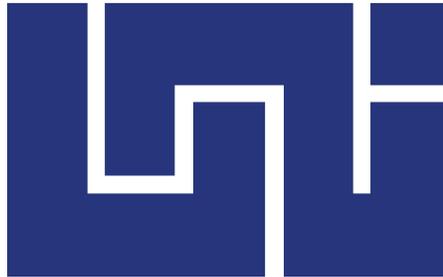


Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Electrotecnia y Computación
Ingeniería Eléctrica



Estudio técnico de factibilidad de la generación de energía eléctrica por biomasa usando biodigestores en viviendas rurales de la comunidad de “La Flor” municipio de El Almendro, Río San Juan.

Integrantes:

- Ivonne Alejandra Morales Centeno # carné: 2017-0272U
- Enoc Pravia Palacios # carné: 2017-0642U

Tutor:

Msc.Ing. Ramiro Arcia.

Managua, Nicaragua

Dedicatoria Enoc Pravia

El presente trabajo monográfico se lo dedico a:

A Dios por darme las fuerzas necesarias para superar cualquier desafío, Por la paciencia y perseverancia otorgada que me permitió lograr la culminación de mis estudios, Así como también por concederme la oportunidad de conocer personas maravillosas a lo largo de mi vida.

A mi madre Verónica Palacios Dávila y a mi padre Enoc Pravia Valdivia, que con su apoyo, paciencia, cariño y enseñanzas; me permitieron volverme la persona que soy en el presente. De igual forma a mi hermano, Maynor Ezequiel Somarriba Palacios, el cual ha sido alguien importante en el desarrollo de mi persona.

A mi Bisabuela Era Antonia Dávila Martínez (***Requiescat in pace***), quien fue uno de los pilares más importantes en mi vida. Así como también a todos los demás familiares que de alguna u otra forma me brindaron apoyo en la culminación de mis estudios.

A los amigos que he conocido a lo largo de mi estadía en la universidad, que me ayudaron en momentos difíciles y me dieron palabras de aliento para seguir adelante.

Dedicatoria Ivonne Morales

En primer lugar, quiero agradecerle a Dios por darme la fuerza y coraje durante este largo viaje.

A mis padres, por ser el motor de mi vida, la guía en todos mis proyectos y mi apoyo en todo momento.

A todos los profesores que me influenciaron en mi carrera. Especialmente a mi asesor, ha sido el supervisor de esta monografía que hoy culminamos con éxito, con quien compartí mis dudas, ansiedades sobre el tema.

Agradezco a mis compañeros y colegas que directa o indirectamente estuvieron presentes a lo largo de mi carrera.

Finalmente, a mí misma, por no haberme rendido y ser perseverante durante toda mi carrera universitaria.

Resumen

La finalidad del presente proyecto es realizar un análisis de factibilidad técnica de la implementación de un biodigestor para generar energía eléctrica en la comunidad La Flor, Rio San Juan, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los residentes de dichos lugares, mejorar su independencia económica al aprovechar el biofertilizante que es un subproducto que en tiempo reciente se ha convertido en una oportunidad de negocio; para esto, se realizará un estudio de caso en la finca ganadera “La Reforma” ubicada en la comunidad antes mencionada.

A lo largo del trabajo se presentan las condiciones requeridas para poder instalar un biodigestor, también se determina, cuanta potencia eléctrica consume una familia, los cálculos necesarios para poder precisar cuánto biogás se genera en la finca, el tamaño del biodigestor y los costos asociados a la instalación de éste, para poder finalmente concluir que tan factible puede ser para una familia de esta área rural la implementación de generación de energía con este tipo de fuente.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
Objetivo General:	2
Objetivo Específicos:.....	2
JUSTIFICACIÓN	3
ANTECEDENTES	5
MARCO TEÓRICO.....	7
Biomasa	7
Fuentes de Biomasa	7
Tipos de biomasa	9
Métodos bioquímicos	10
Procesos de conversión de biomasa	13
Biodigestor	16
Tipos de biodigestores.....	17
Biogás	19
Usos del biogás	19
DISEÑO METODOLÓGICO	22
CAPITULO I	24
1.1 Ubicación	24
1.2 Datos Generales	26
1.2.1 Censo de Carga.....	26
1.3 Consideraciones previas a la instalación de un biodigestor.....	27
CAPITULO II	29

2.1 Cálculo de demanda de Biogás	29
2.2 Obtención de Biogás.....	31
2.3 Producción de biogás “Finca La Reforma”	42
2.4 Modelo de biodigestor a instalar	43
2.4.1 Modelo chino o campana fija	43
2.4.2 Modelo Hindú.....	44
2.4.3 Biodigestor horizontal	45
2.4.5 Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario).....	46
2.5 Purificación del Biogás.....	48
2.5.1 Procedimiento con Cal.....	48
CAPITULO III	50
3.1 Dimensionamiento del Biodigestor.....	50
3.1.1 Operación de un biodigestor.....	50
3.2 Cantidad de Biomasa disponible.....	52
3.3 Volumen de Biomasa Disponible	53
3.4 Volumen de biomasa en el biodigestor	53
3.5 Volumen de biogás	54
3.6 Volumen total del biodigestor	54
3.7 Localización del Biodigestor.....	56
CAPITULO IV	58
4.1 Costos asociados a la instalación de un biodigestor.....	58
4.3 Beneficios de la instalación.....	62
CAPITULO V	63
5.1 Fincas ubicadas en la comunidad “La Flor”	63
CONCLUSIONES.....	65

RECOMENDACIONES	66
BIBLIOGRAFÍA	67
ANEXOS	69
Anexo I - Cotizaciones	69
Anexo II – Fichas técnicas	73
Anexo III – Finca “La Reforma”	77
Anexo IV – Datos Generales para cálculo de VAN y TIR”	80
Anexo V – Costo de una línea de media tensión a la finca “La Reforma”	82

INTRODUCCIÓN

Nicaragua es el país de América Central que posee la generación de electricidad más baja, pero el segundo con el porcentaje más alto de población con acceso a la electricidad. El sistema de electricidad abarca el Sistema Interconectado Nacional (SIN), que cubre más del 90% del territorio donde vive la población del país (las zonas del Pacífico, del centro y del norte completas).

Se debe de tomar en cuenta que, a nivel nacional, un 4.5% de la población no posee acceso a electricidad, ya que este porcentaje de habitantes se encuentran con un difícil acceso a la red de distribución o transmisión, y el simple hecho de hacerles llegar energía hasta sus hogares presenta un elevado costo de inversión (Ramos & Arróliga, 2020).

En el departamento de Río San Juan cuya cobertura de electrificación es del 58%. La falta de electrificación se presenta mayormente en el Municipio de El Almendro y sectores aledaños. Según (ENATREL) esta zona es atendida por la subestación llamada Corocito, que entra en operación en 1988 con capacidad instalada de 6.25 MVA, 69/24.9 KV. Atendiendo a más de 33 sectores con una población de 69,767 habitantes en ese entonces (Ramos & Arróliga, 2020).

Debido a la problemática antes mencionada, es necesario buscar otra forma de obtención de energía eléctrica.

La biomasa como fuente de energía eléctrica, tiene gran potencial en las zonas rurales de este municipio, ya que al ser en su gran mayoría un sector ganadero se puede aprovechar el estiércol de los animales para la producción de biogás.

Se pretende analizar si es factible técnicamente la implementación de este tipo de energía en las viviendas de la comunidad de “La Flor” y si esta sustenta la potencia que demandan las cargas, tomando como muestra para este estudio la finca “La Reforma” ubicada en este municipio.

OBJETIVOS

Objetivo General:

Analizar la factibilidad técnica de la generación de energía eléctrica por biomasa en viviendas rurales de la comunidad de “La Flor”, municipio de El Almendro, Río San Juan.

Objetivo Específicos:

- a) Analizar la viabilidad del diseño de biodigestores como fuentes de energía eléctrica.
- b) Determinar la manera más efectiva de obtención de biogás utilizando el estiércol animal para su provecho en la generación de energía eléctrica por medio de biodigestores.
- c) Comparar la producción de biogás del estiércol de los distintos animales para diagnosticar cuál de ellas tiene mayor potencial.
- d) Establecer los costos asociados al diseño e instalación de un biodigestor y los equipos que se utilizaran para la generación de energía eléctrica.
- e) Comparar el costo/beneficio de la implementación de generación de energía eléctrica por medio de un biodigestor aprovechando el estiércol animal.

JUSTIFICACIÓN

El biogás es una alternativa para obtener una fuente de energía limpia, que aprovecha los desechos orgánicos que a diario se producen. Este tipo de generación de energía eléctrica es uno de los métodos de producción de energía que se ha convertido en un tema de gran interés en la actualidad, a través de la cual es posible obtener como producto final una fuente de energía renovable (Payan & Corea, 2013).

Por medio de este estudio, se pretende evaluar si la aplicación de un biodigestor en la comunidad “La Flor”, municipio de El Almendro, departamento “Río San Juan” para la producción de energía eléctrica es factible, de llegar a una conclusión positiva, se estaría contribuyendo a la auto-sustentabilidad y mejora de la calidad de vida del lugar, además habría un impulso en la utilización de este elemento en los lugares aledaños que sufren la problemática de la inaccesibilidad al servicio de energía eléctrica.

Los aspectos en los que contribuiría un biodigestor (sin quedar limitado solamente a la producción de energía eléctrica) son muy variados, en lo ambiental, se estaría aportando a la disminución de contaminantes producidos por la quema de leña, puesto que, al ser una zona rural, la leña representa el principal combustible empleado en la cocción de alimentos, así como para la calefacción residencial (Banco Interamericano de Desarrollo, 2013).

De igual forma se destaca, que lo expresado anteriormente entra también en el aspecto de salud, debido a que la sustitución de la leña por un combustible menos contaminante evitaría el surgimiento de enfermedades respiratorias como lo puede ser la bronquitis, ataques de asma, entre otros (El humo de la leña y su salud, 2021).

En cuanto a lo económico, permite la creación de empleos, puesto que se necesita de mano de obra para llevar a cabo su construcción y también se debe resaltar que además de la producción del biogás, se genera un bioabono (puede ser sólido o líquido) el cual es un residuo degradado y estabilizado, por lo que se puede aplicar en dosis importantes a las plantas, sin mayores riesgos. Este bioabono puede ser

utilizado en el propio lugar o ser vendido para obtener una remuneración por la inversión empleada en la construcción del biodigestor (Universidad Nacional de Cuyo, s.f).

Por último, en el aspecto social, de llegar a emplearse a gran escala en la localidad, se permitirá abastecer de energía eléctrica a escuelas y centros de salud que se encuentren en vía de planificación, mejorando de esta forma el progreso en el lugar y la calidad de vida de las personas.

ANTECEDENTES

A lo largo de los años se han realizado diferentes estudios tanto en el ámbito nacional como internacional, en la generación de electricidad por medio de biogás utilizando los denominados biodigestores. La finalidad de dichos estudios era el de satisfacer la necesidad de energía eléctrica a una determinada comunidad que poseyera los recursos necesarios para la implementación de un biodigestor, así como también el análisis de factibilidad sobre la implementación de dicho elemento.

Entre los estudios realizados destacan cuatro de ellos, el primero llevado a cabo por estudiantes de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua (UNAN), el segundo efectuado por el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el tercero realizado por la división de energía del banco interamericano de desarrollo (BDI) y el cuarto ejecutado por estudiantes de la Universidad Nacional De Ingeniería (UNI).

En el documento redactado por los estudiantes de la UNAN, se pretende producir energía eléctrica por medio del biogás proveniente de los desechos orgánicos de la universidad, utilizando para ello una turbina, de la misma manera, se detalla el análisis de la cantidad de biomasa que se puede producir, el tipo de biodigestor a emplear, entre otras cosas (Payan & Corea, 2013).

El estudio efectuado por el ICE pretende utilizar el biogás producido por un biodigestor ubicado en la finca lechera Los Ayotes, para proveer de energía eléctrica a la misma, por medio de una planta de combustión interna de 45 kW, así mismo, el abono orgánico resultado de la biodigestión fue utilizado para fertilizar los pastos de la finca (Instituto Costarricense de Electricidad, 2011).

El documento realizado por el BDI es un análisis de la factibilidad técnico-económica para la generación de electricidad a partir del biogás recuperado en vertederos de residuos sólidos urbanos (RSU). Para ello, realizan una descripción de las tecnologías disponibles para la generación de electricidad a partir de biogás de rellenos sanitarios considerando ventajas y desventajas de cada una (Blanco et al., 2017).

Por último, en el estudio realizado por los estudiantes de la UNI, se detalla la propuesta de diseño para un biodigestor alimentado con la pulpa de café, este dirigido para la cooperativa “El Polo” R.L ubicada en el municipio de San Sebastian de Yali - Jinotega. En dicho trabajo se realiza primeramente un análisis sobre la cantidad de residuos de pulpa de café que genera el beneficiado húmedo “El POLO” R.L., de la misma forma se efectúa un cálculo teórico del potencial de biogás que puede generar la pulpa de café y se concluye con la realización del diseño propio de un biodigestor con el fin de crear beneficios económicos y ambientales a la cooperativa y a los caficultores (Martinez & Romero, 2017).

MARCO TEÓRICO

A fin de obtener una mejor comprensión sobre el estudio actual, es necesario abarcar toda información relevante relacionada a los distintos elementos y fenómenos químicos que intervienen sobre la investigación en cuestión, los cuales serán detallados a continuación.

Biomasa

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, macadamia), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basura orgánica y otros). (BUN-CA, 2002)

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.

Desde la prehistoria, la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto, en hornos y cocinas artesanales e, incluso, en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, producción de vapor y generación de electricidad. (BUN-CA, 2002)

Fuentes de Biomasa

Las fuentes de biomasa que pueden ser usadas para la producción de energía cubren un amplio rango de materiales y fuentes: los residuos de la industria forestal y la agricultura, los desechos urbanos y las plantaciones energéticas, se usan, generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de combustibles fósiles. (BUN-CA, 2002)

Plantaciones Energéticas

Estas son grandes plantaciones de árboles o plantas cultivadas con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación. (BUN-CA, 2002)

Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía: caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma de aceite, girasol o soya y algunas plantas acuáticas como jacinto de agua o las algas, para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel.

Residuos Forestales.

Los residuos de procesos forestales son una importante fuente de biomasa que actualmente es poco explotada en el área centroamericana. La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa; en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte. (BUN-CA, 2002)

Desechos agrícolas.

La agricultura genera cantidades considerables de desechos (rastros): se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%.

Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para

proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. (BUN-CA, 2002)

Desechos industriales

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía, los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales (cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos. (BUN-CA, 2002)

Desechos urbanos

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen un considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía “limpia”. (BUN-CA, 2002)

Tipos de biomasa

Con lo expresado anteriormente, Se puede realizar una serie de agrupaciones según la fuente de biomasa, de esta manera la biomasa se clasifica en (Centrales de biomasa y sus tipos, 2021):

- Biomasa natural: Es la que se produce en la naturaleza sin la intervención humana.
- Biomasa residual: Son los residuos orgánicos que provienen de las actividades de las personas (residuos sólidos urbanos (RSU) por ejemplo).

- Biomasa producida. Son los cultivos energéticos, es decir, campos de cultivo donde se produce un tipo de especie concreto con la única finalidad de su aprovechamiento energético.

Métodos bioquímicos

El correcto manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican un reciclaje de estas materias orgánicas, transformándolas en productos con valor agregado.

La población microbiana juega un importante papel en las transformaciones de estos residuos orgánicos especialmente si se considera que disponen de un amplio rango de respuestas frente a la molécula de oxígeno, componente universal de las células. Esto permite establecer bioprocesos en función de la presencia o ausencia de oxígeno, con el objeto de tratar adecuadamente diversos residuos orgánicos. (Varnero, 2011)

Digestión aeróbica

La digestión aeróbica, consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. (Varnero, 2011)

Es un proceso mediante el cual los lodos son sometidos a una aireación prolongada en un tanque separado y descubierto. El proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y la autooxidación de la materia celular.

En las primeras fases del proceso de digestión aeróbica, cuando una población de microorganismos se pone en contacto con una fuente ilimitada de sustrato, los microorganismos se reproducen con una tasa de crecimiento poblacional logarítmico que sólo está limitada por su propia habilidad de reproducirse. La tasa de consumo de oxígeno aumenta rápidamente debido a la absorción y asimilación de materia orgánica para la síntesis de nueva masa protoplasmática.

A medida que progresa la oxidación de la materia orgánica disponible, la tasa de crecimiento bacteriano empieza a disminuir. Las fuentes de carbono orgánico disponibles se hacen limitantes, y por consiguiente, también se presenta una disminución en la tasa de consumo de oxígeno. Cuando la cantidad de materia orgánica disponible es apenas suficiente para garantizar la subsistencia de las distintas especies de microorganismos, éstos comienzan a autooxidarse mediante su metabolismo endógeno. (Varnero, 2011)

Ventajas del proceso aeróbico

- Facilidad de operación del sistema
- Bajo capital de inversión (comparado al proceso anaeróbico)
- No genera olores molestos y reduce la aparición de organismos patógenos.

Desventajas del proceso aeróbico

- Altos costos de operación debidos a los altos consumos de energía.
- Falta de parámetros y criterios claros para su diseño
- La dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío.

Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás. (Varnero, 2011)

En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas

enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. (Varnero, 2011)

Clasificación del proceso anaeróbico

El proceso anaeróbico se clasifica como: fermentación o respiración anaeróbicas, dependiendo del tipo de aceptores de electrones. (Varnero, 2011)

→ Fermentación anaeróbica

En una fermentación anaeróbica, la materia orgánica es catabolizada en ausencia de un aceptor de electrones externo mediante microorganismos anaeróbicos estrictos o facultativos a través de reacciones de oxidación-reducción bajo condiciones de oscuridad. El producto generado durante el proceso acepta los electrones liberados durante la descomposición de la materia orgánica. Por lo tanto, la materia orgánica actúa como dador y aceptor de electrones. En la fermentación, el sustrato es parcialmente oxidado y, por lo tanto, sólo una pequeña cantidad de la energía contenida en el sustrato se conserva. (Varnero, 2011)

Es importante destacar que, la mayor parte (dos tercios) del metano se produce mediante fermentación anaeróbica en el cual el acetato actúa como dador y aceptor de electrones. La producción de metano mediante esta vía se conoce comúnmente como metanogénesis acetotrófica. La fermentación anaeróbica se puede aplicar para la recuperación de biocombustibles (hidrógeno y butanol) y productos bioquímicos (nisina y ácido láctico).

Respiración anaeróbica

La respiración anaeróbica, es un proceso biológico de oxido-reducción de monosacáridos y otros compuestos en el que el aceptor terminal de electrones es una molécula inorgánica distinta del oxígeno, y más raramente una molécula orgánica. La realizan exclusivamente algunos grupos de bacterias y para ello utilizan una cadena transportadora de electrones análoga a la de las mitocondrias en la respiración aeróbica. (Varnero, 2011)

La respiración anaeróbica requiere aceptores de electrones externos para la disposición de los electrones liberados durante la degradación de la materia orgánica. Los aceptores de electrones en este caso pueden ser CO_2 , SO_4^{2-} ; o NO_3^- La energía liberada es mucho mayor a la que se produce durante la fermentación anaeróbica.

Cuando el CO_2 acepta los electrones liberados por la materia orgánica, se reduce a gas metano (CH_4). La producción de metano mediante esta vía se conoce como metanogénesis hidrogenotrófica y es responsable de un tercio de la producción total de metano. Ciertos microorganismos anaeróbicos también utilizan el CO_2 como aceptor de electrones y reducen el hidrógeno a ácido acético. La presencia de sulfato en un ambiente anaeróbico desvía parte de la materia orgánica hacia la reducción de sulfato mediante un grupo especializado de bacterias anaeróbicas conocido como bacterias reductoras de sulfato. La liberación de sulfuro de hidrógeno, gas de olor penetrante, es característico en ambientes anaeróbicos en los cuales el sulfato actúa como aceptor de electrones. (Varnero, 2011)

Procesos de conversión de biomasa

Antes de que la biomasa pueda ser usada para fines energéticos, tiene que ser convertida en una forma más conveniente para su transporte y utilización. A menudo, la biomasa es convertida en formas derivadas tales como carbón vegetal, briquetas, gas, etanol y electricidad. (BUN-CA, 2002)

Procesos de combustión directa:

Esta es la forma más antigua y común, hasta hoy, para extraer la energía de la biomasa. Los sistemas de combustión directa son aplicados para generar calor, el cual puede ser utilizado directamente, por ejemplo, para la cocción de alimentos o para el secado de productos agrícolas. Además, éste se puede aprovechar en la producción de vapor para procesos industriales y electricidad. Las tecnologías de combustión directa van desde sistemas simples, como estufas, hornos y calderas, hasta otros más avanzados como combustión de lecho fluidizado. (BUN-CA, 2002)

Procesos termo-químicos:

Estos procesos transforman la biomasa en un producto de más alto valor, con una densidad y un valor calorífico mayor, los cuales hacen más conveniente su utilización y transporte. Cuando la biomasa es quemada bajo condiciones controladas, sin hacerlo completamente, su estructura se rompe en compuestos gaseosos, líquidos y sólidos que pueden ser usados como combustible para generar calor y electricidad. (BUN-CA, 2002)

- Producción de carbón vegetal: Este proceso es la forma más común de la conversión termo-química de temperatura mediana. La biomasa se quema con una disponibilidad restringida de aire, lo cual impide que la combustión sea completa. El residuo sólido se usa como carbón vegetal, el cual tiene mayor densidad energética que la biomasa original, no produce humo y es ideal para uso doméstico.
- Gasificación: tipo de pirólisis en la que se utiliza una mayor proporción de oxígeno a mayores temperaturas, con el objetivo de optimizar la producción del llamado “gas pobre”, constituido por una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y metano, con proporciones menores de dióxido de carbono y nitrógeno. Este se puede utilizar para generar calor y electricidad, y se puede aplicar en equipos convencionales, como los motores de diésel.

Procesos bio-químicos:

Estos procesos utilizan las características bio-químicas de la biomasa y la acción metabólica de organismos microbiales para producir combustibles gaseosos y líquidos. (BUN-CA, 2002)

- Combustibles alcohólicos: de la biomasa se pueden producir combustibles líquidos como etanol y metanol. El primero se produce por medio de la fermentación de azúcares y, el segundo por la destilación destructiva de madera.
- Biodiesel: a diferencia del etanol, que es un alcohol, el biodiesel se compone de ácidos grasos y ésteres alcalinos, obtenidos de aceites vegetales, grasa animal y grasas recicladas. A partir de un proceso llamado “transesterificación”, los aceites derivados orgánicamente se combinan con alcohol (etanol o metanol) y se alteran químicamente para formar ésteres grasos como el etil o metilo éster. Estos pueden ser mezclados con diesel o usados directamente como combustibles en motores comunes.

Biodigestor

Un “biodigestor”, es un recinto cerrado herméticamente, donde crecen en anaerobiosis (sin oxígeno), microorganismos; protozoarios, hongos y bacterias, que degradan la materia orgánica disuelta en un medio acuoso; dando como resultado BIOGÁS. (Manual de biogás, S. f.)

Los biodigestores pueden diseñarse a diferentes escalas, según los objetivos y las posibilidades de los interesados, la cantidad de materia prima disponible como sustrato y las demandas energéticas de los beneficiarios.

El biogás producido por la fermentación se puede almacenar en un depósito en la parte superior del digestor, llamada domo o campana de gas. Esta campana de almacenamiento puede ser rígida o flotante. En algunos casos, está separada del digestor y se le llama gasómetro. (Varnero, 2011)

Este gasómetro es una campana invertida, sumergida en un tanque de agua, que además de almacenar el gas, ejerce presión sobre el gas para el consumo.

Los digestores se pueden construir enterrados o sobre el suelo, utilizando diferentes materiales de construcción, como, por ejemplo, ladrillos o vaciado de cemento.

La campana puede ser metálica, de madera recubierta de plástico o de ferrocemento. La carga y descarga de los residuos puede ser por gravedad o bombeo.

Características del biodigestor

Para que un biodigestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características (Varnero, 2011):

- Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.

- Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- El contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad.
- Contar con medios para efectuar la carga y descarga del sistema.
- Tener acceso para el mantenimiento.
- Contar con un medio para romper las natas o costras que se forman.

Tipos de biodigestores.

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. (Varnero, 2011)

- Continuos: Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales.
- Semi continuos: Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor Indiano y Chino.

- Discontinuos o régimen estacionario: Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo iniciando un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada.

Biogás

Es una mezcla de gases compuesta, en su mayor parte, por metano y dióxido de carbono en proporciones que varían según el residuo degradado. Este gas es obtenido en el proceso de digestión anaeróbica que libera la energía química contenida en la materia orgánica en forma de biogás. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. Se pueden adaptar cocinas, calefones, estufas, pantallas, generadores etc., para que funcionen con biogás. (Instituto Multidisciplinario de Energía, s.f.)

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 kW h m ⁻³
Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kg m ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

Fig1. Características de la composición del biogás. (Varnero, 2011)

Usos del biogás

Existen diversas opciones para la utilización del biogás. Dentro de éstas destacan la producción de calor o vapor, generación de electricidad y combustible de vehículos. (Varnero, 2011)

- Producción de calor o vapor: El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y

calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación

- Generación de electricidad o combinación de calor y electricidad: Los sistemas combinados de calor y electricidad utilizan la electricidad generada por el combustible y el calor residual que se genera. Algunos sistemas combinados producen principalmente calor y la electricidad es secundaria. Otros sistemas producen principalmente electricidad y el calor residual se utiliza para calentar el agua del proceso. En ambos casos, se aumenta la eficiencia del proceso en contraste si se utilizara el biogás sólo para producir electricidad o calor. Las turbinas de gas (microturbinas, desde 25 hasta 100 kW y turbinas grandes, > 100 kW) se pueden utilizar para la producción de calor y energía, con una eficiencia comparable a los motores de encendido por chispa y con un bajo mantenimiento. Sin embargo, los motores de combustión interna son los usados más comúnmente en este tipo de aplicaciones.
- Combustible para vehículos: El uso vehicular del biogás es posible y en la realidad se ha empleado desde hace bastante tiempo. Para esto, el biogás debe tener una calidad similar a la del gas natural, para usarse en vehículos que se han acondicionado para el funcionamiento con gas natural. La mayoría de los vehículos de esta categoría han sido equipados con un tanque de gas y un sistema de suministro de gas, además del sistema de gasolina normal de combustible. El biogás puede ser utilizado en motores de combustión interna tanto a gasolina como diésel. El gas obtenido por fermentación tiene un octanaje que oscila entre 100 y 110 lo cual lo hace muy adecuado para su uso en motores de alta relación volumétrica de compresión, por otro lado, una desventaja es su baja velocidad de encendido.

Aspectos ambientales, económicos, técnicos, legales y sociales resultantes del uso de los combustibles biomásicos en Nicaragua

Ambientales:

El uso eficiente de la biomasa forestal para la producción de energía genera ventajas ambientales sobre la utilización de combustibles fósiles (Dirección de productos forestales, 1995):

- Constituye un recurso natural renovable y por tanto, una fuente permanente de energía.
- Recuperar grandes áreas ganaderas y agrícolas marginales a la actividad productiva.
- El aprovechamiento de la energía producida a partir de biomasa forestal, de plantaciones forestales, podrá aportar una contribución de mantener un equilibrio provechoso entre la liberación de CO₂ y la fijación fotosintética del carbono.

Importancia de la generación eléctrica a partir de biomasa para la energización rural

La importancia de la generación por biomasa se podría valorar en términos de consumo, valor económico, empleo, medio ambiente, generación de ingreso, como combustible disponible en comparación a aquellos importados y alternativos. (Dirección de productos forestales, 1995)

Las condiciones actuales en el país permiten plantear que los ingenios y las industrias son actualmente una alternativa importante para desarrollar la energización rural como fuente de sustitución.

Además de contribuir a mejorar el medio ambiente, los programas de producción renovables, de transformación racional y de uso adecuado de las energías renovables pueden constituirse en importantes elementos de dinamización de un proceso de desarrollo rural integrado. (Dirección de productos forestales, 1995).

DISEÑO METODOLÓGICO

La Metodología utilizada para la investigación en este trabajo es mixta, para poder así realizar un buen estudio de la factibilidad técnica de diseñar un biodigestor en la comunidad “La Flor” a base de las heces de los animales.

En la investigación se realizará un “Estudio de Casos”, específicamente en la finca “La Reforma”, que se encuentra ubicada dentro de la comunidad, con el fin de hacer el análisis y estudio para así el resultado replicarlo a las demás viviendas de esta misma comunidad.

Para el análisis de la viabilidad del diseño de un biodigestor, se hará un censo de carga en la finca “La Reforma”, para esto se viajará al lugar y anotar los datos pertinentes. Luego, se determinará la cantidad de heces necesarias para poder sustentar la potencia eléctrica solicitada en la finca, tomando como referencia investigaciones realizadas en la UNAN (Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua) y monografías de la UNI. Con ayuda del manual de construcción creado por la Universidad de Cuyo, Argentina, se determinará la forma correcta y más viable de diseñar el biodigestor para solventar la falta de energía eléctrica.

Para poder determinar la mejor forma de producir biogás con el estiércol de animales, se retomarán datos de monografías encontradas en el repositorio de la UNI (Universidad Nacional de Ingeniería), así como también de la UNAN (Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua); también se utilizará información de las empresas Tecnosol, Plastitank y Aqualimpia, las cuales diseñan, instalan y venden los materiales para la implementación de biodigestores en el país. Con el manual de uso de biodigestores realizado por la Universidad de Cuyo, Argentina, se señalarán los factores implicados para generar energía con el estiércol de animales.

En cuanto al proceso comparativo, se dispone que la cantidad de animales en manos de la finca “La Reforma”, se establece en al menos 1195 cabezas, esta cantidad se divide por 4 especies, como lo son vacuna (1100), equina (40), porcina (15) y aves (40), dichas especies con su respectiva cantidad serán empleadas para

la comparación de parámetros relacionados a cantidad promedio de estiércol en kg/día, poder calorífico en MJ/kg y volumen de biogás en m³/kg. (Barro Gómez et al., 2017). Para poseer un punto de referencia de los parámetros mencionados anteriormente, se tomarán como apoyo los artículos científicos provenientes de instituciones educativas como UNAM FAREM - Estelí, Uniguajira (Universidad de La Guajira, Colombia) y UNT (Universidad Nacional de Trujillo, Perú)

En el proceso de comparación se utilizará el software Microsoft Excel, en el cual, por medio de un cuadro comparativo, se introducirán los datos correspondientes y se evidenciarán las respectivas características de cada uno de los elementos comparados; permitiendo la elección del elemento con mayor potencial.

Para el estudio económico, se determinará cuáles son los elementos vinculados al diseño e instalación de un biodigestor, para posteriormente determinar el costo de cada uno de ellos aplicado al lugar ya antes mencionado, de igual forma, se aplicará el mismo proceso para el sistema de generación de electricidad, que será por medio de un generador adaptado al biodigestor para utilizar el biogás como combustible. Cabe destacar que, los elementos y sus costos serán representados dentro de una tabla construida en el software Microsoft Excel. En cuanto a información y datos técnicos, se tomará como referencia aquella proveniente de la empresa TECNOSOL, la cual es una empresa especializada en ese tipo de instalaciones y así mismo la procedente de la empresa CAT, la cual es distribuidora de sistemas para generación de electricidad con biogás.

Finalmente, tomando como referencia los datos investigados anteriormente, se realizará una comparación haciendo uso de organizadores gráficos del beneficio que se obtiene implementando los biodigestores como generación de energía y el costo que tiene la compra e instalación de los materiales y equipos asociados a este.

CAPITULO I

1.1 Ubicación

Comunidad “La Flor”

La comunidad “La Flor”, es una zona rural localizada en el municipio “El Almendro”. Se encuentra 250km de distancia de Managua por carretera Managua – San Carlos en las coordenadas 11.777376247822012, -84.6586703236902. (Google Maps, 2005)



Fig 2. Vista Satelital de comunidad “LA FLOR” (Google Maps, 2005)

La Flor, se encuentra a 177 mts de altitud. Con una población aproximadamente de 947 personas. En su mayoría, los habitantes de esta localidad se dedican a la ganadería, siendo únicamente un 20% quienes se dedican al cultivo.

Finca “La Reforma”

La finca La Reforma, es una de las tantas fincas ubicadas en la comunidad “La Flor”. Se encuentra a 3.6km de esta comunidad en las coordenadas 11.801795609042077, -84.69085583223597



Fig 3. Vista Satelital de finca “LA REFORMA” (Google Maps, 2005.)

1.2 Datos Generales

Datos Generales	
Finca	LA REFORMA
Propietario/a	Ivon del Socorro Morales Otero
Ubicación	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro
Departamento	Rio San Juan
Tamaño del territorio	800 Mz o 5.6 km ² equivalente
Personas que habitan	8
Tipos de animales	Cantidad
Porcino	50
Cérvidos (Venados)	4
Mular	8
Equinos	60
Bovinos	1100
Perros	3
Patos	3
Gallinas	50

1.2.1 Censo de Carga

Tabla 2. Censo de Carga. Fuente: Propia

CENSO DE CARGA					
Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Voltaje (V)	Corriente Unit. (A)	Corriente Total (A)
Televisor	1	120	120	1.00	1.00
Cafetera	1	1090	120	9.08	9.08
Licuada	1	550	120	4.58	4.58
Horno / tostador	1	1150	120	9.58	9.58
Microondas	1	1580	120	13.17	13.17
Abanico	4	58	120	0.48	1.93
Bombillos	15	12	120	0.10	1.50
	W Instalados:	4560		I total:	38.00
	kW Instalados:	4.56			

1.3 Consideraciones previas a la instalación de un biodigestor.

Para la instalación de un biodigestor, se debe tener en cuenta las características del lugar principalmente, la cercanía al área de aprovechamiento de gas o a la zona de generación de residuos. El lugar también debe contar con provisión de agua para la alimentación del digestor, no necesariamente potable. (Universidad Nacioneal de Cuyo - Programa Biocombustibles).

Un factor que define la producción de gas es la temperatura, la misma debe ser cercana a 37°C y mantenerse constante el mayor tiempo posible, de esta forma, se mejorará el rendimiento del proceso, y en consecuencia la producción de biogás. Con temperaturas menores a 15°C el proceso se vuelve muy lento o tiende a detenerse. A su vez la variación de temperaturas puede producir la interrupción del proceso, ya que las bacterias, responsables de la generación de biogás, no toleran bien los cambios de temperatura. (Universidad Nacioneal de Cuyo - Programa Biocombustibles)

Si la zona donde se pretende instalar el biodigestor no cumple con los requerimientos de temperatura, se evalúen alternativas de aislamiento y calefacción. (Universidad Nacioneal de Cuyo - Programa Biocombustibles)

Se debe determinar:

- Lugar de instalación (en relación con la cercanía de residuo, agua y aprovechamiento de gas)
- Espacio disponible para la instalación
- Temperaturas promedio (invierno/verano)
- Método de calefacción o aislación
- Disponibilidad de mano de obra para la construcción
- Disponibilidad de agua
- Tipo de residuo
- Ámbito de aplicación

Para la finca la reforma, se determina:

Tabla 3. Consideraciones Previas

Lugar de instalación:	Dentro de las instalaciones de la finca La Reforma
Temperatura:	33°C (The Weather Channel, 2014)
Disponibilidad de agua (Ver anexos):	Existe una <ul style="list-style-type: none">- presa artificial- Un tanque para agua llenado por una bomba sumergible.
Tipo de residuo:	Estiércol animal
Ámbito de aplicación:	Generación de energía eléctrica

CAPITULO II

2.1 Cálculo de demanda de Biogás

Para comenzar a dimensionar los elementos necesarios para instalar un biodigestor, analizaremos el consumo diario que actualmente tiene la finca. Este consumo será el que tendrá que cubrir la producción de energía con el biogás.

Tabla 4. Consumo diario de energía eléctrica. Fuente: Propia

Descripción	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo (horas diarias)	Consumo diario (Wh/día)	Consumo diario (KWh/día)
Televisor	1	120	3	360	0.36
Cafetera	1	1090	2	2180	2.18
Licuadaora	1	550	1	550	0.55
Horno / tostador	1	1150	1	1150	1.15
Microondas	1	1580	4	6320	6.32
Abanico	4	58	10	2320	2.32
Bombillos	15	12	15	2700	2.7
	Total, KW:	4.56		Total KWh/día	15.58

Una vez conocida la demanda eléctrica, se puede hacer una estimación inicial de la cantidad de biogás necesaria para producir energía.

La composición del biogás depende fundamentalmente del tipo de sustrato utilizado y digerido en el proceso y su alta concentración en metano, por tanto, se tomarán en cuenta las siguientes consideraciones:

- Un (1) m³ de estiércol produce en condiciones normales de temperatura y presión (CNTP) 30 m³ de biogás con 55% de metano (CH₄). (Cifuentes, 1991)
- Un (1) m³ de biogás posee aproximadamente 5.500 kilocalorías. (Universidad Nacional de Cuyo - Programa Biocombustibles)
- 1 m³ de biogás equivale, aproximadamente a unos 6,04kWh eléctricos. (Sanchez, 2018)

- Un (1) m³ de estiércol, después de ser mezclado con agua, queda con un volumen de 1.5m³

Utilizando la fórmula (Sanchez, 2018):

$$\text{Ec1. Biogás necesario} = \frac{1KWh}{6.04KWh/M^3 * \%metano}$$

Se obtienen los resultados del biogás necesario en la finca,

Tabla 5. Biogás necesario. Fuente: Propia

Descripción	Consumo diario (KWh/día)	Biogás necesario (m ³ /día)
Televisor	0.36	0.108
Cafetera	2.18	0.656
Licuada	0.55	0.166
Horno / tostador	1.15	0.346
Microondas	6.32	1.902
Abanico	2.32	0.698
Bombillos	2.7	0.813
Total:	15.58	4.690

Luego de calcular el biogás que se necesita para solventar la demanda eléctrica, se debe calcular el consumo de biomasa diario que tendrá la finca “La Reforma” (Cifuentes, 1991):

$$\text{Ec2. CBD} = \frac{G \times 1.5}{30}$$

Donde:

CBD = Cantidad de Biomasa Diario

G = Biogás necesario

1.5 = Volumen de 1 m³ de estiércol mezclado con agua.

30 = Días del mes

Para la finca La Reforma, el consumo de biomasa diario será de 0.2345m³/día.

2.2 Obtención de Biogás

Para determinar la forma más efectiva de producción de biogás, primeramente, se debe tener una noción sobre los diferentes parámetros que intervienen directa o indirectamente en su producción.

Se establece que los microorganismos, especialmente los metanogénicos, son altamente susceptibles a los cambios en las condiciones ambientales. La biotecnología anaeróbica requiere de un cuidadoso monitoreo de las condiciones ambientales.

Algunas de estas condiciones ambientales son:

Naturaleza y composición bioquímica de materias primas.

Las diversas materias primas que se pueden utilizar en la fermentación metanogénica, pueden ser residuos orgánicos de origen vegetal, animal, agroindustrial, forestal, doméstico u otro.

Las características bioquímicas que presenten estos residuos deben permitir el desarrollo y la actividad microbiana del sistema anaeróbico. El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores). (Varnero, 2011)

En el caso de estiércoles animales, la degradación de cada uno de ellos dependerá fundamentalmente del tipo de animal y la alimentación que hayan recibido los mismos.

Los valores tanto de producción como de rendimiento en gas de los estiércoles presentan grandes diferencias. Esto es debido al sinnúmero de factores que pueden intervenir en el proceso, que hacen difícil la comparación de resultados.

El contenido de agua de estas diversas materias primas varía entre 10 a 90% del peso fresco del residuo, dependiendo de la edad y órgano del residuo, formas de obtención. Los componentes orgánicos de estos residuos son variados y corresponden aproximadamente a un 50% del peso fresco, en función del contenido de agua y de las cenizas.

Los principales grupos que se distinguen son: carbohidratos (50% del total de la materia orgánica seca), compuestos nitrogenados (20%), lignina (10 a 40%) y el resto fracciones como cera, resinas, grasas. La composición promedio de la materia orgánica seca es: 48%C; 44%O; 7%H; 2%N. Los minerales presentes como calcio, potasio, magnesio, fósforo, azufre y elementos trazas son del orden de 1 a 10% del peso seco. (Varnero, 2011)

En términos generales, se pueden clasificar los sustratos en cuatro clases en función de su apariencia física, nivel de dilución, grado de concentración y características cuantitativas, como el porcentaje de sólidos totales (ST), sólidos volátiles (SV) y demanda química de oxígeno (DQO).

Los sustratos de clase 1 pueden degradarse eficientemente en digestores tipo Batch o por lotes.

Los sustratos de la clase 2 son degradados de manera eficiente en digestores mezcla completa de operación continua.

Por presentar una dilución mayor y en consecuencia una DQO menor, **los sustratos de clase 3** deben tratarse con digestores de alta eficiencia, como los de filtro anaerobio.

En cuanto a los **sustratos de clase 4**, debido a su alto contenido de DQO deben ser degradados en digestores aerobios intensivos para mayor eficiencia.

Características	Clase	Tipo de Sustrato	Características Cuantitativas
Sólido	1	Basura Doméstica	> 20 % ST 40-70 % Fracción Orgánica
		Estiércol Sólido	
		Restos de Cosecha	
Lodo altamente contaminado, alta viscosidad	2	Heces Animales	DQO 100-150 g/l 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces Animales de cría y levante diluido con agua de lavado	3-17 g/l DQO 1-2 g/l SS
		Aguas residuales de mataderos	
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustrias	5-18 g/l DQO
		Aguas Negras	4-500 g/l DQO

Fig 4. CLASIFICACION DE SUSTRATOS. (Varnero, 2011)

Estiércol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m ³ /kg húmedo	m ³ /día/año
Bovino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

Fig.5. Producción de biogás por tipo de residuo animal. Varnero, 2011)

Relación carbono/nitrógeno de las materias primas.

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. (Varnero, 2011)

La descomposición de materiales con alto contenido de carbono, superior a 35:1, ocurre más lentamente, porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo,

por la falta de nitrógeno, pero el período de producción de biogás es más prolongado. En cambio, con una relación C/N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso.

En términos generales, se considera que una relación C/N (carbono/nitrógeno) óptima que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir, C/N = 30/1. Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas (Varnero, 2011)

Materiales	% C	% N	C/N
Residuos animales			
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
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	44	0.06	730:1

Fig.6. Valores promedios aproximados de la relación carbono/nitrógeno en algunos residuos.
(Varnero, 2011)

Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles.

Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante que considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. (Varnero, 2011)

Experimentalmente se ha demostrado que una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12 % de sólidos totales para asegurar el buen funcionamiento del proceso, a diferencia de los digestores discontinuos, que tienen entre un 40% a 60% de sólidos totales.

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca.

Materias primas	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0
Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0 – 90.0
Paja arroz	88.0 – 92.6
Leguminosas (paja)	80.0 – 80.0
Tubérculos (hojas)	10.0 – 20.0
Hortalizas (hojas)	10.0 – 15.0
Aserrín	74.0 – 80.0

Fig.7. Datos promedios sobre el contenido de sólidos totales de diversos residuos (Varnero,2011)

Temperatura

Los procesos anaeróbicos, al igual que muchos otros sistemas biológicos, son fuertemente dependientes de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura.

A medida que aumenta la temperatura, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, dando lugar a mayores producciones de biogás.

La temperatura de operación del biodigestor es considerada uno de los principales parámetros de diseño, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica.

Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos:

- Psicrófilos (por debajo de 25°C)
- Mesófilos (entre 25 y 45°C)
- Termófilos (entre 45 y 65°C)

Siendo la velocidad máxima específica de crecimiento (μ_{max}) mayor, conforme aumenta el rango de temperatura. Dentro de cada rango de temperatura, existe un intervalo para el cual dicho parámetro se hace máximo, determinando así la temperatura de trabajo óptima en cada uno de los rangos posibles de operación.

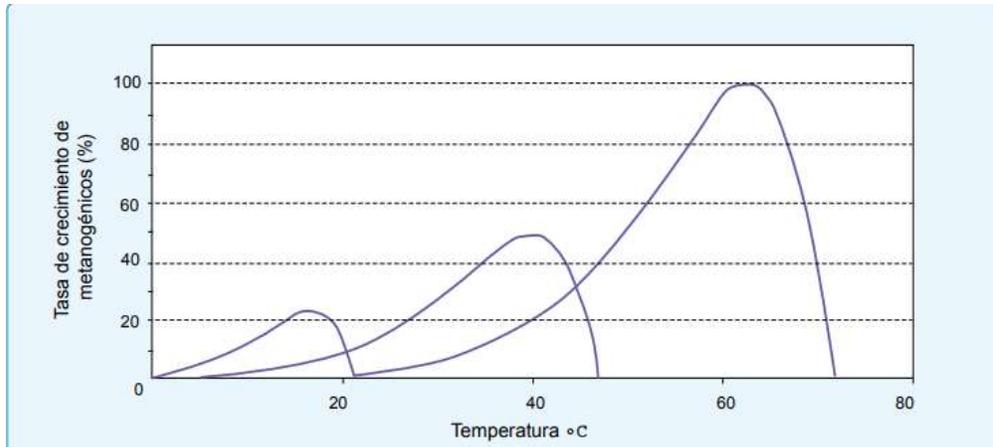


Fig.8. Tasa de crecimiento relativo de microorganismos psicrófilos, mesófilos y termófilos. Varnero, 2011)

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psychophilica	4-10 °C	15-18°C	20-25°C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35°C	35-45°C	30-60 días
Thermophilica	25-45°C	50-60°C	75-80°C	10-15 días

Fig.9. Rangos de Temperatura y Tiempo de fermentación Anaeróbica . (Varnero, 2011)

Como regla general, la actividad biológica se duplica cada incremento en 10°C dentro del rango de temperatura óptima Para un óptimo funcionamiento del digestor, se recomienda que el tratamiento anaeróbico se diseñe para que opere con variaciones de temperatura que no excedan los 0.6 – 1.2 °C /día. (Varnero, 2011)

Tiempo de retención hidráulico (TRH) y velocidad de carga orgánica

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El tiempo de retención, junto con la velocidad de carga orgánica determinada por el tipo de sustrato, son los principales parámetros de diseño, definiendo el volumen del digestor. La materia orgánica o sólidos volátiles (SV) se refiere a la parte de la materia seca (MS) o sólidos totales (ST), que se volatilizan durante la incineración a temperaturas superiores a 550°C. Los residuales de animales pueden tener un contenido de MS mayor del 10 % de la mezcla agua estiércol. Según los requerimientos operacionales para un reactor anaerobio, el contenido de MS no debe exceder el 10 % de la mezcla agua estiércol en la mayoría de los casos. Por eso, los residuales de granjas se deben diluir antes de ser tratados. (Varnero, 2011)

La eficiencia de la producción de biogás se determina generalmente expresando el volumen de biogás producido por unidad de peso de MS o SV. La fermentación de biogás requiere un cierto rango de concentración de MS que es muy amplio, usualmente desde 1% al 30%. La concentración óptima depende de la temperatura.

Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación para obtener una buena producción de biogás. Si se toma como ejemplo típico el uso de estiércol de ganado, los TRH varían con la temperatura media de cada región, con la variación diaria estacional.

Tiempo de retención hidráulico	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas. Ej. Indonesia, Venezuela, América Central.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos. Ej. India, Filipinas, Etiopía.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos. Ej. China, Corea, Turquía.

Fig.10. Tiempo de retención hidráulico de estiércol de ganado en distintas regiones. (Varnero,2011)

En un digester que opera a régimen estacionario o “discontinuo”, el tiempo de retención es el que transcurre entre la carga del sistema y su descarga. En un sistema de carga diaria (régimen semicontinuo), el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digester. (Varnero, 2011)

Es decir que, para un tiempo de retención de 30 días, cada día se carga 1/30 del volumen total del digester, y en promedio los residuos orgánicos y la masa microbiana permanecen 30 días dentro del sistema. La cantidad de biogás producido por un digester dependerá, entre otros, de la cantidad de residuo cargado diariamente. Generalmente se trabaja con tiempos de retención entre 20 y 55 días y con cargas diarias de 1 a 5 kg de sólidos totales por metro cúbico de digester. Por lo tanto, mientras menor sea el tiempo de retención, el tamaño del digester se reduce y también los costos.

Rangos de pH y alcalinidad

El proceso anaeróbico es afectado adversamente con pequeños cambios en los niveles de pH (que se encuentran fuera del rango óptimo). Los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal. (Varnero, 2011)

Para que el proceso se desarrolle satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6.0 ni subir de 8.0. El valor del pH en el digester no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad. Los acidogénicos son significativamente menos sensibles a valores más extremos de pH.

En los procesos anaeróbicos, la caída del pH es causada frecuentemente por la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) y/o por la excesiva acumulación de dióxido de carbono. Una de las primeras opciones para resolver el problema es reducir la tasa de carga orgánica volumétrica, hasta el punto en el cual los AGV se consuman más rápido de lo que se generan. Una vez que el exceso de AGV se ha agotado, el pH del sistema retorna a los rangos de operación normales y la metanogénesis comienza a repuntar.

La carga orgánica volumétrica puede incrementarse gradualmente a medida que el proceso se recupera, hasta completar la capacidad de carga. En circunstancias extremas, además de la disminución de la carga orgánica volumétrica se puede suplementar algún químico para ajustar el pH.

El pH de un sistema anaeróbico, operando dentro de los rangos aceptables, es controlado principalmente por la alcalinidad natural del sistema. La destrucción de la materia orgánica, principalmente las proteínas, liberan amoniaco. Cada mol de nitrógeno orgánico teóricamente genera un equivalente de alcalinidad. El amoniaco reacciona con el dióxido de carbono durante una reacción bioquímica para producir bicarbonato de amonio, el cual contribuye a la alcalinidad del sistema.

Nutrientes (niveles de sales)

Al igual que en todas las operaciones bioquímicas, se requieren macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza) en el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomasa. Sin embargo, una de las ventajas de los procesos de digestión anaeróbica, frente a los procesos aeróbicos, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaeróbicos. La cantidad de nitrógeno y fósforo requerido para la síntesis de biomasa puede calcularse asumiendo la fórmula empírica de una célula bacteriana anaeróbica como $C_5 H_7 O_2 N$. La masa celular consiste en aproximadamente 12% de nitrógeno, lo cual significa que unos 12 g de nitrógeno se requieren por cada 100 g de biomasa anaeróbica producida. (Varnero, 2011)

La demanda de fósforo corresponde a $1/7 - 1/5$ de la demanda de nitrógeno. Como regla general, se asume que un 10 % de la materia orgánica removida (DQO) durante el proceso anaeróbico se utiliza para la síntesis de biomasa. Esto puede utilizarse para calcular los requerimientos de nitrógeno y fósforo.

Además del nitrógeno y el fósforo, se han identificado otros diversos nutrientes traza como esenciales para los microorganismos anaeróbicos. Los metales traza tales como hierro, cobalto, molibdeno, selenio, calcio, magnesio, zinc, cobre, manganeso, tungsteno y boro a niveles de mg /L y la vitamina B12 en niveles de $\mu\text{g/L}$, se ha encontrado que mejoran la producción de metano.

Potencial redox

Para adecuado crecimiento de los anaerobios obligados el valor del potencial redox se debe mantener entre -220 mV a -350 mV a pH 7.0 de manera de asegurar el ambiente fuertemente reductor que las bacterias metanogénicas necesitan para su óptima actividad. Cuando se cultivan metanogénicas, se incorporan agentes reductores fuertes tales como sulfuro, cisteína o titanio III para ajustar el medio a un potencial redox adecuado. (Varnero, 2011)

2.3 Producción de biogás “Finca La Reforma”

El estiércol animal, es el método de obtención de biogás que se utilizará en la finca “La Reforma” para poder generar energía eléctrica.

Utilizando los datos presentados en la Fig.5, se estima cuanta producción de biogás se obtiene con el estiércol de los animales que hay en la finca.

Tabla 6. Producción de biogás en finca “La Reforma. Fuente: Propia

Estiércol	Cantidad de animales	Disponibilidad kg/día	Relación Excreta: Agua	Cantidad de agua (Lts)	Rendimiento de Biogás (m ³ /kg)
Bovino	1100	11000	1:1	11000	44
Porcino	50	112.5	1:1 a 1:3	112.5	3
Aves	53	9.54	01:03	28.62	4.24
Ovino	0	0	1:2 a 1:3	0	0
Equino	68	680	1:2 a 1:3	2040	2.72

El mayor aporte de biogás lo tiene el estiércol bovino.

2.4 Modelo de biodigestor a instalar

Para elegir el tipo de biodigestor a instalar en la finca “La Reforma”, primeramente, se conocerán los modelos según su tecnología y simplicidad de instalación.

Entre los modelos convencionales se encuentran:

2.4.1 Modelo chino o campana fija

Los biodigestores de este tipo son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados. (Varnero, 2011)

Al iniciar el proceso, se llena con residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor. (Varnero, 2011)

En este tipo de biodigestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del sistema. A medida que aumenta el volumen del gas almacenado en el domo del digestor, aumenta su presión forzando al líquido, en los tubos de entrada y salida a subir y llegándose a alcanzar presiones de hasta 100 cm de columna de agua. Se generan entre 0.15 y 0.20 volúmenes de gas por volumen de digestor/día. Como consecuencia de la variación de presión, la que aumenta al generarse el gas y disminuye al consumirse éste, se reduce la eficiencia en los equipos consumidores.

Periódicamente se extrae una parte del líquido en fermentación a través del tubo de salida, mediante una cubeta y una o dos veces al año el digestor se vacía completamente aplicando el residuo (sólido) a los campos de cultivo. A pesar de que el digestor chino es poco eficiente para generar biogás, es excelente en la producción de bioabono, ya que los tiempos de retención son en general largos y además se tiene gran cantidad de este material cuando se necesita para mezclar con el suelo antes de la siembra. Los tiempos de retención de operación para los biodigestores tipo chino son de 30 a 60 días, requiriéndose para alcanzar la misma

eficiencia (máximo 50% de reducción de la materia orgánica) de 1/2 a 1/3 de este tiempo de retención en los biodigestores tipo hindú. (Varnero, 2011)

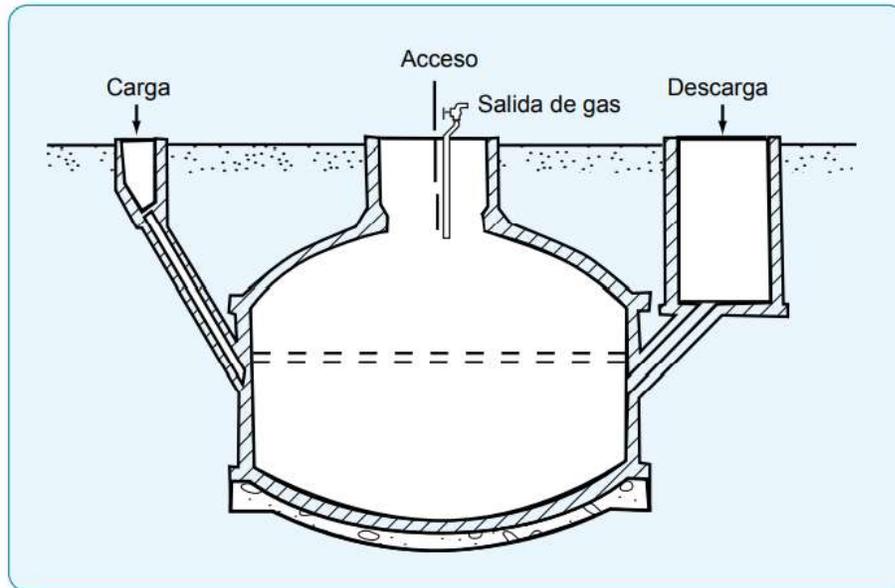


Fig.11. Biodigestor tipo chino. (Varnero, 2011)

2.4.2 Modelo Hindú

Estos biodigestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación. (Varnero, 2011)

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores. (Varnero, 2011)

La entrada de la carga diaria por gravedad hasta el fondo del pozo, además de producir agitación, provoca la salida de un volumen equivalente de lodos digeridos, desde la superficie o desde el fondo, según el diseño del sistema, los que se hacen fluir hasta una pileta para su aplicación a los cultivos. Para aumentar la retención de la materia prima, posee un tabique central. En este caso, los materiales usados son preferentemente excretas, las que deben estar bien diluidas y mezcladas homogéneamente.

Este tipo de digester presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0.5 y 1,0 volumen de gas por volumen de digester por día. (Varnero, 2011)

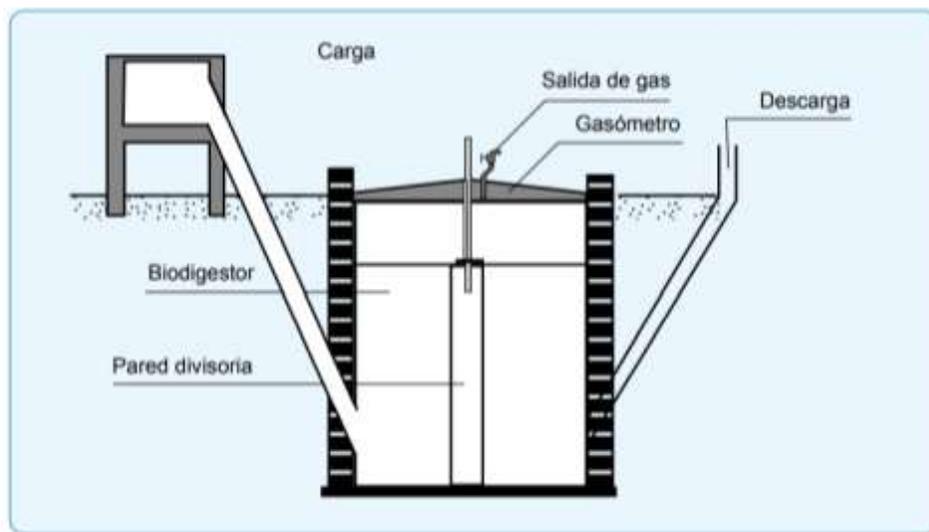


Fig.12. Biodigestor tipo Hindú. (Varnero, 2011)

2.4.3 Biodigestor horizontal

Estos digestores se construyen generalmente enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en "V". Se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digester y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie. (Varnero, 2011)

Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de $15 m^3$, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática. (Varnero, 2011)

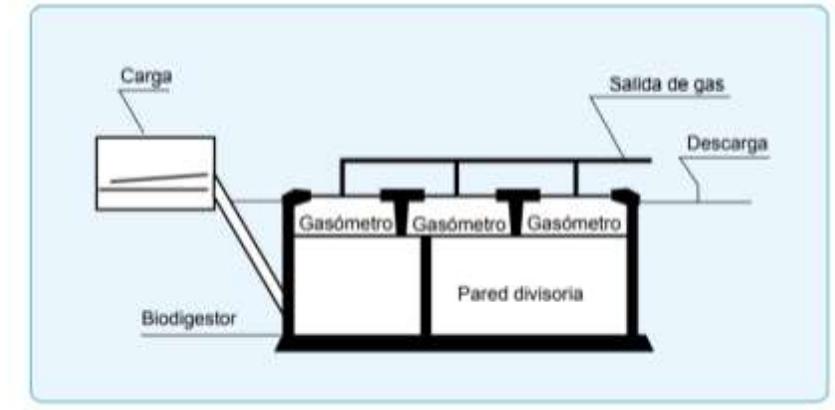


Fig.13. Biodigestor tipo horizontal. (Varnero, 2011)

2.4.5 Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario).

Este tipo consiste en una batería de tanques o depósitos herméticos (digestores) con una salida de gas conectada con un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. (Varnero, 2011)

El objetivo de disponer de más un digestor es tener siempre uno de ellos en carga o en descarga, mientras el resto se encuentra en producción de biogás.

La alimentación o carga del digestor con la materia prima, sólida, seca, se realiza por lotes (discontinuamente) y la carga de los residuos estabilizados se efectúa una vez que ha finalizado la producción de biogás. (Varnero, 2011)

Este sistema discontinuo es aplicable en situaciones particulares, como sería la de materias primas que presentan problemas de manejo en un sistema semi continuo y continuo, o materiales difíciles de digerir metanogénicamente o cuando las materias primas a procesar están disponibles en forma intermitente, como es el caso de los rastrojos de cosecha. (Varnero, 2011)

Está destinado a pequeñas y grandes explotaciones agropecuarias, su uso a escala doméstica es poco práctico. (Varnero, 2011)

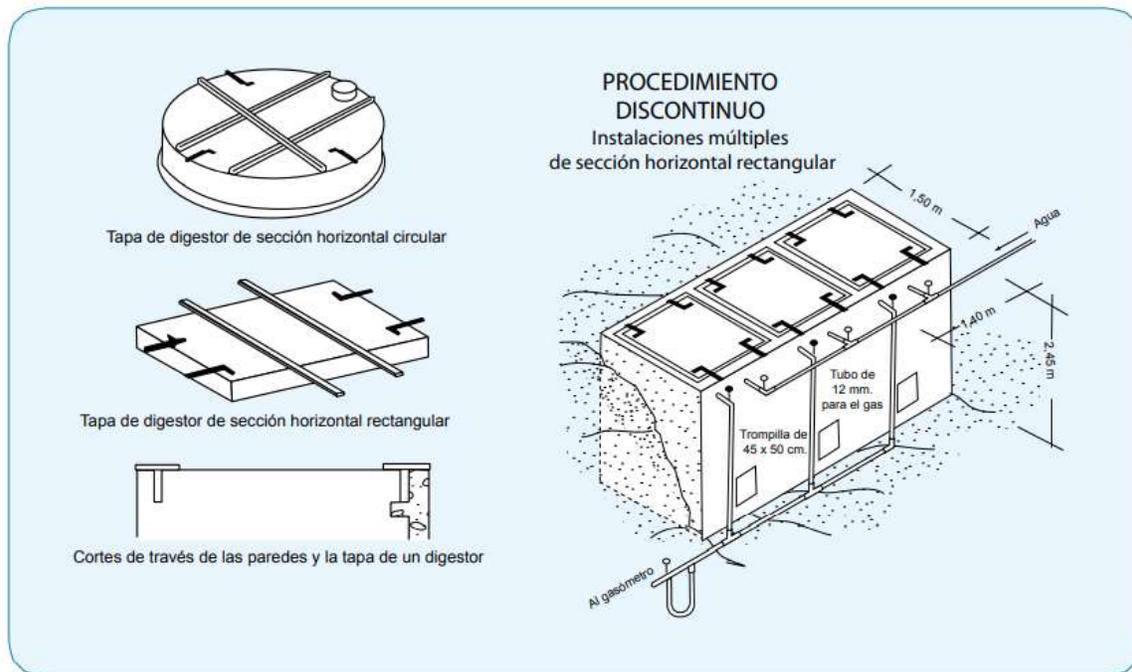


Fig.14. Biodigestor tipo discontinuo. (Varnero, 2011)

El Modelo de Biodigestor elegido para esta investigación es el modelo hindú, el cual si bien es cierto que no es el más económico lo compensa con su excelente eficiencia en la producción de biogás, además los tiempos de retención de operación son la mitad de tiempo comparado al Modelo chino. (Varnero, 2011)

Los Biodigestores de Modelo Hindú son recomendados para zonas Rurales, ya que poseen la ventaja de trabajar a presión constante con lo cual se puede determinar la cantidad de gas almacenado por el nivel de la campana. (Reyes, 2018)

Por último, en Nicaragua existen diferentes empresas locales que distribuyen este tipo de biodigestores (Ejemplo de ello es la empresa Plastitank) por lo que su obtención no es ningún Problema.

2.5 Purificación del Biogás

El problema que plantea el uso de este combustible es que contiene ácido sulfhídrico (H_2S), un gas con un alto poder corrosivo que deteriora las instalaciones, por lo que es necesario eliminarlo antes de utilizar el biogás. Existen tecnologías que permiten eliminar este ácido, mediante la combinación de procesos químicos y biológicos. (Reyes, 2018)

En la práctica la purificación del biogás no es más que la remoción del dióxido de carbono o el sulfuro de hidrógeno o ambos. El dióxido de carbono es eliminado para aumentar el valor del biogás como combustible. El sulfuro de hidrógeno se elimina para disminuir el efecto de corrosión sobre los metales que están en contacto con el biogás. Existen varios procesos de eliminación del H_2S , pero los que más se ajustan a una planta artesanal por sus costos, son procedimientos “secos”. La desulfuración del biogás se basa en la reacción química de H_2S con una sustancia apropiada. (Reyes, 2018)

2.5.1 Procedimiento con Cal

Es el procedimiento de desulfuración de gases con cal viva o apagada, ya sea en forma sólida (trozos) o como solución acuosa, produce gran cantidad de residuos malolientes. Las soluciones acuosas o suspensiones de cal apagada requieren gran cantidad o despliegue de aparatos para su operación.

En presencia de grandes cantidades de CO_2 en el gas, como se da el caso en el biogás, es difícil lograr una eliminación satisfactoria del H_2S . El CO_2 también reacciona con cal viva o apagada y la consume demasiado rápido. Procedimientos utilizando masas ferrosas en forma de tierra natural o de ciertos minerales ferrosos son utilizados frecuentemente para eliminar el H_2S . En este caso los contenidos de óxidos de hierro, en las masas ferrosas reaccionan con el H_2S obteniéndose sulfuros y agua. (Reyes, 2018)

El principio de estos equipos de desulfuración consiste en un cajón o tonel. En su parte interior se encuentra la masa purificadora ya preparada. Esta es depositada sobre varias planchas perforadas, de manera que las capas purificadoras no

sobrepasen un espesor de 20 a 30 cm de lo contrario la masa se comprimiría con suma facilidad, aumentando su resistencia al paso de biogás que entra en el cajón (purificador) por la parte superior, fluye a través de la masa, abandona el purificador por la parte superior ya liberada de H_2S . (Reyes, 2018)

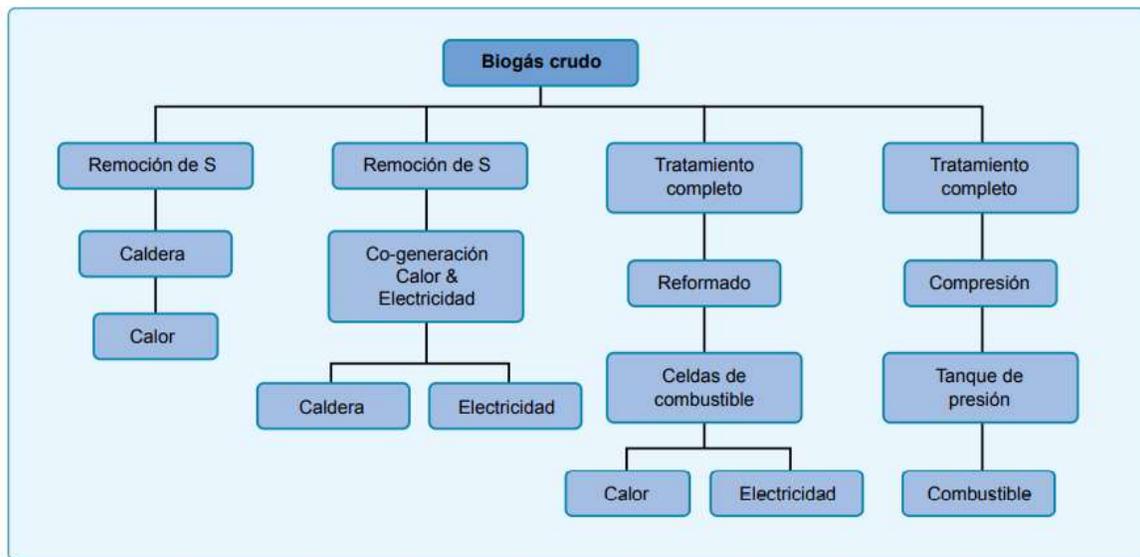


Fig.15. Alternativas de utilización del biogás y sus requerimientos de purificación. (Varnero, 2011)

CAPITULO III

3.1 Dimensionamiento del Biodigestor

Antes de dimensionar un biodigestor se debe conocer cómo es su operación.

3.1.1 Operación de un biodigestor

Una buena operación del biodigestor será el que defina en última instancia la calidad y cantidad de biogás que se desea obtener, por ello es necesario abarcar un poco sobre los diferentes procesos para su mantenimiento.

Dilución

Siempre que se alimente el biodigestor con residuos orgánicos, es necesario colocar la misma cantidad en volumen de agua. Por ejemplo, si se carga 10kg de residuo, se debe agregar 10lt de agua. Para cargar el biodigestor se necesita un recipiente, balde o similar, que ayude a visualizar el volumen de residuos que se carga. Luego de medir el sólido en el balde, éste se volcará en la cámara de carga y luego se agregará la misma cantidad de agua que arrastrará los residuos hacia la cámara de digestión. (Instituto Multidisciplinario de Energía, s.f.)

Simultáneamente se producirá la descarga que también debe ser recogida en tachos o baldes para utilizarla luego como abono. Si durante la carga llegara a formarse un tapón con los residuos agregados, éste puede removerse fácilmente empujándolo con una varilla hacia adentro del caño de carga.



Fig.16. Operación de un Biodigestor. (Instituto Multidisciplinario de Energía, s.f.)



RESIDUOS (por 1kg)	AGUA
Estiércol vacuno	1 a 1,5lt
Estiércol porcino	1lt
Estiércol de pollos parrilleros (cama de aserrín)	2 a 2,5lt
Estiércol de gallinas ponedoras	2 a 2,5lt
Desechos de vegetales de huerta	1lt
Residuos amiláceos o azucarados (papa, remolacha)	1lt
Residuos de comida	1lt
Sorgo	5lt

Fig.17. Relación entre tipo de residuo y cantidad de agua que se necesita para la dilución. (Instituto Multidisciplinario de Energía, s.f.)

Agitación

Cada vez que se alimenta el biodigestor debe agitarse. La agitación produce que el sustrato cargado entre en íntimo contacto con las bacterias que se encuentran dentro del biodigestor. Es recomendable agitar el digestor varias veces por día, y siempre que se lo alimente para mejorar el rendimiento y acelerar el proceso de degradación. (Instituto Multidisciplinario de Energía, s.f.)

Aclimatación

Para comenzar a operar el biodigestor se debe procurar que la alimentación sea gradual, ya que las bacterias deben aclimatarse al nuevo residuo a descomponer. Esto debe tenerse en cuenta cuando se cambia la alimentación del biodigestor a otro tipo de residuo (Instituto Multidisciplinario de Energía, s.f.).

Por último, se debe mencionar que la cantidad de biogás producida dependerá del diseño del biodigestor elegido, el cual estará relacionado con la necesidad a resolver, las heces a emplear y el sitio donde se instalará. El volumen del biodigestor puede determinarse siempre y cuando se tenga claro el tipo de sustrato a emplear, ya que las ecuaciones existentes emplean el tiempo de retención hidráulico y la cantidad de sustrato introducido.

Luego de entender cómo funciona un biodigestor, se harán los cálculos necesarios para su dimensionamiento.

3.2 Cantidad de Biomasa disponible

Para obtener este cálculo se debe conocer la cantidad de excreta diaria producida en la finca.

Utilizando la formula:

Ec3. $C_{bd} = C_e + C_{H_2O}$ (Sanchez, 2018)

Siendo,

C_{bd} = Cantidad de Biomasa Disponible

C_e = Cantidad de Excreta

C_{H_2O} = Cantidad de agua

Se obtiene que:

Tabla 7. Cantidad de Biomasa Disponible. Fuente: Propia

Estiercol (peso aproximado)	Cant. De animales	relación Excreta: Agua	Disponibilidad kg/día (por cada animal)	Disponibilidad kg/día	Cantidad de agua (Lts)	Cantidad de Biomasa Disponible (Cbd) (Kg)
Bovino	1100	1.1	10	11,000.00	11,000.00	22,000.00
Porcino	50	1:1 a 1:3	2.25	112.50	112.50	225.00
Aves	53	01:03	0.18	9.54	28.62	38.16
Equino	68	1:2 a 1:3	10	680.00	2,040.00	2,720.00

Al ser los bovinos los de mayor producción de excreta y por tanto, obtener mayor cantidad de biomasa de estos; el biodigestor se alimentará de este tipo de residuos biológicos.

3.3 Volumen de Biomasa Disponible

La excreta del ganado bovino está formada por un 16% de materia orgánica seca y un 84% de agua. Sabiendo que la relación óptima de un biodigestor es 1:1 se concluye que la densidad de la mezcla es igual a la del agua; por tanto, la densidad de los desechos de vacunos es de 1000kg/m³. (Sanchez, 2018)

Utilizando la fórmula:

$$\text{Ec4. } V_b = C_{bd} / \rho \quad (\text{Sanchez, 2018})$$

Siendo.

V_b= Volumen de biomasa

C_{bd} = Cantidad de biomasa disponible

P = Densidad

$$V_b = \frac{22000 \text{ kg}}{1000 \text{ kg/m}^3} = 22 \text{ m}^3$$

3.4 Volumen de biomasa en el biodigestor

La materia orgánica que entrará en el biodigestor tiene un tiempo de retención deseado, se deben calcular las dimensiones de este:

$$\text{Ec5. } V_{bb} = V_b * T_r \quad (\text{Sanchez, 2018})$$

Siendo:

V_{bb} = Volumen de biomasa en el biodigestor (m³)

V_b = Volumen de biomasa disponible (m³)

T_r = Tiempo de retención en el biodigestor (días)

$$V_{bb} = (22 \text{ m}^3) * (30 \text{ días}) = 660 \text{ m}^3$$

3.5 Volumen de biogás

Este volumen de biogás es que se producirá diario a lo largo del tiempo de retención del biodigestor.

$$\text{Ec6. } V_{bg} = C_{bd} * \lambda \quad (\text{Sanchez, 2018})$$

Siendo:

V_{bg} = Volumen de biogás

C_{bg} = Cantidad de biomasa disponible (kg)

J = Producción específica de biogás

$$V_{bg} = (22000\text{kg}) \times (0.04\text{m}^3/\text{kg}) = 880\text{m}^3$$

3.6 Volumen total del biodigestor

Al tener la mezcla que estará en el reactor y el volumen de biogás producido, se calcula lo siguiente:

$$\text{Ec7. } V_{tot} = V_{bb} + V_{bg} \quad (\text{Sanchez, 2018})$$

Siendo:

V_{bb} = Volumen de biomasa en el biodigestor

V_{bg} = Volumen de biogás

$$V_{tot} = 660\text{m}^3 + 880\text{m}^3 = 1,540\text{m}^3$$

Al considerar dimensionar el biodigestor con el total de bovinos este queda subutilizado, ya que la cantidad de biomasa y biogás necesario en la finca es menor, por tanto, se tomó una muestra de ganado bovino teniendo como resultado:

Tabla 8. Cálculos para muestra de ganado bovino. Fuente: Propia

Estiercol (peso aprox.)	Cant. De animales	Relación Excreta: Agua	Disponibilidad kg/día (por cada animal)	CANTIDAD DE BIOMASA DISPONIBLE			VOLUMEN DE BIOMASA DISPONIBLE		VOLUMEN DE BIOMASA EN EL BIODIGESTOR			VOLUMEN DE BIOGAS		VOLUMEN TOTAL DE BIODIGESTOR
				Disponibilidad kg/día	Cant. de agua	Cant. de Biomasa Disponibile, Kg (Cbd)	Densidad, kg/m ³ (ρ)	Vol. de biomasa disponible, m ³ (Vb)	Tiempo de retención (Tr)	Vol de biomasa en el biodigestor (Vbb)	Prod. de Biogás especifico, m ³ /kg(λ)	Vol. de biogas, m ³ (Vbg)	Vtot, m ³	
Bovino	10	01:01	10	100.00	100.00	200.00	1,000.00	0.20	30.00	6.00	0.04	8	14.00	

3.7 Localización del Biodigestor

La localización del biodigestor es muy importante para obtener provecho al máximo de su producción.

Los aspectos que tomar para elegir correctamente donde instalar un biodigestor son (Sanchez, 2018):

- ✓ Seleccionar el lugar más cercano a la fuente de materia prima.
- ✓ Deberá tratarse de que la topografía del terreno permita el cargado de la planta por gravedad.
- ✓ Existirá una fuente de agua para realizar la mezcla y mantener la limpieza de la planta.
- ✓ El punto de consumo debe estar lo más cercano posible a la planta de biogás.



Fig.18- Espacio donde se instalará el biodigestor.

Fuente: Propia



Fig.19- Cuarto del generador. Fuente: Propia

El espacio donde se instalará el biodigestor:

- ✓ Se encuentra a 20mts del área de ordeño y de donde se considera almacenar la materia prima.
- ✓ El terreno tiene una inclinación para que se pueda cargar la planta.
- ✓ El cuarto donde se instalará el generador se localiza a 45mts.
- ✓ Su fuente de agua más cercana se encuentra a 60mts.

CAPITULO IV

4.1 Costos asociados a la instalación de un biodigestor

Para poder invertir en la instalación se debe tener un presupuesto aproximado del suministro e instalación de equipos, materiales y accesorios.

Tabla 9. Presupuesto de proyecto de instalación de un biodigestor (Ver cotizaciones en Anexo II)

Costos asociados a la instalación de un biodigestor (Ver Anexo I)							
Descripción	Marca	U/M	Cant.	Precio Unit	Precio total	Cotización de	Proforma
Generador FORD combustible doble 5250W	FORD	UNI	1	\$660.11	\$660.11	PRICESMART	-
Kit biodigestor Plastitank 2500lts	PLASTITANK	UNI	1	\$1,000.00	\$1,000.00	PLASTITANK	0000004974
Fosa para de concreto para instalación de biodigestor	-	M3	1	\$85.00	\$85.00	Cubas Eléctrica S.A	228248
Trabajos de excavación, relleno y compactación	-	Mts	60	\$7.00	\$420.00	Cubas Eléctrica S.A	
Tubo PVC 6" ced.40	Gerfor	UNI	10	\$65.98	\$659.82	Cubas Eléctrica S.A	228246
Unión 90° ducto 6" ced.41	Gerfor	UNI	10	\$16.35	\$163.46	Cubas Eléctrica S.A	228246
Curva 90° ducto 6" ced 40	Gerfor	UNI	2	\$34.50	\$69.01	Cubas Eléctrica S.A	228246
Tubo PVC 38MM (1-1/2")x3.05m sch40	Gerfor	UNI	10	\$13.38	\$133.80	Cubas Eléctrica S.A	228246
Unión PVC 38MM (1-1/2")GR	Gerfor	UNI	10	\$0.37	\$3.70	Cubas Eléctrica S.A	228246
Curva PVC 38MM (1-1/2")GR	Gerfor	UNI	4	\$1.06	\$4.24	Cubas Eléctrica S.A	228246
Desulfurador de óxido de hierro de biogás	Turtle Biogas	UND	1	\$10.00	\$10.00		
SCH 80 PVC 6 Pulgada Válvula de Bola	ERA	UND	1	\$178.49	\$178.49		
LLAVE DE BOLA PVC LISA FOSET:1-1/2":150PSI	FOSET	UND	1	\$4.62	\$4.62		
Manometro 1 1/2 pulg, presion de 0-11 kg/cm2 (160 PSI)	DEWIT	UND	1	\$79.76	\$79.76		
SUBTOTAL					\$3,472.01		
I.V. A					\$520.80		
TOTAL					\$3,992.81		



Fig.20- Biodigestor tipo campana. (PLASTITANK, 2003). Ver Anexo II



Fig.21 Ford Generador de Combustible Doble 5250W. (PriceSmart, 2022)

4.2 Análisis de viabilidad económica

Al realizar una inversión es conveniente conocer los riesgos del proyecto, por lo que antes de invertir se estudian datos como la rentabilidad, el posible éxito y beneficio de la inversión o su viabilidad. Por esta razón se utilizarán los indicadores que nos muestran los cálculos de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR).

Definiendo brevemente:

→ VAN: Determina si la inversión es rentable o no. Es la oportunidad con la que cuenta una empresa para medir y evaluar sus inversiones a mediano o largo plazo. (Promedio, 2022)

El valor del VAN gira en torno al 0.

- VAN=0, la inversión no generará ni gastos ni beneficios, por lo que se debería tomar alguna acción para que el proyecto genere algún valor.
- VAN>0 significa que la inversión generará beneficios, por lo que el proyecto en principio es viable.
- VAN<0 ocurre lo contrario, el proyecto generará pérdidas, por lo que no es conveniente llevarlo a cabo.

Se calcula:

$$\text{Ec8. } VAN = \text{Beneficio Neto Actualizado (BNA)} - \text{Inversión Inicial (I}_0)$$

Donde:

$$\text{Ec9. BNA} = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^n}$$

→ TIR: Muestra el tipo de interés necesario para que el VAN sea igual a 0. Por lo tanto, el TIR es la tasa de retorno de la inversión realizada, indicando el porcentaje de beneficio o pérdida que se obtiene en una inversión. (Promedio, 2022)

Habiendo conceptualizado los términos, se tiene que:

Tabla 10. Cálculo de VAN y TIR con respecto al combustible (Ver cotizaciones en Anexo IV)

DESCRIPCIÓN		1	2	2	4	5	
Personal	2						
Salario Mensual	\$132.00						
Tanque de combustible generador (Lts)	15.12						
% Aumento precio combustible	1%						
Precio de Combustible Anual		\$1.39	\$1.40	\$1.42	\$1.43	\$1.45	
Consumo de combustible anual		\$7,670.45	\$7,747.16	\$7,824.63	\$7,902.87	\$7,981.90	
ITEM	Actual	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
Inversion Inicial	\$3,992.81						
Ingresos	0	\$7,670.45	\$7,747.16	\$7,824.63	\$7,902.87	\$7,981.90	\$39,127.02
Egresos							
Personal		\$3,168.00	\$3,168.00	\$3,168.00	\$3,168.00	\$3,168.00	
Mantenimiento biodigestor		\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	\$200.00	
Mantenimiento generador	0	\$350.00	\$350.00	\$350.00	\$350.00	\$350.00	
Combustible por mantenimiento de biodigestor (días)		\$630.45	\$636.75	\$643.12	\$649.55	\$656.05	
30							
Depreciación	0	\$798.56	\$798.56	\$798.56	\$798.56	\$798.56	
Total, de egresos		\$5,147.01	\$5,153.31	\$5,159.68	\$5,166.11	\$5,172.61	\$25,798.72
ITEM	Actual	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Total
BAIT (Beneficio Antes de Impuestos e Intereses)		\$2,523.44	\$2,593.84	\$2,664.95	\$2,736.76	\$2,809.30	\$13,328.30
Impuestos IR y otros 25%		\$630.86	\$648.46	\$666.24	\$684.19	\$702.32	
BDT (Beneficio Después del Impuesto)		\$1,892.58	\$1,945.38	\$1,998.71	\$2,052.57	\$2,106.97	\$9,996.22
ROE (Return On Equity/Rentabilidad Financiera)		47.4%	49%	50%	51%	53%	
Amortizaciones		\$798.56	\$798.56	\$798.56	\$798.56	\$798.56	
Flujo de Caja	-\$3,992.81	\$2,691.14	\$2,743.94	\$2,797.27	\$2,851.13	\$2,905.53	\$9,996.21
BNA (Beneficios Netos Actuales)		2,446.49	2,267.72	2,101.63	1,947.36	1,804.11	10,567.32
TIR (Tasa Interna de Retorno)	63%	10%		Tasa de Descuento			
VAN	6,574.51						

4.3 Beneficios de la instalación

Implementar el uso de un biodigestor tipo campana en un tanque de polietileno tiene los siguientes beneficios:

1. Los residuos se pueden utilizar como biofertilizantes.
2. El biogás puede ser utilizado como combustible para motores.
3. No necesita de personal profesional para su manipulación.
4. Salida de lodo integrada que facilita el mantenimiento manual.
5. 100% hermético. (PLASTITANK, 2003)
6. Sistema Autolimpiable. (PLASTITANK, 2003)
7. Fácil instalación. (PLASTITANK, 2003)
8. Adecuado para espacios pequeños. (PLASTITANK, 2003)
9. Diseño estructural para resistir 35 años. (PLASTITANK, 2003)
10. El uso eficiente y racional de los recursos disponibles dentro de las fincas, maximiza sus valores ambientales, sociales y económicos.

CAPITULO V

5.1 Fincas ubicadas en la comunidad “La Flor”

Se realizó un censo de la cantidad y tipo de animales que se encuentran en las fincas aledañas a la finca “La Reforma”, obteniendo que:

Tabla 11. Datos Fincas aledañas “La Reforma”. Fuente: Propia

FINCA	Datos Generales				Cantidad de animales			
	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
FINCA N°1	Elsa Gonzales	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	100Mz	6	150	5	6	20
	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
FINCA N°2	Lenin Gonzales	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	200Mz	7	200	6	8	20
	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
FINCA N°3	Norvin Gonzales	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	120Mz	4	150	4	8	10
	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
FINCA N°4	Camilo Perez	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	140Mz	8	140	6	6	30
	Propietario/a	Ubicación	Tamaño del territrio	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
FINCA N°5	Consuelo Arguello	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	160Mz	8	200	10	8	30
	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
FINCA N°6	Myrian Arguello	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	180Mz	8	150	8	6	20
	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
FINCA N°7	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas

	Datos Generales				Cantidad de animales			
	Pablo Arguello	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	400Mz	8	300	20	12	30
FINCA N°8	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
	Lisette Arguello	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	80Mz	3	150	2	4	10
FINCA N°9	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
	Senovio Aguilar	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	100Mz	2	100	0	2	0
FINCA N°10	Propietario/a	Ubicación	Área de terreno	Personas que habitan	Bovinos	Porcinos	Equinos	Gallinas
	Freddy Fernández	Comunidad "La Flor", Municipio El Almendro	70Mz	2	50	2	2	0

Según los datos obtenidos en el censo realizado en las fincas cercanas a la finca "La Reforma", todas cuentan con la cantidad de bovinos necesaria para poder solventar la demanda de energía que tenga en sus viviendas.

Por otra parte, los indicadores sociales y ambientales del proyecto son positivos. La instalación de los biodigestores como parte de un proyecto de desarrollo rural permiten una mejora en la calidad de vida de las familias beneficiarias del proyecto, son herramientas útiles para aumentar la independencia energética de los pequeños productores

Los biodigestores aportan a un cambio en el manejo de los residuos orgánicos, ayudan al reciclaje de nutrientes por medio del uso del fertilizante producido y además, ofrecen un aprovechamiento energético por medio de la captura y uso del biogás generado.

CONCLUSIONES

Del análisis realizado en la presente investigación, podemos concluir que:

1. Es viable el diseño e instalación de biodigestores como fuente de energía, ya que cuenta con todos los aspectos considerados para poder implementar este tipo de energía renovable, como lo es, la temperatura, la cercanía del agua, espacio de montaje y sobre todo el medio de producción de biomasa.
2. La manera más efectiva de obtención de biogás es utilizando sustratos de tipo 3 (heces de animales o personas) por presentar una dilución mayor son tratados con digestores de alta eficiencia, como los de filtro anaerobio.
3. Los bovinos y los equinos tienen la mayor disponibilidad de kg/día de biomasa, pero el rendimiento del biogás es mayor el de los bovinos. Por tanto, el estiércol bovino es el de mayor potencial como productor de biogás y como fuente de biomasa.
4. El costo por implementar un sistema de generación por biomasa es de \$3,992.81, siendo este un bajo costo comparado con muchos otros sistemas de energías renovables.
5. Los biodigestores representan una fuente de beneficios económicos, ambientales y sociales. El proyecto satisface los requerimientos de bajo costo de fabricación, facilidad de construcción y mantenimiento, operación continua y eficiencia.

RECOMENDACIONES

Es importante tomar ciertas recomendaciones que ayudaran a garantizar en su totalidad la factibilidad de este proyecto y que logre un gran alcance, se enumeran a continuación:

- Tener una alimentación de la materia prima de manera regular y constante, para tener una producción de biogás continua, con el fin de tener un sistema eficiente.
- Evaluar de manera periódica parámetros como: relación C/N y micronutrientes de la materia prima, PH, cantidad y calidad del biogás, para tener un mejor entendimiento del proceso de biodigestión anaerobio.
- Realizar cálculos de pérdidas de energía para evitar daños en los artefactos eléctricos.
- Periódicamente se debe inspeccionar y verificar si existen filtraciones de agua o aire en los biodigestores y realizar sus mantenimientos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BUN-CA. (2002). Manuales sobre energía renovable: Biomasa. <http://www.bio-nica.info/biblioteca/BUNCA2002Biomasa.pdf> (BUN-CA, 2002)
2. Varnero Mareno, M. T. (2011). Manual de Biogás. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
3. Manual de biogás. (S. f.). [https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual de Bio gas01.pdf](https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Bio_gas01.pdf)
4. Dirección de productos forestales. (1995). Reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa. Montevideo, Uruguay. <http://www.fao.org/3/t2363s/t2363s0z.htm>
5. Centrales de biomasa y sus tipos. (2021). Endesa Fundacion. <https://www.fundacionendesa.org/es/centrales-renovables/a201908-central-de-biomasa>
6. Instituto Multidisciplinario de Energía.(s.f.).Biodigestor Manual de uso.Universidad de Cuyo, Argentina.<http://imd.uncuyo.edu.ar/upload/manual-uso-biodigestor.pdf>
7. Cifuentes, R. M. (1991). *Diseño, Cálculo y Evaluación de Biodigestores*. Cali, Colombia.
8. *Google Maps*. (Febrero de 2005). Obtenido de <https://www.google.com.ni/maps/place/La+Flor/@11.7769246,-84.6623181,1535m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x8f0b43b0ae9bca49:0x59a9e9b7391eb7d1!8m2!3d11.7779299!4d-84.6570669?hl=es&hl=es>
9. *Google Maps*. (Febrero de 2005.). Obtenido de <https://www.google.com/maps/dir/La+Flor/11.8018141,-84.6908569/@11.8017886,-84.6909691,114m/data=!3m1!1e3!4m8!4m7!1m5!1m1!1s0x8f0b43b0ae9bca49:0x59a9e9b7391eb7d1!2m2!1d-84.6570669!2d11.7779299!1m0?hl=es>

10. JIMÉNEZ, D. D. (2012). *EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE UN BIODIGESTOR ANAEROBIO TIPO CONTINUO*. Mexico.
11. PLASTITANK. (2003). *Biodigestor*. Managua, Nicaragua.
12. PLASTITANK. (2003). *PLASTITANK*. Obtenido de <http://plastitank.com.ni/wp-content/uploads/2019/04/PLASTITANK-BIODIGESTOR-1.pdf>
13. PriceSmart. (2022). *Ford Generador de Combustible Doble 5250W*. Obtenido de <https://www.pricmart.com/site/ni/es/pagina-producto/355250>
14. Sanchez, M. F. (Diciembre de 2018). *Repositorio Universidad de Coruña*. Obtenido de https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/24322/FandinoSanchez_TFG_2018.pdf
15. The Weather Channel. (2014). *The Weather Channel*. Obtenido de <https://weather.com/es-NI/tiempo/hoy/l/11.48,-84.77?par=google>
16. Reyes Aguilera, E. A. (2018). Generacion de Biogas Mediante el proceso de digestion anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos organicos. *Revista Cientifica de FAREM - Estelí*, 24, 60 - 81. <https://doi.org/10.5377/farem.v0i24.5552>
17. Promedio, P. (Mayo de 2022). *¿Qué es el VAN y el TIR? / Diferencias y usos de estos indicadores financieros*. Obtenido de <https://www.barymont.com/pepepromedio/blog/que-es-el-van-y-el-tir-diferencias-y-usos/#:~:text=Diferencias%20entre%20el%20VAN%20y%20el%20TIR,-Puede%20parecer%20que&text=Y%20es%20cierto%2C%20son%20dos,resultado%20en%20forma%20de%20porcentaje>.
18. Cámara de Industrias de Nicaragua. (Febrero de 2022). *CADIN*. Obtenido de <https://www.cadin.org.ni/?p=1163>

ANEXOS

Anexo I - Cotizaciones

MOSTR IVONNE MORALES

COTIZACIÓN

0000004974

Atención a:

Forma de Pago:

Fecha: 12/07/2022

Garantías:

Vencimiento: 27/07/2022

8 Años de Garantía en línea Premium Tricapa y Bicapa, vida útil de 50 años.

Fecha Ent.: 12/07/2022

5 Años de Garantía en línea Estándar (Cónica) Tricapa y Bicapa, vida útil de 35 años.

SAC: 3925.10.00.00.00- Depósitos, cisternas, cubas y recipientes análogos, de capacidad superior a 300 L

1 Año de Garantía en mano de Obra y Equipos.

Cant.	Clave	Descripción	Litros	Galones	Barriles	Mts	H Mts	Peso Vacío	Peso Lleno	P. Unit	Importe
1.00	250-193	KIT BIODIGESTOR PLASTITANK 1370 LTS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	582.61	582.61
1.00	250-194	KIT BIODIGESTOR PLASTITANK 2500 LTS	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1,000.00	1,000.00

CONDICIONES COMERCIALES:

Tanques con capacidad desde 450 hasta 2500 Lts. incluyen el kit de accesorios.

Tanques con capacidad de 5,000, 10,000 y 22,000 Lts. no incluyen el kit de accesorios.

Tanque cisterna tecnología Tricapa (color natural) no incluye kit de accesorios e instalación subterránea.

Para cualquier duda, consultar guía de instalación, sino llamar: 2233-3142.

Elaborar Cheque a nombre de: **ROTOCAS**

BANCENTRO C\$ 210-201-564 **BAC C\$** 019-02889-3 **BANPRO C\$** 10010600000751

Se nos retiene 1% Alcaldía, 2% IR

BANCENTRO US\$ 211-200-901 **BAC US\$** 354-48597-1 **BANPRO US\$** 10010610000593

Subtotal 1,582.61

Descuento 0.00

Subtotal 1,582.61

I.V.A. 237.39

Total USD 1,820.00

Veronica Rugama
Asesor de Ventas

Aceptacion del Cliente

8440-8975 / callcenter-plastitank@rotocas.com

CUBAS ELÉCTRICA S.A

RUC J0310000046638

Hospital San Juan de Dios 300 m Sur, Estelí. 2713-5875

Carretera a Masaya Km 28, empalme Coyotepe entrada Hosanna 25 mts al sur, Masaya

De la Rotonda El Periodista 300mts al sur, frente a Ofiplaza El Retiro, Managua. 2254-7493, 2254-7549

Rotonda entrada a Chinandega 200 Mts al Oeste ,Chinandega, Nicaragua. 2340-2132

Correo Electrónico: cubaselectrica00@gmail.com, info@grupocubas.com

Semáforos del parque Darío 2c y 20 vrs al Oeste, Matagalpa. Tel.: 2772-4071

CE08-F02.2

No de Proforma:

228246

Cliente: SIN NOMBRE DEL CLIENTE

Ruc:

Fecha: 27/6/2022

Atención

Vendedor Steven Ivan Mendieta Rizo

Telefono

Teléfono 88438083

Email:

Email: steven.mendieta@grupocubas.com

No	Entreg	Código	SAC	Descripción	Marca	U/M	Cantidad	Precio	Total
1	28/06/2022	120212001		TUBO PVC 6" CED 40	GERFOR	UNI	1.0	65.982	65.98
2	28/06/2022	120416001		UNION 90° DUCTO 6" CED 41	GERFOR	UNI	1.0	16.346	16.35
3	28/06/2022	120213001		CURVA 90° DUCTO 6" CED 40 - (JCGR)	GERFOR	UNI	1.0	34.5029	34.50
4	28/06/2022	120385001	3917.23.10.00	TUBO PVC 38MM(1 1/2")X3.05M SCH40 CC	GERFOR	UNI	1.0	13.38	13.38
5	28/06/2022	120116004	3917.23.90.00 .00	UNION PVC 38MM (1 1/2") GR	GERFOR	UNI	1.0	0.3708	0.37
6	28/06/2022	120112004	3917.40.90.00 .00	CURVA PVC 38MM (1 1/2") GR	GERFOR	UNI	1.0	1.0567	1.06

Tipo de 36.21
Forma de Pago: Contado
Oferta Valida: 04/07/2022

SubTotal (\$)	131.64
IVA (\$)	19.75
IR %	0.00
Total (\$)	151.39

Condiciones:

Nota:

Estamos Exentos 1%(Alcaldía) y 2%(DGI), Los precios y existencias pueden variar sin previo aviso.

CUBAS ELÉCTRICA S.A

RUC J0310000046638

Hospital San Juan de Dios 300 m Sur, Estelí. 2713-5875

Carretera a Masaya Km 28, empalme Coyotepe entrada Hosanna 25 mts al sur, Masaya

De la Rotonda El Periodista 300mts al sur, frente a Oiplaza El Retiro, Managua. 2254-7493, 2254-7549

Rotonda entrada a Chinandega 200 Mts al Oeste ,Chinandega, Nicaragua. 2340-2132

Correo Electrónico: cubaselectrica00@gmail.com, info@grupocubas.com

Semáforos del parque Darío 2c y 20 vrs al Oeste, Matagalpa. Tel.: 2772-4071

CE08-F02.2

No de Proforma:

228248

Cliente: SIN NOMBRE DEL CLIENTE

Ruc:

Fecha:

Atención

Vendedor

Telefono

Teléfono

Email:

Email:

No	Entreg	Código	SAC	Descripción	Marca	U/M	Cantidad	Precio	Total
1	-	-		TRABAJOS DE EXCAVACION	-	M3	1.0	85.00	85.00
								SubTotal (\$)	85.00
								IVA (\$)	12.75
								IR %	0.00
								Total (\$)	97.75

Tipo de 36.21

Forma de Pago: Contado

Oferta Valida: 04/07/2022

Condiciones:

Nota:

Estamos Exentos 1%(Alcaldía) y 2%(DGI), Los precios y existencias pueden variar sin previo aviso.

Anexo II – Fichas técnicas

BIODIGESTOR

El Biodigestor Plastitank es un tratamiento primario consiste en un tanque de polietileno donde se produce la sedimentación de residuos sólidos, digestión de la materia orgánica y filtración. Además del almacenamiento de lodos que resultan del proceso de digestión, esta unidad permite alcanzar una reducción significativa de sólidos suspendidos, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Doli-formes fecales.



Beneficios

Salida de lodo integrada que facilita el mantenimiento manual.

100% hermético.

Sistema Autolimpiable.

Fácil instalación.

Adecuado para espacios pequeños.

Diseño estructural para resistir 35 años.

Resistencia a más de 150 sustancias químicas.

Asesoría de fábrica gratis.

Especificaciones

Capacidad lts.	Díámetro m	Altura m	
600	0.97	1.47	4
900	1.12	1.58	6
1,370	1.32	1.65	9
2,500	1.60	1.95	10
3,000	1.60	2.22	13
5,000	2.32	2.04	25
7,000	2.32	2.32	35



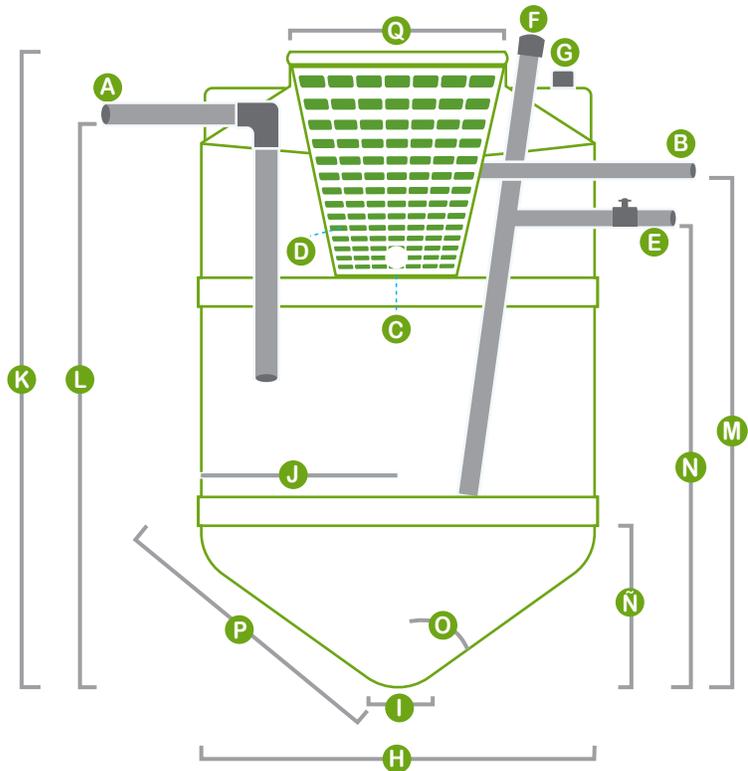
100%
nicaragüense

 (+505) 2299 9222

  plastitank.com.ni

BIODIGESTOR

MEDIDAS



- A** Entrada **B** Salida **C** Canasta **D** Aros PET **E** Purga de lodos
- F** Inspección de lodos **G** Repiradero **H** Diámetro central **I** Diámetro base
- J** Radio **K** Altura total **L** Altura de entrada **M** Altura de salida **N** Altura de purga
- Ñ** Altura cono **O** Angulo de cono **P** Hipotenusa **Q** Tapa

Capacidad	H Diámetro central Ø	I Diámetro Base Ø	J Radio	K Altura Total (m)	L Altura de Entrada	M Altura útil (salida de la fosa) (m)	N Altura de purga	Ñ Altura cono (m)	O Ángulo de cono (m)	P Hipotenusa cono (m)
600	0.97	0.21	0.49	1.47	1.19	1.06	0.88	0.46	45°	0.63
900	1.12	0.2	0.56	1.58	1.27	1.15	1.1	0.5	45°	0.7
1370	1.32	0.2	0.66	1.65	1.34	1.28	1.06	0.43	45°	0.73
2500	1.6	0.2	0.8	1.95	1.66	1.56	1.33	0.4	45°	0.82
3000	1.6	0.2	0.8	2.22	1.91	1.78	1.58	0.4	45°	0.82
5000	2.32	0.52	1.16	2.04	1.67	1.52	1.12	0.65	45°	1.12
7000	2.32	0.52	1.16	2.32	1.95	1.8	1.4	0.65	45°	1.12

MEDIDAS DE TUBERÍA

Capacidad	Q Diámetro de tapa	A Diámetro de entrada	B Diámetro de salida	E Diámetro de purga	F Inspección de lodos	G Respiradero
600 / 900 / 1,370 / 2500 / 3,000	19 1/4"	4"	2"	2"	4"	2"
5000 / 7,000	19 1/4"	4"	4"	4"	4"	4"



100% nicaragiense

(+505) 2299 9222

plastitank.com.ni

BIODIGESTOR

NOTAS GENERALES

1. Es importante, hacer las pruebas de infiltración para tener conocimiento del tipo de suelo y del sistema terciario que conviene instalar.
2. Nunca deberá drenar agua pluvial al sistema séptico.
3. El PLASTITANK BIODIGESTOR deberá ser inspeccionado cada seis meses para valorar limpieza.
4. Favor no obviar construcción de base de concreto nivelada y tapa de inspección, esto se debe de considerar para todos los tipos de suelo.
5. La parte cónica del PLASTITANK BIODIGESTOR debe descansar sobre una base de concreto.
6. Cargar con agua antes de rellenar con la tierra el espacio entre la pared del tanque y la recamara, del PLASTITANK BIODIGESTOR.



MANTENIMIENTO

El biodigestor deberán limpiarse antes de que ocurra una gran acumulación de lodos, si éstos o la nata se acercan al dispositivo de salida serán arrastradas fuera del reactor anaerobio, lo que pudiese provocar un estancamiento de la unidad por saturación del lecho filtrante.

El biodigestor está diseñado para que se efectúe la extracción de lodos acumulados una vez al año (cada 365 días), por lo que está provisto de una válvula que permite la salida de sólidos por la presión hidráulica que ejerce el líquido dentro de la unidad. Se recomienda suspender la extracción de lodos cuando ocurra un cambio en la coloración del flujo de oscuro (negro) a gris. Para liberar cualquier obstrucción en este dispositivo la unidad está equipada con un sistema de limpieza, que consiste en meter una varilla larga para agitar el fondo del biodigestor.

Es importante indicar que esta labor deberá ejecutarse por personal y equipo especializado. Es recomendable que estas actividades se ejecuten durante los meses de verano, biodigestor dispone una entrada y tres salidas, una salida de lodos, una salida de gases y la salida del clarificado, por lo que dichos dispositivos deben ser revisados periódicamente.



ALTA TECNOLOGÍA PROTEGIENDO EL MEDIO AMBIENTE



EL MÁS FUERTE DEL MERCADO



100%
nicaragüense

(+505) 2299 9222

plastitank.com.ni

Anexo III – Finca “La Reforma”



Fig.22- Corral de ganado lechero 1. Fuente: Propia.



Fig.23- Corral de ganado lechero 2. Fuente: Propia.



Fig.24- Chanchera. Fuente: Propia.



Fig.25- Chanchera. Fuente: Propia.



Fig.26- Subestación Corocito. Fuente: Propia.

Anexo IV – Datos Generales para cálculo de VAN y TIR”



SALARIO MÍNIMO 2022

Actividad Económica	Salario 2021	Incremento en porcentaje	Salario 2022 (Córdobas)	Salario 2022 (Dólares)
<i>Sector agropecuario</i>	C\$ 4,414.91	7%	C\$4,723.95	U\$132.74
<i>Pesca</i>	C\$ 6,713.01	7%	C\$7,182.92	U\$201.84
<i>Minas y canteras</i>	C\$ 7,929.01	7%	C\$8,484.04	U\$238.41
<i>Industrias manufactureras</i>	C\$ 5,936.34	7%	C\$6,351.88	U\$178.49
<i>Micro y pequeña industria artesanal y turística</i>	C\$ 4,651.47	7%	C\$4,977.07	U\$139.86
<i>Industria sujeta a régimen fiscal especial (Zona franca)</i>	C\$ 6,926	8.25%	C\$7,498.46	U\$210.71
<i>Electricidad y agua, comercio, restaurantes y hoteles, transporte, almacenamiento y comunicaciones</i>	C\$ 8,097.84	7%	C\$8,664.68	U\$243.48
<i>Construcción, establecimientos financieros y seguros</i>	C\$ 9,880.17	7%	C\$10,571.78	U\$297.07
<i>Servicios comunales, sociales y personales</i>	C\$ 6,189.23	7%	C\$6,622.47	U\$186.09
<i>Gobierno central y municipal</i>	C\$ 5,505.57	7%	C\$5,890.95	U\$165.54

*Fuente Mitrab *Tipo de cambio oficial del BCN al día 3 de febrero 2022

Fig.27- Salario Mínimo Nicaragua 2022. Fuente: (Cámara de Industrias de Nicaragua, 2022)

Estación de Servicios Morales
 Nombre del Licenciario: Sra. Ivonne Morales
 Departamento: Río San Juan Municipio: El Almendro

VARIACION PRECIOS ANUAL DE COMBUSTIBLES

GASOLINA
 Córdoba/litros

	2019	%	2020	%	2021	%	2022	%
ENERO	C\$ 30.00		C\$ 36.00		C\$ 33.60		C\$ 44.60	
FEBRERO	C\$ 31.50	2%	C\$ 35.30	-1%	C\$ 35.31	2%	C\$ 45.60	1%
MARZO	C\$ 33.00	2%	C\$ 34.00	-1%	C\$ 38.90	4%	C\$ 46.20	1%
ABRIL	C\$ 36.70	4%	C\$ 27.50	-7%	C\$ 40.50	2%	C\$ 50.80	5%
MAYO	C\$ 37.30	1%	C\$ 30.50	3%	C\$ 39.80	-1%	C\$ 50.80	0%
JUNIO	C\$ 37.30	0%	C\$ 32.80	2%	C\$ 40.80	1%	C\$ 50.80	0%
JULIO	C\$ 37.80	1%	C\$ 32.85	0%	C\$ 41.50	1%	C\$ 50.80	0%
AGOSTO	C\$ 35.10	-3%	C\$ 32.85	0%	C\$ 42.60	1%	C\$ 50.80	0%
SEPTIEMBRE	C\$ 35.35	0%	C\$ 33.25	0%	C\$ 42.60	0%	C\$ 50.80	0%
OCTUBRE	C\$ 35.63	0%	C\$ 33.25	0%	C\$ 41.80	-1%	C\$ 50.80	0%
NOVIEMBRE	C\$ 35.63	0%	C\$ 33.50	0%	C\$ 41.80	0%	C\$ 50.80	0%
DICIEMBRE	C\$ 36.00	0%	C\$ 33.60	0%	C\$ 41.80	0%	C\$ 50.80	0%

ADMINISTRACION



Anexo V – Costo de una línea de media tensión a la finca “La Reforma”



Managua 18 de octubre de 2022

Enoc Pravia.
Teléfono: 5839-2613.

Sus manos.

Estimado Sr. Enoc Pravia.

Cubas Eléctrica, S.A., empresa certificada ISO 9001-2015 en todos sus procesos, agradece la oportunidad que se nos brinda para presentar oferta por los trabajos de instalación de red primaria en comunidad la Flor el Almendro, ubicado El Almendro, departamento de Río San Juan, detallamos a continuación los siguientes alcances físicos y financieros:

ALCANCES FÍSICOS

1. Suministro e instalación de 1 poste de concreto de 40 pies 300 daN. (Incluido el servicio de transporte y grúa para izado).
2. Suministro e instalación de 61 postes de concreto de 35 pies 300 daN. (Incluido el servicio de transporte y grúa para izado).
3. Suministro e instalación de 2 transformadores monofásicos de 25 KVA 7.6/13.2KV 120/240V.
4. Suministro e instalación de 2,500 metros de línea de media tensión aérea monofásica con conductor 1/0 ACSR Raven.
5. Suministro e instalación de 15 metros de línea de baja tensión aérea con conductor Tríplex 1/0 Awg.
6. Suministro e instalación de 36 Armado Simple Circ. Monof. Alineación Y Angulo < 5°, Acsr 1/0 Awg.
7. Suministro e instalación de 14 Armado Simple Circ. Monof. Angulo 5 A 30°, Acsr 1/0 Awg.
8. Suministro e instalación de 11 Armado Simple Circ. Monof. Anclaje Y Angulo 30 A 60°, Acsr 1/0 Awg.
9. Suministro e instalación de 2 Armado Simple Circ. Monofásico Fin De Línea.
10. Suministro e instalación de 1 Puesta A Tierra Con Anillo Cerrado En Poste De Hormigón Hasta 14 M.
11. Suministro e instalación de 24 Puesta A Tierra En Poste De Hormigón De Hasta 14 M.
12. Suministro e instalación de 19 Montaje Conjunto Retenida 3/8" Con Aislador Tensor 13,2Kv.
13. Suministro e instalación de 15 Retenida Vertical Apoyo Hormigón 9/10.5/12M.
14. Suministro e instalación de 2 Estructuras De Baja Tensión (SU-BT).
15. Suministro e instalación de 1 Mufa de Acometida de 1" con cable de cobre forrado THHN #2 Awg (1 por fase) + #4 Awg (Tierra).
16. Suministro e instalación de 14 Hormigonado P/Apoyo 300 daN.
17. Energización, pruebas, limpieza y entrega.
18. Gestiones de factibilidad técnica, aprobación de diseño, autorización de construcción y gestión de descargo ante DISNORTE - DISSUR.

Somos Grandes Contribuyentes. Estamos Exentos del 1% (Alcaldía de Managua) y 2% (DGI)





ALCANCES FINANCIEROS

De acuerdo a los alcances antes indicados, los trabajos se calculan en la cantidad de **US\$ 77,399.21** (Setenta y siete mil trescientos noventa y nueve dólares de los Estados Unidos de América con 21/100), suma que incluye entre otras cosas: Suministro de los materiales eléctricos descritos en los alcances, mano de obra calificada, transporte, gestiones y el impuesto de valor agregado IVA.

A continuación, detalle:

TOTAL DE MATERIALES	\$ 42,503.66
MANO DE OBRA	\$ 17,500.00
TRANSPORTE + GRÚA	\$ 7,000.00
GESTIÓN DN-DS	\$ 300.00
SUB TOTAL	\$ 67,303.66
IVA	\$ 10,095.55
TOTAL	\$ 77,399.21

Notas:

- La oferta se realizó en base a los alcances proporcionados por el Cliente, de aceptar nuestra propuesta se deberá realizar levantamiento de alcances en campo, si hubiere variaciones considerables la oferta deberá actualizarse en correspondencia a los alcances reales.
- Los alcances de la presente oferta comprenden ejecutarse con una brigada de 20 personas, detalladas de la siguiente manera: 1 Ingeniero Supervisor, 1 Conductor y Operario de Grúa, 8 Linieros, 8 Ayudantes y 2 Conductores para traslado de personal y demás materiales.

MODALIDAD DE PAGO

Si nuestra oferta técnico-económica resultase aceptada por usted, la forma de pago será la siguiente:

- 30% - En concepto de anticipo para iniciar las obras, es decir, a la firma del contrato y/o entrega de orden de compra.
- 50% - Según avance de los trabajos, es decir, cuando esté instalado el transformador.
- 20% - Al finalizar las obras en contra entrega de las mismas, con crédito a 30 días calendario una vez recibida la obra a satisfacción del cliente.

TIEMPO DE EJECUCIÓN

- Notas:
 - Esta Oferta es Válida por un periodo de 15 días Calendario.
- La ejecución de los trabajos se estima efectuarse en un período de 20 días hábiles, para iniciar los trabajos primeramente debemos de contar con la autorización de **DISNORTE - DISSUR**, gestiones que pueden demorar de cuatro a cinco semanas.

Somos Grandes Contribuyentes. Estamos Exentos del 1% (Alcaldía de Managua) y 2% (DGI)





CUBAS ELÉCTRICA, S. A.

ROTONDA EL PERIODISTA 300 METROS AL SUR, FRENTE A OFIPLAZA

Cubaselectrica S.A. Teléfono 2254-7549, Cel. 8930-0239C 8966-8417T; E-Mail: cubaselectrica@gmail.com www.grupocubas.com



ISO 9001

LL-C (Certification)

CE07-F03.1

GARANTÍAS

- Nuestra empresa garantiza que los trabajos se ejecutarán bajo las normas del Código de Instalaciones Eléctricas de Nicaragua (**CIEN**) y la Norma de construcción de redes en media y baja tensión extendida por **DISNORTE-DISSUR**.
- La realización de estos trabajos tendrá una garantía valedera de **un año** siempre y cuando los daños sean propios del funcionamiento del material instalado y no ocasionados por desastres naturales y/o actos vandálicos.

Sin más a que hacer referencia, me despido.

Atentamente

Ing. Héctor Torres
Gerente de Proyectos
CUBAS ELÉCTRICA, S.A.
(+505) 8930-0239 (Claro).
(+505) 8966-8417 (Tigo).

En caso de no tener respuesta a su solicitud, puede comunicarse con el Gerente General al correo electrónico y los números de teléfonos siguientes:

cubaselectrica00@gmail.com

(+505) 8855-5992 (Claro).

(+505) 8866-9930 (Tigo).

Somos Grandes Contribuyentes. Estamos Exentos del 1% (Alcaldía de Managua) y 2% (DGI)

