	INL
	Llenado del Digestor	ND	ND	ND	INL
	Duración de la Digestión	ND	ND	ND	INL
	Descarga	Bajo	ND	ND	INL
	Actividades cotidianas	ND	ND	ND	INL
	Bioabono	Bajo	ND	ND	INL
	Gas transformado en energía	ND	ND	ND	INL
Cierre y/o abandono	Desmantelamiento de instalaciones y equipos	ND	ND	ND	INL
	Adecuación de Instalaciones	ND	ND	ND	INL

MICB: Magnitud del Impacto Componente Biótico	INCr: Impacto negativo critico
MICAB: Magnitud del Impacto Componente Abiótico	INL: Impacto negativo leve
MICS: Magnitud del Impacto Componente social	INF: Impacto negativo fuerte
ND: Impacto no determinado	

Fuente: Esta investigación.

Si no se cuenta con biodigestores se tendría que cuantificar los daños generados al ambiente ya sea en forma de deforestación, emisiones de gases o contaminación de mantos acuíferos. Sin embargo los biodigestores deben ser manipulados según lo indicado en la literatura y adaptado a las condiciones reales del lugar de exposición.

La evaluación de los efectos que el biodigestor puede ocasionar en el medio ambiente arrojaron unas magnitudes de impactos bajos y en general leve pero cabe resaltar que es necesario realizar una adecuada disposición de los productos obtenidos como lo son el biogás en donde se debe mencionar que el gas obtenido con el biodigestor si no se quema es contaminante. De aquí la importancia de adecuar el tamaño a las necesidades de la economía doméstica. Si se prevé que no se va a utilizar, o quemar, todo el biogás que se es capaz de producir dadas las excretas y el tamaño del biodigestor es mejor no introducir más boñiga en el biodigestor. Existe la posibilidad de combinar el biodigestor con el lombricompost y así se puede dar solución para dar tratamiento a las excretas sin contaminar el medio ambiente.

Otro punto importante es el bioabono obtenido del procesamiento final del biogás que contiene cantidades relevantes de nutrientes para los suelos y principalmente para la agricultura, sus altos contenidos de nutrientes en ocasiones pueden generar un impacto negativo en los cultivos y pastizales dado a que pueden sobresaturar el suelo conllevando a la quema de las especies vegetales y en sí de los cultivos, por ello es de carácter urgente generar un control sobre la cantidad de nutrientes de cada producto que se obtiene de los biodigestores.

### IMPACTOS AMBIENTALES POSITIVOS

En cuanto los impactos ambientales positivos analizados para las etapas y actividades se continuó con la misma metodología, y se valoraron un total de seis impactos, considerando los componentes biótico, abiótico y social. La Tabla 56 muestra la matriz que representa la información cruzada por categorías y actividades dando a conocer los valores de los impactos encontrados.

Tabla 55. Categorías valoradas para Impactos ambientales positivos.

Componente	Categorías	Número de impactos
Biótico	1. Disminución de gases efecto invernadero (gei)	1
Abiótico	1. Distribución de energía (de) 2. Reducción de consumo combustible fósil (rcf)	2
Social	1. Variación demográfica (inmigración) (vd) 2. Alteración cultural (ac) 3. Incremento empleo (ie) 4. Mejoramiento de la calidad de vida (mcv)	4
<b>Total impactos valorados</b>		<b>7</b>

Fuente: Esta investigación.

Tabla 56. Matriz de impactos ambientales positivos.

Etapa (Actividad)		GEI	DE	RCF	VD	AC	IE	MCV
Operación	Preparación de la Carga	3	2	1	1	2	2	3
	Verificación de la concentración C/N	2	3	1	1	2	2	3
	Llenado del Digestor	2	3	1	1	2	2	3
	Duración de la Digestión	2	2	1	1	2	2	3
	Descarga	2	3	3	1	2	2	2
	Actividades cotidianas	2	2	1	1	2	2	2
	Bioabono	3	3	1	1	3	2	3
Gas transformado en energía	3	3	3	1	3	2	3	
Cierre y/o abandono	Desmantelamiento de instalaciones y equipos	0	0	0	1	2	2	2
	Adecuación de Instalaciones	0	0	0	1	2	2	2

Magnitud del impacto	
Alto	3
Medio	2
Bajo	1

No determinado	0
----------------	---

Fuente: Esta investigación.

Tabla 57. Valoración total de la magnitud de los impactos positivos.

Etapa (Actividad)		MICB	MICAB	MICS	Tipo de Impacto
Operación	Preparación de la Carga	Alto	Medio	Medio	IPF
	Verificación de la concentración C/N	Medio	Medio	Medio	IPC
	Llenado del Digestor	Medio	Medio	Medio	IPC
	Duración de la Digestión	Medio	Medio	Medio	IPC
	Descarga	Medio	Alto	Medio	IPF
	Actividades cotidianas	Medio	Medio	Medio	IPC
	Bioabono	Alto	Medio	Medio	IPF
Gas transformado en energía	Alto	Alto	Medio	IPF	
Cierre y/o abandono	Desmantelamiento de instalaciones y equipos	ND	ND	Medio	IPL
	Adecuación de Instalaciones	ND	ND	Medio	IPL

MICB: Magnitud del Impacto Componente Biótico	IPC: Impacto positivo considerable
MICAB: Magnitud del Impacto Componente Abiótico	IPL: Impacto positivo leve
MICS: Magnitud del Impacto Componente social	IPF: Impacto positivo fuerte
ND: Impacto no determinado	

Fuente: Esta investigación.

Como impacto positivo con la implementación de biodigestores, el ambiente es el gran beneficiado ya que se soluciona el problema de contaminación de las excretas, puede disminuir la tala de árboles y se emiten menos gases contaminantes a la atmósfera. La producción diaria de biogás permite reducir la dependencia externa de insumos: agroquímicos, gas comercial y energía eléctrica que tienen que ser compradas en el mercado y transportadas. Si se estima que el uso de biogás genera un ahorro en las emisiones de 0,43 Kg de Co<sub>2</sub>/Kwh y que cada familia consume 350 Kwh. se estaría evitando 150,5 Kg de emisiones de CO<sub>2</sub>, a lo largo del año serían 1.806 Kg de CO<sub>2</sub>.

Otro efecto de magnitud de impacto positivo amigable con el ambiente, es que si no se cocina con leña los trastos de cocina no quedan tiznados de modo que se ocupa menos agua y productos químicos para limpiarlos. Cuando el nivel de precipitación es muy alto y los ríos presentan grandes caudales los efectos contaminantes se diluyen más fácilmente.

Con relación a la magnitud de impacto positivo sociocultural los resultados permiten apreciar que hay aceptación y valoración de los remanentes de la actividad pecuaria como un desecho útil. También hay concientización sobre la importancia y el deber ciudadano de preservar el ambiente con los productos obtenidos del proceso de biodigestión satisfaciendo las necesidades primarias sin depender de los combustibles fósiles no renovables. Aspecto importante ya que en los últimos años los precios de la energía se han incrementado de forma substancial y de aquí el renovado interés en las energías limpias. Si tenemos en cuenta que en la zona rural la ubicación de las familias puede ser dispersa y que la accesibilidad no siempre es fácil y las ventajas de ser autosuficiente en la producción de energía aumentan.

El uso del efluente como fertilizante en el cultivo de las hortalizas, también puede permitir ahorro por su consumo y a la vez permite aumento en la productividad. En el caso de que los productos orgánicos obtenidos sean vendidos en el mercado, el margen de beneficio obtenido por el productor es más elevado. El consumo de alimentos más sanos junto con la menor inhalación de humo es una apuesta por la prevención.

Si se deja de utilizar la leña para cocinar las personas estarán menos expuestas a humos nocivos y serán menos los problemas respiratorios (asma, tos, cáncer) que se presentarán. La costumbre de prender el fuego con desechos plásticos que al quemarse desprende dióxidos, agrava las enfermedades causadas por el humo. Una población más sana demanda un menor gasto médico

En las actividades pecuarias abundan los insectos, especialmente moscas y zancudos, que traen a casa suciedad. Con el biodigestor se reduce la posibilidad de propagación de plagas.

El nivel de destrucción de patógenos varía de acuerdo con la temperatura y el tiempo de retención. El biodigestor evita hasta el 90% de malos olores. Un medio ambiente más sano implica una mejora de las condiciones de vida de las personas.

Las fuentes de energía renovable contribuyen al desarrollo sostenible, a proveer acceso a energía de bajo costo para los sectores de escasos recursos en las zonas rurales, a mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y a reducir la contaminación del aire. La biomasa ocupa el primer lugar dentro de las fuentes de energía renovable y hasta el momento, en nuestro país la aplicación mayoritaria se limita a la cocción de alimentos. El alza generalizada de los precios de la electricidad y del combustible, debería impulsar la investigación para reemplazar energías contaminantes por energías limpias que se pueden generar en el país.

#### 4.14. Análisis de Riesgos

Tabla 58. Análisis de riesgos.

Descripción del riesgo	Probabilidad	Efectos	Impacto	Medida de mitigación
Daño de Equipos	Probable	Retraso en el desarrollo de las actividades planteadas en el proyecto.	Alto	Realizar un mantenimiento preventivo de los equipos.
Incumplimiento de la labores por parte de los estudiantes e investigadores.	Ocasional	Retraso en el cumplimiento de las actividades del proyecto.	Moderado	Actas de cumplimiento firmadas.
Retenciones en las vías y paros.	Poco probable	Retraso en el desarrollo de la metodología del proyecto.	Moderado	Acuerdo entre las partes involucradas.
Perdida de información registrada.	Poco probable	Retraso en el desarrollo del proyecto que conlleva al no cumplimiento de los objetivos.	Moderado	Realizar copias de seguridad.
Perdida de los materiales y el material vegetal, necesarios para la toma de resultados y la realización de experimentos.	Probable	No se desarrollan las actividades propuestas.	Alto	Contar con materiales de apoyo.

Fuente: Esta investigación.

#### 4.15. Análisis de Sostenibilidad

Por las características pecuarias del municipio de Cumbal y observando la tendencia de crecimiento anual respecto a la cantidad de animales y la producción de leche presentados en la Tabla 8, basada en la información de los consolidados agropecuarios del departamento de Nariño, todo indica que la principal actividad económica seguirá siendo como hasta ahora, la explotación ganadera para la producción de leche, razón por la cual, la situación extensamente expuesta en secciones anteriores continuará siendo válida en el futuro, e incluso podrá acentuarse aún más.

Un aspecto fundamental a resaltar para el desarrollo posterior de este proyecto, es que los insumos son y serán permanentes, además de gratuitos, porque es evidente, que el estiércol de los animales no tiene costo alguno, al igual que los desechos agrícolas que podrían ser de utilidad en el funcionamiento de biodigestores; es más, esta biomasa sin el adecuado tratamiento genera un impacto negativo al medio ambiente por la liberación de gas metano a la atmósfera, que contribuye al incremento de los gases de efecto invernadero (GEI).

A continuación, se analiza por separado cada una de las opciones que se presentan en este documento, que consisten en el uso de biodigestores para el aprovechamiento de los recursos biomásicos en, el primer caso el proceso de enfriamiento de leche para las asociaciones de este sector, y en el segundo caso para la generación de energía térmica en procesos de cocción para el sector doméstico.

En cuanto al sector lechero, se ha estimado un consumo promedio de energía eléctrica por alimentación de tanques de frío de 2.000 l de 567 kWh/mes, por lo que asumiendo el valor tarifario del kWh de \$297,11 que tiene CEDENAR para el departamento de Nariño para el estrato 1 en septiembre de 2013 autorizado por CREG, se tiene que el costo total por la prestación del servicio es de \$168.461 mensual o \$2.021.536 anual. Con el incremento del 4,4% anual, para el 2014 el consumo será de 591,9 kWh/mes y el costo total por la prestación del servicio será de \$175.859 mensual o \$2.110.312 anual. Estos costos no incluyen el uso de generadores a combustible fósil, utilizados como respaldo cuando hay interrupción del servicio de energía eléctrica.

Al ser el propósito de esta opción, el realizar el proceso de enfriamiento a partir del uso de biogás producto de biodigestores, ya sea directamente o con generación de energía eléctrica, de implementarse el proyecto se eliminarían los costos antes mencionados, cabe resaltar que no todas las asociaciones tienen tanques de 2.000 l, algunas tienen de menor capacidad, hasta 1.000 l, y otras de mayor capacidad, hasta 4.000 l; los valores presentados son solo un estimado de lo que podría ser la situación promedio.

Tratando ahora la segunda opción, respecto al consumo energético para procesos de cocción, es importante destacar que en la actualidad en éste se utiliza leña mayoritariamente y GLP en menor cantidad.

En cuanto al uso de leña, es una fuente importante de CO<sub>2</sub> que incrementa los gases de efecto invernadero, por lo que es evidente que el proceso de cocción tiene un alto impacto ambiental negativo; además, el humo producido por esta práctica está en contra del bienestar de la población, afectando significativamente a la salud con problemas pulmonares y en general del sistema respiratorio. Por otra parte, no se debe dejar de lado el grave daño que deja al ecosistema la tala de bosques con el fin de suplir la demanda de leña de la población del municipio de Cumbal, que asciende a un valor per cápita de 1,88 kg/día.

En función de los estudios detallados que se realicen sobre el funcionamiento adecuado de los biodigestores se podrá disminuir porcentualmente el uso de otras fuentes de energía para el proceso de cocción, con el ideal de alcanzar una sustitución total de éstas, obviamente esto incrementa el trabajo que se debe desarrollar en investigación en la etapa posterior para que los sistemas sean realmente eficientes.

Finalmente, es importante resaltar que en las dos opciones propuestas es posible producir abono orgánico como una opción sumamente importante de fuentes de ingresos, a través de la creación de un esquema empresarial adecuado para la producción y comercialización de estos productos; con un estudio minucioso que se realice para determinar los procedimientos adecuados para producir abono orgánico utilizando el bioabono como uno de los insumos, es posible brindar sostenibilidad económica y social que sustenten el desarrollo de este proyecto.

#### **4.16. Cronograma**

Ver Anexo 2.

#### **4.17. Presupuesto**

Ver Anexo 3.

## Bibliografía

- Alcaldía municipal de Cumbal. (2012). *Plan de desarrollo municipal. Cumbal: ¡Unidos en acción por Cumbal! Periodo 2012 - 2015*. Cumbal: Alcaldía municipal de Cumbal.
- Aristizabal, A. (2008). *Evaluación de las posibles causas de aborto en vacas holstein de la granja Chimangual, Universidad de Nariño, municipio de Sapuyes mediante un análisis multivariado*. Palmira: Universidad Nacional.
- Callejo Ramos, A. (2009). *Ordeño mecánico*. Madrid: E.U. de Ingeniería Técnica Agrícola.
- Castells, X. E. (2012). *Biomasa y bioenergía*. Madrid: Ediciones Días de Santos.
- Conesa, V. (1997). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. Madrid: Ediciones MundiPrensa.
- Corona Zúñiga, I. (2007). *Biodigestores*. Hidalgo: Universidad autónoma del estado de Hidalgo.
- Coto, J., & Maldonado, J. (2005). *Implementación de un sistema para generar electricidad a partir de biogás en Earth*. Guácimo: Universidad Earth.
- DANE. (10 de Noviembre de 2013). Información estadística. Proyecciones de población 2005 - 2020 total por sexo y grupos de edad. Cumbal, Nariño, Colombia.
- Departamento nacional de planeación. (2006). *Manual de valoración y cuantificación de beneficios*. Bogotá D.C.: Departamento nacional de planeación.
- Departamento Nacional de Planeación. (2011). *Bases del plan nacional de desarrollo 2010 - 2014: Prosperidad para todos*. Bogotá D.C.: Departamento Nacional de Planeación.
- Gobernación de Nariño. (2008). *Consolidado agropecuario 2008. Información tomada de las UMATAS y la secretaría de agricultura*. San Juan de Pasto: Gobernación de Nariño.
- Gobernación de Nariño. (2009). *Consolidado agropecuario 2009. Información tomada de las UMATAS y la secretaría de agricultura*. San Juan de Pasto: Gobernación de Nariño.
- Gobernación de Nariño. (2010). *Consolidado agropecuario 2010. Información tomada de las UMATAS y la secretaría de agricultura*. San Juan de Pasto: Gobernación de Nariño.
- Gobernación de Nariño. (2011). *Consolidado agropecuario 2011. Información tomada de las UMATAS y la secretaría de agricultura*. San Juan de Pasto: Gobernación de Nariño.
- Gobernación de Nariño. (2012). *Consolidado agropecuario 2012. Información tomada de las UMATAS y la secretaría de agricultura*. San Juan de Pasto: Gobernación de Nariño.
- Gobernación de Nariño. (2012). *Plan de desarrollo departamental 2012 - 2015: Nariño mejor*. San Juan de Pasto: Gobernación de Nariño.

- Grupo de investigación Producción y sanidad animal, línea de genética y mejoramiento animal, Universidad de Nariño. (2009). *Caracterización y evaluación genética de la población bovina lechera del trópico alto de Nariño, para la conformación de núcleos de selección*. San Juan de Pasto: Universidad de Nariño.
- Herrera Chávez, B. A. (2012). *Desarrollo de un sistema de gestión de la calidad para el centro de enfriamiento de leche MADRILAC en el cantón Guano*. Riobamba: Universidad Nacional de Chimborazo.
- Hunt, D., & Johnson, C. (1996). *Sistemas de gestión medio ambiental*. Madrid: Mc Graw Hill.
- Iglesias Martínez, L. (1995). *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente*. Madrid: Secretaría General de Estructuras Agrarias.
- Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC. (2011). *Norma técnica colombiana NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos utilizados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. Bogotá D.C.: Instituto colombiano de normas técnicas y certificación ICONTEC.
- Kiely, G., & Veza, J. M. (1999). *Ingeniería ambiental: fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión*. Madrid: Mc Graw Hill.
- López A., P., & Solà P., A. (2008). *Sistematización y cuantificación de biodigestores. Areas e impactos: social, económica y ambiental*. San José: Programa de pequeñas donaciones del fondo para el medio ambiente mundial.
- Marañón, E., Sastre, H., Castrillón, L., González, J., Pertierra, J., & Berrueta, J. (1998). *Generación de residuos de ganadería vacuna (purines) en Asturias. Problemática y tratamiento*. Oviedo: Servicio de publicaciones Universidad de Oviedo.
- Metalpack Ingeniería. (2013). *Metalpack Ingeniería*. Recuperado el 13 de Octubre de 2013, de Metalpack Ingeniería: <http://www.metalpack.net/tanquesenfriamiento>
- Ministerio de la protección social. (14 de Noviembre de 2013). *Instituto nacional de vigilancia de medicamentos y alimentos INVIMA*. Recuperado el 23 de Noviembre de 2013, de Instituto nacional de vigilancia de medicamentos y alimentos INVIMA: [http://www.invima.gov.co/images/stories/aliamentos/decreto\\_616\\_2006.pdf](http://www.invima.gov.co/images/stories/aliamentos/decreto_616_2006.pdf)
- Nogués, F. S., & Royo H., J. (2002). *Ciclo energías renovables jornadas de biomasa*. Zaragoza: Fundación CIRCE.
- Pedraza, G., Chará, J., Conde, N., Giraldo, S., & Giraldo, L. (2001). *Evaluación de los biodigestores en geomembrana (pvc) y plástico de invernadero en clima medio para el tratamiento de aguas residuales de origen porcino*. Cali: Fundación centro de investigación en sistemas sostenibles de producción agropecuaria CIPAV.

- PERS Nariño. (2013). *Análisis de proyectos energéticos renovables no convencionales en América Latina*. San Juan de Pasto: PERS Nariño.
- PERS Nariño. (2013). *Base de datos: Proyectos energéticos renovables no convencionales de América Latina*. San Juan de Pasto: PERS Nariño.
- PERS Nariño. (2013). *Consumo energético del departamento de Nariño*. San Juan de Pasto: PERS Nariño.
- PERS Nariño. (2013). *Estudio del potencial biomásico y criterios de diseño de biodigestores en los municipios de Guachucal, Cumbal y Ospina del departamento de Nariño*. San Juan de Pasto: PERS Nariño.
- Rivera Toro, M. (2010). *Producción de abono orgánico y biogás mediante biodigestión anaeróbica de lodos activos*. Coquimbo: Universidad de la Serena.
- Salomon, K. R., & Silva Lora, E. E. (2009). Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil. *Biomass and bioenergy*, 1101 - 1107.
- Secretaria de agricultura, ganaderia, desarrollo rural, pesca y alimentación SAGARPA. (s.f.). *Abonos orgánicos*. Texcoco: Secretaria de agricultura, ganaderia, desarrollo rural, pesca y alimentación SAGARPA.
- Tsai, W. T. (2007). Bioenergy from landfill gas (LFG) in Taiwan . *Renewable and sustainable energy reviews*, 331 - 344.
- Unidad de planeación minero energética UPME. (2003). *Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás*. Bogotá D.C.: UPME.
- Unidad de planeación minero energética, UPME. (2013). *Proyección de demanda de energía eléctrica en Colombia*. Bogotá D.C.: UPME.
- Users Network BUN-CA. (2002). *Manuales sobre energía renovable: Biomasa*. San José: Users Network BUN-CA.
- Vasconcelos, J. (2011). *Manual de procedimientos de la dirección general de verificación y vigilancia*. México: Procuraduría federal del consumidor .
- Weiss, W., & St-Pierre, N. (2009). *Estrategias de alimentación para disminuir la producción de estiércol de vacas lecheras*. Pennsylvania: The Ohio State University.

**Plan de Energización Rural Sostenible para el  
Departamento de Nariño  
(PERS-NARIÑO)**

**Convenio Interinstitucional 110 de 2012**

**Universidad de Nariño**

José Edmundo Calvache  
RECTOR

Andrés Pantoja  
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Darío Fajardo  
COORDINADOR ADMINISTRATIVO PERS

**Unidad de Planeación Minero Energética (UPME)**

Ángela Cadena  
DIRECTORA GENERAL

Olga Leandra Rey  
COORDINADORA TÉCNICA PERS

Brenda Roncancio  
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**USAID, Programa de Energías Limpias para  
Colombia (CCEP)**

José Eddy Torres  
DIRECTOR GENERAL  
COORDINADOR TÉCNICO PERS

Catalina Álvarez  
SUBDIRECTORA  
COORDINADORA ADMINISTRATIVA PERS

**Instituto de Planificación y Promoción de  
Soluciones Energéticas para las Zonas no  
Interconectadas (IPSE)**

Carlos Neira  
DIRECTOR

Jairo Quintero  
COORDINADOR TÉCNICO PERS