

	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	08-07-2021	B
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		0 (92)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	Duvan Mauricio Yauripoma Cujilema Yeison Fernando Lozano Duran		
FACULTAD	Ciencias Agrarias Y Del Ambiente		
PLAN DE ESTUDIOS	Ingeniería Ambiental		
DIRECTOR	Eimer Amaya Amaya		
TÍTULO DE LA TESIS	Construcción y evaluación de un biodigestor taiwanés para generar biogás a partir de desechos orgánicos producto de la actividad diaria en la finca Santa Rita de la vereda El Nuevo Amanecer municipio de Ocaña, Norte de Santander		
TITULO EN INGLES	Construction and evaluation of a taiwanese biodigester to generate biogas from organic waste produced from daily activity at the farm Santa Rita de la vereda El Nuevo Amanecer municipality of Ocaña, North of Santander		
RESUMEN (70 palabras)			
La investigación, se centró en la evaluación de un biodigestor taiwanés para la producción de biogás. se trabajó con boñiga. Se determinaron 110min como demanda de quemado promedio, quedando una carga diaria de 55kg de estiércol para cubrir la demanda de quemado. Se proyectó un biodigestor de 4125L de fase líquida. El biodigestor produjo 124min de quemado promedio. La producción con alta fluctuación, hizo necesario un reservorio de 1,5m ³ para mantener biogás los días de producción baja.			
resumen en ingles			
The research focused on the evaluation of a Taiwanese biodigester for the production of biogas. it was worked with dung. 110min were determined as the average burning demand, leaving a daily load of 55kg of manure to cover the burning demand. A 4125L liquid phase biodigester was designed. The biodigester produced 124min of average burning. The highly fluctuating production made a 1.5m ³ reservoir necessary to maintain biogas on days of low production.			
PALABRAS CLAVES	Biodigestor, digestión anaerobia, biogás, tiempo de quemado, boñiga.		
PALABRAS CLAVES EN INGLES	Biodigester, anaerobic digestion, biogas, burning time, manure.		
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 93	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 9	CD-ROM: 1



**Construcción y evaluación de un biodigestor taiwanés para generar biogás a partir de
desechos orgánicos producto de la actividad diaria en la finca Santa Rita de la vereda El
Nuevo Amanecer municipio de Ocaña, Norte de Santander**

Duvan Mauricio Yauripoma Cujilema

Yeison Fernando Lozano Duran

Facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander

Ocaña

Ingeniería Ambiental

MSc. Eimer Amaya Amaya

21 de Febrero del 2022

Indice

Capítulo 1 Evaluación de un biodigestor taiwanés para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos producto de la actividad ganadera en la finca Santa Rita de la vereda el nuevo amanecer municipio de Ocaña, norte de Santander.....	7
1.1 Planteamiento del problema.....	7
1.2 Formulación del problema	9
1.3 Objetivos.....	9
1.3.1 Objetivo general.....	9
1.3.2 Objetivos específicos.....	9
1.4 Justificación	10
1.5 Delimitaciones	11
1.5.1 Delimitación geográfica.....	11
1.5.2 Delimitación temporal.....	11
1.5.3 Delimitación conceptual.....	12
1.5.4 Delimitación operativa.....	12
Capítulo 2 Marco Referencial.....	13
2.1 Marco histórico	13
2.1.1 A nivel mundial.....	13
2.1.2 A nivel nacional	14
2.1.3 A nivel local.....	16
2.2 Marco contextual	17
2.2.1 Localización.....	17
2.2.2 Climatología.....	18
2.2.3 División Político-Administrativa	18
2.2.4 Hidrografía.....	18
2.2.5 Aspecto Poblacional.....	19
2.2.6 Lugar de desarrollo	20
2.3 Marco Conceptual.....	21
2.3.1 Residuos.....	21
2.3.2 Biodigestor.....	22
2.3.3 Proceso de digestion aerobica y anaerobia	29

2.3.4 Factores que influyen en la digestión anaerobia	31
2.3.5 Biogás	35
2.4 Marco teórico	35
2.5 Marco Legal	37
Capítulo 3 Diseño metodológico	41
3.1 Tipo de investigación	41
3.2 Población y muestra	44
3.3 Análisis de información	45
Capítulo 4 Presentación de resultados	47
4.1 Caracterizar los residuos orgánicos generados en la Finca Santa Rita, determinando así, los residuos orgánicos disponibles para la producción de biogás	47
4.2 Determinar los parámetros necesarios para construir e implementar un biodigestor modelo taiwanés.....	52
4.3 Analizar el nivel de funcionalidad y eficacia del biodigestor en la generación de biogás	62
Capítulo 5 Conclusiones	70
Capítulo 6 Recomendaciones	72
Referencias.....	73

Lista de tablas

Tabla 1 Normas del marco legal	38
Tabla 2 Producción de residuos durante un mes.....	50
Tabla 3 Producción de materia orgánica por ganado bovino.....	52
Tabla 4 Tiempo de quemado en minutos	53
Tabla 5 Tabla de temperatura ambiente dentro del invernadero.....	54
Tabla 6 Dimensiones del biodigestor.....	59
Tabla 7 Tiempo de quemado hogar/Tiempo de quemado de biodigestor/consumo de boñiga	63
Tabla 8 Tiempo de quemado del hogar y el biodigestor con acumulado del biodigestor	67

Lista de figuras

Figura 1 Ubicación geográfica de la zona de estudio	21
Figura 2 Partes de un biodigestor.....	26
Figura 3 Producción de residuos por mes	51
Figura 4 Gráfico producción de biogás en relación al tiempo de retención y la temperatura	55
Figura 5 Modelo del biodigestor.....	60
Figura 6 Producción de biogás vs demanda por día	64
Figura 7 Tiempo de quemado producido en el biodigestor por kilogramo de boñiga cada día según la temperatura	66
Figura 8 Gráfico del tiempo de quemado acumulado del biodigestor, con el tiempo de quemado del hogar en relación a los días de retención hidráulica	68
Figura 9 Gráfico del tiempo de quemado positivo y negativo cada día.....	69

Lista de apéndices

Apéndice A. Entrevista realizada a los residentes en la finca Santa Rita	82
Apéndice B. Registro fotográfico	83

Capítulo 1 Evaluación de un biodigestor taiwanés para generar biogás y abono a partir de desechos orgánicos producto de la actividad ganadera en la finca Santa Rita de la vereda el nuevo amanecer municipio de Ocaña, norte de Santander.

1.1 Planteamiento del problema

Según el informe del Banco Mundial titulado What a Waste 2.0 (Los desechos 2.0), en la tierra al año, la humanidad produce 2010 millones de toneladas de residuos sólidos municipales, y por lo menos el 33 % de ellos se gestionan inadecuadamente, generando riesgo para el medio ambiente. En el informe de 2018, la actualización de una edición anterior, se espera que la rápida urbanización, el crecimiento de la población y el desarrollo económico provocaran a nivel mundial, un aumento en la cantidad de desechos hasta del 70 % durante los siguientes 30 años. Por lo que se espera que lleguemos a una impresionante cantidad de 3400 millones de toneladas de residuos generados cada año (Banco Mundial, 2018).

Si se comparan las tendencias mundiales, el servicio de aseo cubre de manera muy adecuada América Latina y el Caribe. En la parte urbana, se recolectan alrededor del 85% de los desechos y la mayor parte de los sistemas de gestión de residuos, realizan la recolección casa por casa. En el caso de Colombia y Uruguay, la cobertura de recolección de residuos cubre el 95% de las ciudades. Desafortunadamente, la cobertura en las zonas rurales es bastante más baja, legando solo hasta el 30% (Banco Mundial, 2019).

El problema de los residuos sólidos en las zonas rurales de Colombia es todo un desafío: el 76% de estas no tienen un servicio de recolección de basura. Aun cuando hay una Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, la política tiene vacíos porque no presenta

información clara sobre lo que pasa con los residuos sólidos urbanos. El problema de los vacíos, por lo general, es más grave en las zonas rurales (WWF, 2021).

En los hogares rurales de Colombia, el tratamiento de los residuos es un problema grave. La razón es que, de acuerdo a los datos del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas (Dane), apenas el 23,9% de los hogares rurales tiene servicio de aseo. Así que, el 76,1% de los hogares tiene que encontrar la forma de disponer sus residuos. Esto por supuesto, no es algo muy recomendable (Gutiérrez, 2020).

En la actualidad los habitantes de la Vereda Nuevo Amanecer, más específicamente los propietarios de la finca Santa Rita, no cuentan con un sistema de aprovechamiento de residuos sólidos desconocen el manejo adecuado que se le podría dar a los residuos, quizás por la insuficiente información que tienen acerca del tema, o por, la insuficiente inversión de recursos por parte de los organismos gubernamentales con el sector rural. En consecuencia, a esto existe una grave carencia de servicios básicos, lo que, unido a las condiciones ambientales generadas por la actividad ganadera, están determinan una baja calidad de vida, con serios problemas sanitarios y ambientales

Por tal razón se propone el establecimiento de una unidad de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos denominado biodigestor taiwanés, con el fin de aprovechar los residuos y producir una forma de energía limpia que corresponde al biogás. Así pues la razón principal es que la unidad sea empleada por esta familia dentro de las actividades de cocción, y que estos a su vez asuman ese compromiso que siendo utilizada correctamente estaríamos

haciendo uso de su potencial como fuente generadora de energía y a su vez proporcionando a la región, y al país, alternativas limpias que contribuyan a reducir en gran parte la contaminación provocada por el exceso de residuos sólidos e inclusive controlar la deforestación existente y así contribuir a preservar la vegetación.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo construir y evaluar un biodigestor taiwanés para generar biogás a partir de desechos orgánicos producto de la actividad diaria en la finca Santa Rita de la vereda El Nuevo Amanecer municipio de Ocaña, Norte de Santander?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general.

Construir y evaluar un biodigestor taiwanés para generar biogás a partir de desechos orgánicos producto de la actividad diaria en la finca Santa Rita de la vereda El Nuevo Amanecer municipio de Ocaña, Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos.

Caracterizar los residuos orgánicos generados en la Finca Santa Rita, determinando así, los residuos orgánicos disponibles para la producción de biogás.

Determinar los parámetros necesarios para construir e implementar un biodigestor modelo taiwanés.

Analizar el nivel de funcionalidad y eficacia del biodigestor en la generación de biogás.

1.4 Justificación

El presente proyecto tiene como propósito ofrecer una mirada integral sobre el daño ambiental generado por el crecimiento de los residuos orgánicos del ganado vacuno en la vereda Nuevo Amanecer, con el fin de lograr prácticas más ecológicas, para la reutilización de dichos desechos producidos, tomando así mayor conciencia, cultura y compromiso ciudadano.

Así, la presente propuesta permitiría dar un mejor aprovechamiento a los residuos producidos en la familia de la vereda Nuevo Amanecer, generando una contribución al cuidado del medio ambiente, bienestar propio y habitantes residentes de esa localidad.

Según el informe expuesto por la ONU, en el que se da una mirada integral de la energía derivada de la biomasa ya que esta energía respeta y protege el medio ambiente, integra comunidades energéticamente vulnerables, reduce la emisión de gases de efecto invernadero y convierte residuos en recursos, más adelante también nos aclara como este proceso para producir energía, ha evitado cientos de enfermedades respiratorias en mujeres que anteriormente realizaban sus procesos de cocción con los llamados fogones a leña (ONU, 2019).

El desarrollo de este proyecto, les permite a los investigadores afianzar los conocimientos adquiridos en la institución donde obtuvieron su formación Por otra parte al llevar a cabo el desarrollo del proyecto, los hará participes de la situación actual por la que tienen que pasar los habitantes de la finca Santa Rita, para lograr preparar sus alimentos, ya que dicha información se

obtendrá de manera directa. Cabe desatacar que la Universidad (Ufpso), mediante los estudios realizados por los estudiantes en beneficiada, porque le permite mostrarse a entes de vigilancia y seguimiento. Otro beneficiario sería los los habitantes de la finca Santa Rita, por que estarían ahorrando dinero en la compra de gas para cocinar y de abono para sus cosechas y de esta manera, los residuos disminuyen.

El desarrollo del presente proyecto, pretende generar una nueva experiencia en la implementación de esta tecnología. Se espera proporcionar toda la información necesaria para implementar la construcción de un biodigestor modelo taiwanés. Se dará a conocer los aspectos básicos del diseño, el lugar donde están disponibles los materiales, como es su construcción y detalles en todas estas etapas. De ese modo, abriendo el camino para que tenga una mayor relevancia en la región, con la que se pueda mejorar la competitividad del sector agrícola. Es así como se podrá analizar qué tan viable es este biodigestor en las fincas de pequeños agricultores.

1.5 Delimitaciones

1.5.1 Delimitación geográfica.

La investigación se ejecutará en la finca Santa Rita Ubicada en la vereda nuevo amanecer del municipio de Ocaña (N. de S).

1.5.2 Delimitación temporal.

La ejecución del actual proyecto se llevará a cabo en periodo comprendido de cuatro (4) meses, con previa aprobación y autorización, para el desarrollo y alcance de los objetivos propuestos en el proyecto de investigación.

1.5.3 Delimitación conceptual.

Durante el planteamiento de la propuesta de investigación se consultaron varios términos que definen la conceptualización del proyecto, los cuales son: anaerobio, bacterias anaeróbicas, biodigestor, biogás, demanda química de oxígeno (do), digestión anaeróbica, efluente, energía alternativa, estequiometría, excreta, hidrólisis, metanogénesis, pH, pH-metro, temperatura, termocupla

1.5.4 Delimitación operativa.

Durante el desarrollo del proyecto de investigación se requiere conocimiento previo y la utilización de medios facilitadores para la recolección de información. Sin embargo, podrían presentarse dificultades para la obtención de información, que puedan limitar la investigación ya sea total o parcial.

Capítulo 2 Marco Referencial

2.1 Marco histórico

2.1.1 *A nivel mundial*

Según el informe mundial de la Agencia Internacional de Energía (2020), en el mundo solo se está utilizando una fracción del potencial para producir gas a partir de desechos orgánicos, se cree que esto podría cubrir alrededor del 20% de la demanda mundial de gas en estos días. También nos encontramos con que la producción de estos gases encarna en la idea de una economía circular en la que los recursos se utilizan continuamente, con esto se lograría satisfacer la demanda de energía y al mismo tiempo ofrecer beneficios al medio ambiente (AIE, 2020).

Existe un problema grande en cuanto a los métodos para cocinar. Los hogares que concinas con leña, carbón vegetal, carbón, desechos de cultivos o estiércol son más del 50% en los países en desarrollo y es una cifra que tiene una tendencia a empeorar. Como es de esperar, África tiene el porcentaje más alto de población que cocina con estas fuentes de energía y por supuesto América Latina no se queda atrás (Kennedy Freeman, 2019).

Según el Banco Mundial, 700 millones de africanos usan combustibles sólidos en la preparación de alimentos o bien otros combustibles potencialmente tóxicos como el queroseno. En las zonas rurales, hasta el 98% son dependientes de estos combustibles. Otro problema, son las estufas ineficientes que producen gases tóxicos que derivan en problemas de salud pública. Esto, llega al punto de causar más muertes que VIH/sida, el paludismo y la tuberculosis juntas. Además de todo lo anterior, esto genera más costos económicos que mantiene el ciclo de la pobreza y dañan el medio ambiente (Banco Mundial, 2014).

A través del informe del Banco Mundial titulado El poder del estiércol: Lecciones aprendidas de los programas de biodigestores en granjas en África, nos encontramos como se examinan estudios de caso en Burkina Faso, Etiopía y Kenia sobre programas de biodigestores exitosos y se comienza a responder la pregunta: ¿cómo pueden los programas agrícolas apoyar la ampliación de las tecnologías no contaminantes para cocinar? En el artículo, se analizó, la manera como se han implementado los diferentes tipos de biodigestores en África, de los cuales interesan principalmente los más simples y con mejor relación calidad precio; se revisaron los principales problemas que tienen los digestores en su uso, mantenimiento e implementación; y como se pueden mejorar al mismo tiempo que se reduce su costo (Banco Mundial, 2019).

Una de los rasgos más interesantes que se encontraron en este informe es que muchos agricultores utilizan la experiencia de trabajar con biodigestores para producir biol, un fertilizante líquido que se puede utilizar para los cultivos, esta experiencia les permitiría disminuir los costos de producción y aumentar la productividad de los agricultores. Para los agricultores, en algunos casos, la razón principal para la manutención del biodigestor, resulta ser el biol que puede ser incluso más valorado que el biogás (Kennedy Freeman, 2019).

2.1.2 A nivel nacional

En el territorio nacional, alrededor del 93% de los residuos se disponen de manera correcta en rellenos sanitarios. El resto, se vierte inadecuadamente en cuerpos de agua y botaderos. La dificultad de acceso a las zonas rurales, propicia que la cobertura sea de apenas del 0,5% (Acosta Pabuena & Pascualino, 2014).

En Colombia, los residuos sólidos orgánicos representan alrededor de 2/3. Esa gran cantidad de residuos orgánicos, crea una gran potencia para la explotación del biogás y un tratamiento más ecológicos de los residuos. Sin embargo, en comparación con otras zonas como Asia y Europa, en el país la producción de biogás es baja. A pesar de su escasez, en Colombia si se cuentan con biodigestores industriales en rellenos sanitarios y algunas industrias, pero muchas veces no se aprovecha el biogás. En el sector rural, se cuentan con iniciativas de cooperación para construir pequeños biodigestores. Así que, en Colombia se cuenta con potencia para la producción de biogás tanto industrial como rural (Acosta Pabuena & Pascualino, 2014).

Según la ingeniería civil Diana Murcia Velasco, en su investigación titulada “Alternativas para mejorar el manejo y tratamiento de los residuos orgánicos en zonas rurales de Colombia aprovechando los residuos orgánicos que más se producen en esos lugares para producir biogás y bio abono”, la ingeniera nos ofrece una mirada integra acerca del aprovechamiento que se le puede dar a las cascaras de yuca y plátano en la producción de biogás. Según la investigadora Colombia paso de tener 8,5 millones de habitantes a tener 47.67 millones solo entre 1940 y 2013, esto repercutió en consecuencias para el campo ya que este tuvo un crecimiento de 35% mientras que las áreas urbanas fueron del 500% (Velasco, 2021).

En la actualidad, el país genera más de 12 millones de toneladas de residuos sólidos y solo el 17% de estos es reciclado, se cree que las empresas deben tomar mayor conciencia sobre el desperdicio y el deterioro que se le está causando al medio ambiente, a corto largo y mediano plazo. Aun no existen cifras de cuantas empresas en Colombia han empezado a implementar la gestión ambiental, aunque se sabe que muchos restaurantes están capacitados y alineados para

pensar creativamente e innovar en la forma en la que se planifica, usa y sirven os alimentos para así de esta manera reducir el desperdicio. Es importante resaltar que todas las personas tienen la capacidad de invertir parte de su tiempo para desarrollar una correcta gestión de residuos, no solo en su casa, sino también en su lugar de trabajo (El Nuevo Siglo, 2019).

2.1.3 A nivel local

La producción de residuos sólidos, resultado de las actividades ganaderas en la finca Santa Rita de la vereda Nuevo amanecer, es un recurso que podemos utilizar para la generación de energías limpias y renovables a través del proceso anaeróbico que ocurren dentro de los biodigestores para la generación de biogás y subproductos que a su vez son recursos que provienen de la naturaleza y se regresan a la naturaleza. Además, ofrecen un alto contenido de materia orgánica para la producción de metano, producción de compostaje y fertilizante natural llamado biol, siendo estos últimos utilizados como mejoradores y restauradores de los ecosistemas.

En la finca Santa Rita su principal fuente de ingreso se basa en la producción de diferentes cultivos como café, plátanos, cebolla, entre otros, a su vez cuentan con una pequeña extensión de ganado de unas 20 especies de bovinos que proveen leche y carne, por eso se cree que estos generan diariamente una carga residual que siendo utilizada correctamente estaríamos haciendo uso de su potencial como fuente generadora de energía y a su vez proporcionando a la región, y al país, alternativas limpias que contribuyan a reducir en gran parte la deforestación innecesaria existente y así lograr preservar un buen ecosistema.

Tres municipios de norte de Santander: Ábrego, Durania y Cucutilla, están implementando proyectos para la construcción de biodigestores. Gracias al apoyo de Corponor, ya son 60 los construidos. La subdirectora de planeación de Corponor, Melva Álvarez indico: “La construcción y puesta en funcionamiento de biodigestores plásticos de flujo continuo conlleva a la mitigación del impacto generado por los vertimientos a cuerpos de agua y suelo, generación de olores ofensivos, proliferación de moscas y generación de gases, en este caso, metano, que sirve como insumo en las cocinas de las viviendas para la preparación de alimentos y se evita que este gas sea emitido a la atmósfera generando contaminación ambiental” (Vílchez B., 2019).

Cuando las familias optan por un biodigestor pueden prescindir del uso de leña en sus viviendas. La nueva fuente de energía (biogás), permite disminuir la presión sobre los servicios ecosistémicos. El impacto también se refleja en la salud de las personas pues, no se ven expuestas a la polución de la quema de leña. Los biodigestores, aprovechan un proceso, por el cual se obtiene metano de la fermentación anaerobia de materia orgánica. Principalmente estiércol de vacas y cerdos. Dependiendo de la temperatura ambiente, el biogás se produce entre 15 y 40 días luego del inicio de la fermentación (Vílchez B., 2019).

2.2 Marco contextual

2.2.1 Localización

El municipio de Ocaña se encuentra ubicado en la zona Centro Occidental del departamento, y pertenece a la sub-región noroccidental, limita Por el Oriente con los municipios de San Calixto, La Playa y Abrego. Por el Norte con los municipios de Teorema, Convención y

El Carmen. Por el Sur con el municipio de Ábrego. Por el Occidente. Con los municipios de San Martín y Río de Oro. A este pertenece la vereda Nuevo Amanecer ubicada al sur de la región (Cámara de comercio de Ocaña, 2019).

2.2.2 Climatología

El municipio por encontrarse en las estribaciones de la cordillera oriental tiene un clima muy variado, que va desde los 16 °C hasta temperaturas superiores a los 28 °C, en el sector urbano, la temperatura baja en las primeras horas del día, aumentando hacia el mediodía hasta alcanzar una temperatura promedio de 21°C. La temperatura, rara vez baja a menos de 15 °C o sube a más de 28 °C (Weather Spark, s.f.).

2.2.3 División Político-Administrativa

La zona urbana tiene división político administrativa, está dividida en seis comunas, la comuna uno central denominada José Eusebio Caro, la dos nororiental denominada Cristo Rey, la tres sur-oriental, denominada Olaya Herrera, comuna cuatro sur-occidental, denominada Adolfo Milanés, comuna cinco denominada Francisco Fernández de Contreras y la comuna seis denominada Ciudadela Norte (Tribunal superior de Cucuta, 2018). En conjunto las seis comunas de Ocaña, están compuestas por 169 barrios (Cámara de comercio de Ocaña, 2019).

2.2.4 Hidrografía

El suelo Ocañero está rodeado por el río Catatumbo (conocido en nuestro territorio como río Algodonal), el río Tejo y varios arroyos. El río Tejo tiene una longitud de unos 20 kilómetros y recorre casi toda la ciudad, aguas arriba abastece la planta potabilizadora de El Llanito, el

tercer río del mundo que contiene flúor, y aguas abajo el acueducto que recibe las aguas residuales de la ciudad y las descarga al río Algodonal. Los arroyos pierden mucho caudal en verano y entre los más importantes el Venadillo de 5 kilómetros, La Vaca de 3 kilómetros y Quebrada Seca de 2 kilómetros (Díaz Florez, Quintero Vega, Lozano Lázaro, Fonseca Herreño, & Valdes Solano, 2017).

2.2.5 Aspecto Poblacional

Ocaña según el DANE al 3 de diciembre de 2015 debe tener 98,229 habitantes. 88,908 en la cabecera municipal y 9,321 en la zona rural, de los cuales 49,843 son hombres y 48,386 son mujeres. Esta población es menor a la que tiene actualmente Ocaña, según el SISBEN a esa fecha hay un total de 96.225, al sector urbano le corresponde 81.479 y al rural 14.746 cuando se realizó esta encuesta en el año 2008 solo se aplicó al estrato poblacional 1 y 2, y en todo el sector rural. En los años siguientes a su aplicación se ha ido actualizando por demanda de la población, si comparamos la cifra del DANE con la del SISBEN la diferencia es de solo 2,004, si se tiene en cuenta que la mayoría de los estratos 3 y 4 no aparece en el SISBEN, obtenemos la primera conclusión de que la población del DANE no es real (Cámara de comercio de Ocaña, 2019).

Por otro lado, si sumamos los habitantes con régimen subsidiado con los que tienen régimen contributivo, nos da 109.216. Si analizamos una base más sólida que es la de los usuarios del servicio de acueducto en el sector urbano, que tiene una cobertura de 97.7%, la empresa ESPO reportan 25,581 usuarios residenciales, más cuatro invasiones que reciben el servicio de acueducto, los cuales no están en el sistema porque reciben agua en bloques, estos son aproximadamente 1,800 familias para un total de 27,381 suscriptores. La empresa

ADAMIUAIN cuenta con 1.118 usuarios para un total de 28.499 (Cámara de comercio de Ocaña, 2019).

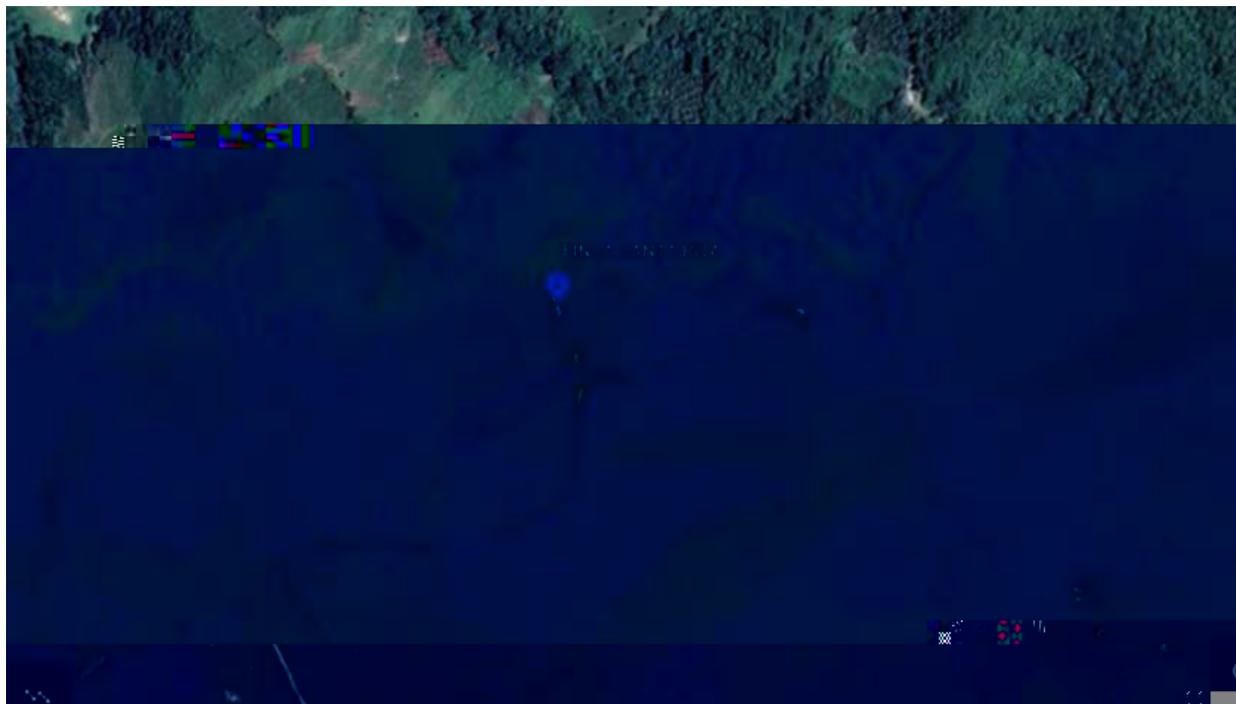
Si consideramos que cada usuario está formado por cuatro miembros, tendríamos una población de 113.996. Si sumamos la población en SISBEN del sector rural, nos da una población total de 128.742. Esta cifra puede ser más real, ESPO confirma que, en los últimos cinco años, en promedio, el aumento de usuarios residenciales es de 1.211 por año. Es decir, el crecimiento en cinco años es de 6.055 usuarios, lo que equivaldría a 24.220 personas, por otro lado, el incremento de inmuebles del IGAC durante el periodo 2010-2015, que fue de 4.186, reforzando aún más la cifra de población calculada (Cámara de comercio de Ocaña, 2019).

2.2.6 Lugar de desarrollo

Para el logro de los objetivos y actividades propuestas, el actual proyecto se desarrollará en el municipio de Ocaña (N. de S.), vereda Nuevo Amanecer.

Figura 1

Ubicación geográfica de la zona de estudio



(Google, 2022).

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Residuos

Residuos Sólidos: El término más comúnmente utilizado para residuos es "basura", que se refiere a todos los materiales que resultan de la actividad humana y que un ser humano descarta diariamente. Estos residuos se encuentran en viviendas, lugares de trabajo, restaurantes, edificios administrativos, hoteles e industrias, y están compuestos por residuos orgánicos como alimentos, residuos de jardinería, papel, cartón, madera y otros materiales biodegradables; y desechos inorgánicos como objetos de vidrio, plástico, metales y caucho (Vesco, 2006).

Los residuos orgánicos: Son residuos que se descomponen naturalmente y tienen la capacidad de desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Generalmente se procesan mediante una técnica de compostaje y provienen de una variedad de fuentes, que incluyen hogares, industrias, plantas de tratamiento, agricultura, horticultura y silvicultura, entre otras (Garita Sánchez & Rojas Vargas, s.f.).

2.3.2 Biodigestor

Un biodigestor, es un sistema que aprovecha la naturaleza que utiliza la digestión anaeróbica (en ausencia de oxígeno) para degradar la materia orgánica. Esto se consigue con la ayuda de las bacterias que realiza el proceso de degradación de la materia orgánica. El resultado, materia orgánica degradada no tóxica que puede ser usada como fertilizante y biogás del cual se puede obtener energía térmica (Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018).

2.3.2.1 Clasificación de biodigestores. Los biodigestores se clasifican de acuerdo a su complejidad y utilización, según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

Sistemas Batch o discontinuos: Los materiales primarios se cargan en digestores por lotes en un solo lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y la producción de biogás disminuye, los digestores se agotan por completo y se vuelven a alimentar, lo que indica el inicio de un nuevo proceso de fermentación (Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018).

Sistemas semicontínuos: Cuando se introduce la primera carga en el digestor, contiene una gran cantidad de materia prima. A continuación, se suman los volúmenes de carga nueva, que se calculan en función del tiempo de retención hidráulica (TRH) y el volumen total del digestor. El efluente se descarga regularmente en la misma cantidad que se incluyó. Cuando se trata de pequeños sistemas para uso doméstico, este proceso se utiliza en zonas rurales (Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018).

Sistemas Continuos: Cuando la digestión de los alimentos es un proceso continuo, el efluente que se descarga es el mismo que el afluente o material de carga, con una producción constante de biogás. Se utilizan principalmente para el tratamiento de aguas negras. Este término se refiere a plantas industriales de gran capacidad donde se utilizan equipos comerciales para alimentar a los animales, proporcionarles temperatura y agitación, y manejarlos (Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018).

2.3.2.2 Modelos de biodigestores. A lo largo del mundo se han diseñado una serie de biodigestores que atienden a la necesidad específica de su diseñador. Entre los más importantes encontramos:

Biodigestor taiwanés: Este tipo de digestor (bolsa, balón o digestor tubular) se introdujo por primera vez en Taiwán en 1960. Está hecho de plástico indestructible y es especialmente popular en China. Estos digestores están disponibles en volúmenes que van de 2,2 a 13,5 m³, siendo los digestores de 6 m³ los más utilizados. Este digestor de bajo costo fue creado por Chung Po de Taiwán, quien usó neopreno para fabricarlo. Más tarde fue reemplazado por un

polietileno más asequible y se usa más comúnmente en América Latina, África y Asia. Este diseño combina la cámara de digestión, el tanque de sedimentación y el gasómetro en una sola unidad. Debido a que debe haber espacio para el gas, el sustrato no ocupa todo el volumen del digestor. Como resultado, a medida que la bolsa se aprieta, el gasómetro se forma y se llena. El funcionamiento de este digestor se basa en la tecnología de digestión anaeróbica de flujo pistón, también conocida como flujo de pistón, que es el método por el cual se mueve la carga en su interior. Tiene dos tubérculos, uno para llevar el sustrato (estiércol-agua) y otro para soltar el sustrato (biol) (García Zabaleta, Marcoantonio Víctor, & Mario Daniel, 2017).

Este tipo de biodigestor es simple de construir y rentable. Su desventaja es que tiene una vida útil corta, siendo necesaria la construcción de uno nuevo cada tres años. También es muy delicado y puede sufrir pudriciones debido a las condiciones climáticas del lugar donde se instala, así como a la influencia de la acción animal y humana (García Zabaleta, Marcoantonio Víctor, & Mario Daniel, 2017).

Modelo Chino: Estos digestores son tanques cilíndricos con techo en forma de cúpula y piso en forma de cúpula, y están completamente cerrados. Al inicio del proceso, el digestor se llena con residuos agrícolas que han sido mezclados con principios activos de otro digestor a través de la cubierta superior desmontable. Una vez cargado, se alimenta diariamente con residuos de letrina y animales domésticos a través de un tubo de carga que se conecta a la sección media del digestor (Varnero Moreno, 2011).

Modelo Indiano: En general, estos digestores son enterrados y verticales, similares a un pozo. Se cargan una vez al día con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención, y producen una cantidad diaria de biogás más o menos constante si se cumplen las condiciones de funcionamiento (Varnero Moreno, 2011).

Biodigestores Horizontales: Estos digestores son típicamente enterrados, poco profundos y largos, parecidos a un canal, con relaciones de largo a ancho que van desde 5:1 a 8:1 y una sección transversal circular, cuadrada o en "V". Funcionan en un horario semicontinuo, con la carga entrando por un extremo del digestor y los lodos saliendo por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de un material flexible que no pierda gas y resista las bajas temperaturas (Varnero Moreno, 2011).

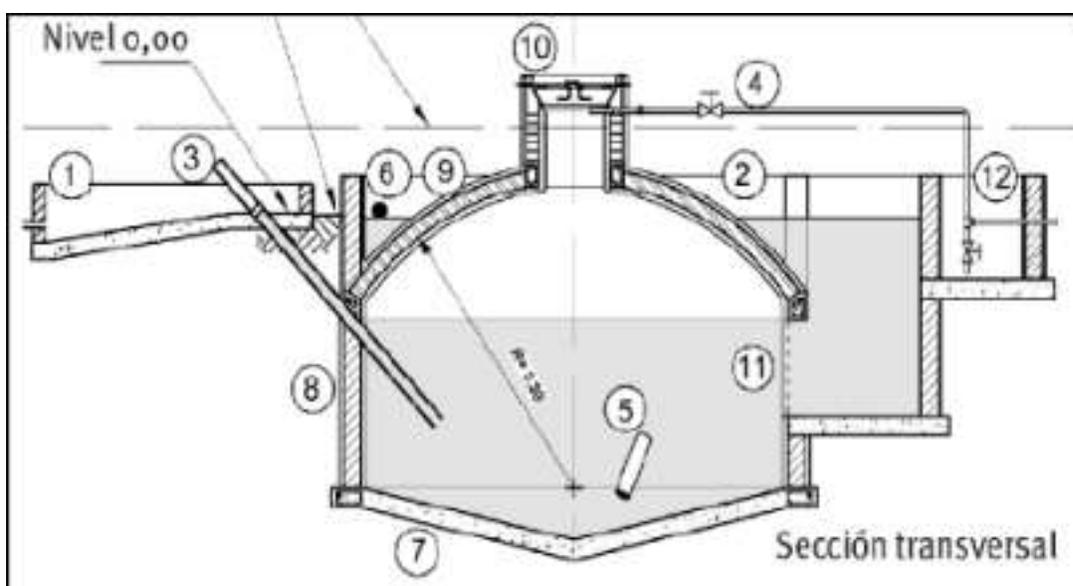
Digestor Batch (discontinuo o régimen estacionario): Este tipo consiste en una batería de tanques o unidades herméticas de almacenamiento (digestores) con un suministro de gas conectado a un medidor de gas flotante donde se almacena el biogás. El objetivo de tener más de un digestor es tener uno de ellos cargado o descargado en todo momento, mientras que el resto está produciendo biogás (Varnero Moreno, 2011).

Otros tipos de biodigestores: La tecnología Puxin Biogás, desarrollada por la empresa china Shenzhen Puxin Science & Technology Co, cuenta con moldes para la construcción de biodigestores con una capacidad de 10 m³, hormigón armado, y ubicados en el subsuelo. En este biorreactor se incluye un medio de almacenamiento de biogás (Varnero Moreno, 2011).

2.3.2.3 Componentes de los digestores. Debido a que hay una gran diversidad de biodigestores, entre uno y otro pueden tener diferentes componentes. Especialmente digestores de alta tecnología, pueden tener componentes especializados. En ese sentido, solo se mencionarán los principales componentes que todo biodigestor debe tener.

Figura 2

Partes de un biodigestor



(Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018).

- 1.- Tanque de mezcla
- 2.- Tanque de compensación.
- 3.- Tubo de carga.
- 4.- Tubo de salida del biogás.
- 5.- Tubo de salida de lodos.
- 6.- Tubo de rebose
- 7.- Fondo

- 8.- Pared circular.
- 9.- Cúpula
- 10.- Cuello
- 11.- Acceso de tanque de compensación.
- 12.- Trampa de agua.

Entre los componentes más importantes tenemos:

Tanque de carga: Permite almacenar la cantidad de sustrato y agua que irá entrando al digestor. Es posible agregar agua caliente a este tanque para acelerar la descomposición y homogenización de la materia orgánica (Chungrandro Nacaza, 2010).

Tanque de descarga: Permite la acumulación de biofertilizante como subproducto de la biodegradación de biomasa para su uso posterior. Tanto las cajas de carga como las de descarga serán más grandes en el futuro (Chungrandro Nacaza, 2010).

Biodigestor: Constituye el elemento principal, el mismo que aloja a la materia orgánica en acuerdo con el tiempo de retención establecido en ausencia total de oxígeno. Se pueden incluir sistemas de calefacción externos en esta cámara. En la explotación de grandes volúmenes se requiere un sistema de agitación, así como una mezcla homogénea del sustrato (Chungrandro Nacaza, 2010).

Conducto de carga: Permite la entrada de sustrato desde el tanque de carga hasta el digestor. El camino debe ser recto, sin curvas que puedan dañar el material entrante, y debe ser fácil para su mantenimiento (Chungrandro Nacaza, 2010).

Conducto de descarga: Permite la liberación de material estabilizado (biofertilizante) una vez cumplido el tiempo de retención en el digestor. El principio de "vasos comunicantes" rige el efecto de evaporación del biofertilizante, es decir, el conductor debe colocarse a una determinada altura sobre la superficie (Chungrandro Nacaza, 2010).

Agitador: Este mecanismo es muy útil en digestores del tipo fijo, móvil y de pistón, así como en un mismo lote. Sin embargo, en digestores de plástico, el sistema de agitación es difícil de implementar, y para solucionar el problema de formación de nata en la superficie, se utiliza un sistema de inyección de biogás producido (Chungrandro Nacaza, 2010).

Reservorio: Permite el almacenamiento de biogás para su uso posterior. Es importante señalar que cuando la producción de biogás es alta y el consumo es bajo, es posible construir una serie de reservorios (Chungrandro Nacaza, 2010).

Tubería de conducción: Permite transportar el biogás desde el digestor hasta el reservorio, desde donde es transportado a la obra, según la necesidad que se haya atendido (Chungrandro Nacaza, 2010).

2.3.3 *Proceso de digestión aeróbica y anaerobia*

En la naturaleza tenemos estos dos procesos de digestión. Siendo el más eficiente, el proceso aeróbico. Esto se debe a que, se realiza en presencia de oxígeno y este elemento, permite extraer toda la energía de la materia orgánica mediante los procesos de descomposición. En un biodigestor, usamos el proceso anaeróbico. La razón es que, al no tener oxígeno, se genera un residual de energía en forma de metano. A este metano, se le puede extraer la energía mediante la combustión al igual que el gas natural.

2.3.3.1 Digestión aeróbica. Cuando los microorganismos (bacterias y protozoos) actúan sobre la materia orgánica en presencia de oxígeno, la transforman en productos finales y material celular inocuos. Los materiales orgánicos, se expone al aire libre y se descompone en este tipo de digestión (*Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018*).

2.3.3.2 Digestión anaeróbica. Es un proceso biológico que degrada la materia orgánica sin la presencia de oxígeno, convirtiendo los desechos orgánicos de animales y plantas en biogás y biol (fertilizante). Es posible convertir una gran cantidad de desechos vegetales, animales e industriales, así como efluentes de las industrias alimentaria, de fermentación y del papel, en subproductos útiles mediante el empleo de estos procesos (*Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018*).

Procesos de fermentación de estiércol. La digestión anaeróbica es un proceso complejo, tanto en términos de la cantidad de reacciones bioquímicas que tienen lugar como de la cantidad de microorganismos involucrados. De hecho, muchas de estas reacciones tienen lugar al mismo tiempo (*Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018*). Hasta el momento, los estudios bioquímicos y

microbiológicos han dividido la descomposición anaerobia de la materia orgánica en cuatro fases o etapas, las cuales son las siguientes:

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

Hidrólisis: La hidrólisis es el primer paso en la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos. Como resultado, es el proceso el que proporciona sustratos orgánicos para la digestión anaerobia. Además, la hidrólisis está influenciada por la temperatura del proceso, tiempo de retención hidráulica, composición bioquímica del sustrato (porcentaje de lignina, carbohidratos, proteínas y grasas), tamaño de partícula, nivel de pH y concentración de NH_4 (Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018).

Etapa fermentativa o acidogénesis: Durante esta etapa, las moléculas orgánicas solubles son fermentadas en compuestos que pueden ser utilizados directamente por bacterias metanogénicas (acético, fórmico, H_2), así como compuestos orgánicos más reducidos (propiónico, butírico, valérico, láctico, y etanol, principalmente) que deben ser oxidado por bacterias acetogénicas en la siguiente etapa del proceso. La importancia de este grupo de bacterias radica no solo en el hecho de que proporcionan alimento para los siguientes grupos de

Etapa acetogénesis: Durante esta etapa, las bacterias acetogénicas (ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono) producen ácido acético. Un contenido excesivo de hidrógeno impide la conversión de productos intermedios de acidogénesis por razones relacionadas con la energía. Como resultado, los ácidos orgánicos como el ácido propiónico, el ácido isovalérico y el ácido hexanoico se acumulan e impiden la formación de metano. Como resultado, las bacterias acetogénicas (bacterias que producen hidrógeno) deben habitar en una comunidad biológica cerrada (biocenosis) con arqueas consumidoras de hidrógeno, las cuales consumen hidrógeno junto con el dióxido de carbono durante la formación del metano, asegurando un ambiente adecuado para las bacterias acetogénicas (Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018).

Etapa metanogénica: Durante esta etapa, un gran número de bacterias anaerobias actúan sobre los productos de etapas anteriores. Los microorganismos metanogénicos son los más importantes entre los microorganismos anaerobios ya que son los responsables de la metanogénesis y la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores, además de dar nombre al proceso de biometanización. A pesar de que todos los organismos metanogénicos son capaces de utilizar H₂ como aceptor de electrones, se ha demostrado que el 70% del metano producido en reactores anaeróbicos proviene de la descarboxilación del ácido acético (Hernández Gil & Zapata Vigil, 2018).

2.3.4 Factores que influyen en la digestión anaerobia

Hay una serie de factores que pueden influir, mejorar o impedir que el proceso de digestión anaerobia funcione correctamente. El pH, la temperatura, los nutrientes, el potencial redox, el tiempo de retención, la velocidad de carga orgánica, la agitación y las sustancias

inhibidoras son algunos de los factores que se discutirán más adelante (De Basurto Burgos, 2013).

El PH. El valor de pH es un indicador importante de qué tan bien están funcionando los procesos del biodigestor. En cada etapa del proceso, los microorganismos alcanzan su actividad máxima en un rango de pH diferente. (De Basurto Burgos, 2013)

Esta variable es crítica porque ayuda a determinar la fase del proceso e identifica corto circuitos causados por un exceso de grasas volátiles o amoníaco (el proceso debe estar entre 6.8 y 7.2 unidades de pH). La población metanogénica disminuye cuando el pH cae por debajo de 6.6. La alcalinidad excesiva también provoca la degradación del proceso digestivo debido a la desintegración de los microorganismos. (Gonzalez, 2016)

Temperatura.

La digestión anaerobia puede ocurrir a altas temperaturas y la sensibilidad de las bacterias metabólicas es mayor que la de otros microorganismos que se encuentran en un tanque de digestión. Si la temperatura sube un poco, el sistema digestivo no se ve afectado; sin embargo, si la temperatura baja, puede afectar la producción de metano (De Basurto Burgos, 2013).

La temperatura es uno de los parámetros más importantes en la digestión anaeróbica porque determina la tasa de degradación del proceso anaeróbico, particularmente durante las etapas de hidrólisis y metanogénesis (De Basurto Burgos, 2013).

Hay tres rangos de temperatura en los que puede tener lugar la digestión anaeróbica:

- Psicrófilo: por debajo de 25 grados centígrados
- Mesófilo: entre 30 y 40 °C
- Termófilo: entre 50 y 60 °C

Las bacterias que crecen en cada uno de estos intervalos de temperatura son organismos distintos. Si cambia el intervalo de temperatura en el reactor, será necesario reorganizar el reactor y cultivar una nueva población bacteriana. La temperatura efectiva de operación en reactores de temperatura fija es de 37°C (intervalo mesofílico), y la actividad y crecimiento de bacterias disminuyen en un 50% por cada 10°C por debajo de 35°C. No se recomienda elevar la temperatura del reactor de lecho fijo por encima de los 42 °C, ya que esto hace que las bacterias se degraden a temperaturas más altas. (Gonzalez, 2016)

Nutrientes. Los nutrientes, al igual que el resto de sistemas de tratamiento biológico, son necesarios para cubrir los requerimientos de crecimiento de los microorganismos. Carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) son los nutrientes más importantes para su crecimiento, así como los oligoelementos (S, K, Ca, Na, Mg, Fe), que son necesarios para la activación de enzimas en metanogénesis. La relación C/N debe estar entre 15/1 y 45/1, con un valor recomendado de 30/1, mientras que la mejor relación C/P para el fósforo es 150/1 (De Basurto Burgos, 2013).

Potencial redox. Es necesario mantener el potencial redox por debajo de -300 mV o -330 mV para garantizar que el ambiente sea lo suficientemente reducido para que las bacterias metanogénicas funcionen de manera óptima (De Basurto Burgos, 2013).

El Tiempo de retención hidráulica. Es el producto del volumen y el caudal de tratamiento, o el tiempo medio de permanencia del influente en el reactor, sometido a la acción de microorganismos (De Basurto Burgos, 2013).

La velocidad de carga orgánica (VCO) En un período de tiempo determinado, se define como la cantidad de materia orgánica alimentada por un volumen determinado de biodigestor. En ausencia de inhibidores, las cargas orgánicas más altas dan como resultado una mayor producción de metano, pero también aumentan el riesgo de sobrecargas puntuales, lo que hace que el reactor se acidifique, lo que resulta en una caída del pH y una posible falla del sistema (De Basurto Burgos, 2013).

Sustancias inhibidoras. La presencia de toxinas en el sistema inhibe el proceso de digestión anaeróbica. El nitrato de amonio, el acetato de sulfhidrilo y los ácidos grasos volátiles son importantes inhibidores de las bacterias metanogénicas, al igual que los metales pesados en altas concentraciones. Este tipo de sustancia se puede encontrar como ingrediente en los alimentos o como subproducto de la actividad metabólica del reactor. Los investigadores que realizan una revisión de la literatura sobre la inhibición de la digestión anaerobia hablan sobre la amplia gama de niveles de inhibidores/toxicidad informados para la mayoría de las sustancias. Según los autores, la complejidad del proceso de digestión anaerobia, donde mecanismos como

el antagonismo, el sinergismo y la aclimatación pueden tener un impacto significativo en la inhibición, es la razón principal de estas diferencias (De Basurto Burgos, 2013).

2.3.5 Biogás

El biogás es el gas producido por la naturaleza, a causa de la descomposición de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos en ausencia de oxígeno. Esto quiere decir, en un medio anaeróbico (OEA, s.f.). El biogás es “una mezcla constituida por metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO₂), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S)” (OEA, s.f.).

2.4 Marco teórico

Todo trabajo de investigación perteneciente al campo de la ingeniería ambiental, debería comenzar con la teoría básica del **desarrollo sostenible**. El desarrollo sostenible se define según el informe nuestro futuro común de 1987 como “la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (ONU, 1987). Un biodigestor cumple con esa premisa del informe a cabalidad. Esto a partir del uso de biogás, como una fuente renovable de energía, al igual que una fuente renovable de fertilizante que no compromete el sustento de las generaciones futuras.

Un biodigestor en una finca, inevitablemente se relaciona con la teoría de la agricultura sostenible. El fin de **la agricultura sostenible**, es la producción de alimentos sin el uso de agroquímicos insostenibles. De ese modo, se genera una producción alimentaria limpia,

alimentos más nutritivos, gestión integral de residuos sólidos, conservación hídrica, conservación de suelo, protección de cobertura vegetal y más (PRONATTA, 1995).

De acuerdo con lo anterior, se establecen las condiciones de **la producción más limpia**: minimizar residuos y emisiones dañinas al medio ambiente mientras que aumenta la producción a lo largo del ciclo de vida del producto. El biodigestor proporciona la reducción de la cantidad de los desechos y reduce las emisiones dañinas. Es así, como se obtiene una reducción de los impactos negativos (ONUUDI, 2008).

El biogás nos lleva a la teoría de las **energías alternativas**, debido a que este es capaz de suplir las necesidades energéticas de una manera muy similar al gas natural. En ese sentido, es capaz de reemplazar a las energías convencionales. En la actualidad es algo muy necesario puesto que, las reservas de combustibles fósiles se están comenzando a agotar. En el mundo, un 66% de la energía proviene de combustibles fósiles, el 16% de energía hidroeléctrica, la nuclear un 10,6% y un 6,3% para las demás fuentes. En conclusión, tarde o temprano será necesario el uso de energías renovables (Güiza-Suárez, Rodas Monsalve, Cifuentes Guerrero, & González, 2019).

La energía obtenida a partir de la biomasa entra y otorga sus beneficios. Los beneficios se deben a que se aprovecha principalmente materia orgánica de desecho. La materia orgánica va desde, aguas residuales hasta residuos de cultivos que dejan de ser un problema ambiental para convertirse en materias primas útiles (biol y biogás). Además de eso, se presenta el beneficio económico y social en el sector agrario del país. Aparece junto con los biodigestores,

la generación del empleo, ahorro de costes, desarrollo tecnológico y hasta estabilidad en la generación de la red energética (Ferro Veiga, 2020).

Por último, **la implementación de biodigestores** es lo que se aplica en el presente proyecto. Esto permite la transformación de los residuos gracias a la digestión anaerobia, de cuyo aprovechamiento se puede satisfacer las necesidades energéticas y de fertilizantes. Todo esto de una manera sostenible y de bajo costo que genera ahorro.

2.5 Marco Legal

Para la elaboración del marco legal fue necesario consultar la leyes que permiten sustentar este proyecto, y van relacionadas a los temas de energías alternativas, producción de biogás y la implementación de una producción más limpia. Las leyes, políticas, resoluciones y

Tabla 1*Normas del marco legal*

Disposición normativa	Descripción
La Ley 1715 de 2014	“Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional”.
Ley 99 de 1993	“por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”.
Ley 9 de 1979	“por la cual se dictan Medidas Sanitarias”
Ley 511 de 1999	“Establécese el Día Nacional del Reciclador y del Reciclaje, el cual se celebrará el primero de marzo de cada año”.
Ley 430 de 1998	“La presente Ley tendrá como Objeto, regular todo lo relacionado con la prohibición de introducir desechos peligrosos al territorio nacional”.
Ley 1259 de diciembre 12 de 2008	“Por medio de la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones”.
Decreto 605 de 1996	“El presente Decreto establece normas orientadas a regular el servicio público domiciliario de aseo en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades y calidad y al régimen de las entidades prestadoras del servicio y de los usuarios”.

Disposición normativa	Descripción
Decreto 1076 de 2015	<p>“El Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible es el rector de la gestión del ambiente y de los recursos naturales renovables, encargado de orientar y regular el ordenamiento ambiental del territorio y de definir las políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores”.</p>
Decreto 2811 de 1974	<p>“Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”.</p>
Decreto 351 de 2014	<p>“Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades.</p>
Decreto 1713 de 2002	<p>“El presente Decreto establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad, y al régimen de las personas prestadoras del servicio y de los usuarios”.</p>
Decreto 838 de 2005	<p>“El presente decreto tiene por objeto promover y facilitar la planificación, construcción y operación de sistemas de disposición final de residuos sólidos, como actividad complementaria del servicio público de aseo”.</p>
Política Nacional para la gestión Integral de Residuos, 1997	<p>“Contiene el diagnóstico de la situación de los residuos, los principios específicos (Gestión integrada de residuos sólidos, análisis del ciclo del producto, gestión diferenciada de residuos aprovechables y basuras, responsabilidad, planificación y gradualidad), los objetivos y metas, las estrategias y el plan de acción”.</p>

Disposición normativa	Descripción
Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000, publicado por el Ministerio de Desarrollo Económico	<p>“Guía Ambiental para la selección de tecnologías de Manejo Integral de Residuos Sólidos, Ministerio del Medio Ambiente, 2002”.</p> <p>“Proyectos de Gestión Integral de Residuos Sólidos, Guía Práctica de Formulación, Ministerio del Medio Ambiente, 2002”.</p>
Norma técnica colombiana (NTC 5167), productos para la industria agrícola.	<p>“Establece requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como fertilizantes o como acondicionadores del suelo.</p> <p>Reglamenta los limitantes actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica, los límites máximos de metales y enuncia algunos parámetros para los análisis microbiológicos”.</p>

Capítulo 3 Diseño metodológico

La metodología utilizada consiste en un conjunto coherente y racional de técnicas y procedimientos cuyo propósito fundamental son los procesos de recolección, clasificación y validación de datos tomados de las experiencias provenientes de hechos reales, a través de los cuales se puede construir el conocimiento.

3.1 Tipo de investigación

Según (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), la investigación puede hacerse con tres enfoques: cuantitativo, cualitativo y mixto, que hace referencia a la combinación de los dos anteriores.

En el caso del presente proyecto, el enfoque resulta ser de tipo mixto. Sin embargo, la mayor parte de la investigación es de tipo cuantitativa. El enfoque cualitativo, se debe únicamente a la entrevista y observación para conocer las posibilidades de trabajo al inicio del proyecto. El enfoque cuantitativo se debe a que, el resto del proyecto, corresponde a la recolección de datos, que se obtienen a partir de la medición y cuantificación de variables numéricas.

De acuerdo con (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014), el alcance de la investigación, lo podemos encontrar de cuatro tipos: exploratorio, descriptivo, correlacional y explicativo. En el caso de este proyecto, se ha considerado que el primer y segundo objetivo específico es de tipo descriptivo. El primero porque se realiza una caracterización de residuos sólidos orgánicos y se investiga la situación actual de los mismos. El

segundo porque se usan diferentes datos obtenidos para hacer análisis numérico que permita estructurar el diseño. El tercer objetivo se lo considera correlacional porque se va a revisar la relación existente entre dos variables. No llega a ser explicativo porque, se requiere de un conocimiento más profundo de las variables que afectan el biodigestor, lo cual tiene una elevada complejidad que no se abarca en este proyecto.

El diseño del sistema se desarrollará mediante parámetros en función a la realidad, disponiendo de investigación cuasi-experimental, ya que se manipularán los datos para el diseño y se evaluará la funcionalidad del digestor (Castillero Mimenza, 2018).

En el diseño metodológico constará de las siguientes fases:

Fase I. Realizar una caracterización de los residuos generados en la finca Santa Rita, para determinar así los residuos sólidos orgánicos a usar en la producción de abono y gas del biodigestor. Esta primera fase se cumplirá dando seguimiento a las actividades que a diario deben realizar los agricultores, destacando las más importantes como lo son la ganadería. Este proceso es de vital importancia ya que repercute en el direccionamiento del diseño y posterior producción de biogás, determinando su viabilidad y eficacia, en el cual se debe tener el registro de la cantidad de sólidos orgánicos producidos. El objetivo se cumplirá mediante las siguientes técnicas de recolección de datos de investigación.

Observación.

Entrevista.

Pesaje de residuos sólidos orgánicos del hogar.

Conteo de animales.

Fase II. Determinar los parámetros necesarios para la construcción e implementación del biodigestor. De acuerdo con el tipo de residuo escogido, las necesidades de biogás y la temperatura ambiente, se procedió a determinar las dimensiones del biodigestor. Esto teniendo en cuentas la cantidad de biogás generado por una determinada cantidad de material orgánico durante un determinado tiempo, de acuerdo a la bibliografía consultada. Para determinar las necesidades de biogás, se registró el tiempo promedio de uso de la estufa. Para la temperatura, se registró la temperatura ambiente media por una semana. Finalmente, se procedió a dimensionar y diseñar el biodigestor. Las técnicas de recolección y generación de datos a usar son:

Cronometraje de tiempo de quemado del hogar.

Medición de temperara.

Consulta bibliográfica: relación tiempo de quemado, por metro cubico de biogás, por kilogramo de boñiga; relación tiempo de retención, por temperatura; Densidad de la boñiga y proporción agua, boñiga.

Cálculos para la estructuración del diseño del biodigestor.

Fase III. Analizar el nivel de funcionalidad y eficacia del biodigestor en la generación de biogás. Esta etapa contempla el éxito final del proyecto, se verificará la eficacia del biodigestor y que tan viable es para la producción de gas en esta familia, se contemplara todas las buenas prácticas aprendidas, y como estas pueden beneficiar no solo a esta familia, sino a todos en esta región del municipio de Ocaña. Las técnicas de recolección y generación de datos de investigación son:

Cronometraje de tiempo de quemado del biodigestor.

Pesaje de la boñiga de alimentación.

Graficado de relación kilogramo de boñiga por minutos de quemado y temperatura.

Cálculo del tiempo de quemado acumulado

3.2 Población y muestra

El proyecto consta de dos poblaciones, los biodigestores modelo taiwanés y las fincas en

3.3 Análisis de información

El manejo de la información obtenida se llevará a cabo mediante tablas, diagramas y gráficas, lo cual nos ayudará a tener una valoración cuantitativa y además cualitativa. De igual manera a través de eso se tendrán los resultados necesarios en la identificación de las problemáticas, cantidad de residuo orgánico promedio generado, así como del estiércol de ganado y principalmente el diseño y puesta en marcha el biodigestor para el éxito en cuanto al flujo de entrada de residuos según el tipo, y así mismo se concluirá que tan factible es este. Cada una de las fases del proyecto tiene su respectivo análisis a continuación.

Fase I. En el caso de la fase 1 tenemos un análisis de datos cualitativos de la información obtenida de la observación y la entrevista. También, se realizó la obtención de datos cuantitativos que corresponden al pesaje de los residuos sólidos orgánicos del hogar y al conteo de animales.

En cuanto al pesaje de residuos sólidos del hogar, la información será tabulada en Excel. Excel permite calcular el total y la media de los residuos generados en el hogar. Además, permite la representación gráfica de los datos de la tabla. Al tener la gráfica, se puede visualizar los datos de una manera mucho más sencilla, fácil y rápida.

Para el conteo de los animales, en el caso de los pollos simplemente se necesitan el cálculo de total. Para el ganado vacuno, los resultados se presentarán en una pequeña tabla sin necesidad de graficar.

Fase II. En cuanto al tiempo de quemado y la temperatura, es necesario representar los datos en una tabla con su respectiva media. Estos datos, permitirán realizar cálculos matemáticos de acuerdo a las relaciones de la consultora bibliográfica. De ese modo, se obtendrá la información necesaria para el diseño del biodigestor.

Fase III. En esta fase se debe analizar la funcionalidad del biodigestor. Para eso, se debe hacer la comparación entre, el tiempo de quemado requerido por el hogar, el tiempo de quemado producido por el biodigestor y los kilogramos de boñiga consumidos por el biodigestor, con sus respectivas medias en una tabla. Al ser elevada la cantidad de datos se hace necesario su representación gráfica.

Por otra parte, se debe analizar la correlación que existe entre los kilogramos de boñiga consumidos por el biodigestor y el tiempo de quemado producido en un gráfico.

El biodigestor debe producir un excedente en el tiempo de quemado. Para saber de cuanto es el excedente, se calculará el tiempo de quemado acumulado de acuerdo al tiempo de quemado sobrante cada día. Todo representado en una tabla, con su respectiva media, además de la correspondiente gráfica.

Capítulo 4 Presentación de resultados

4.1 Caracterizar los residuos orgánicos generados en la Finca Santa Rita, determinando así, los residuos orgánicos disponibles para la producción de biogás

Para iniciar a determinar el tipo de residuos generados y sus cantidades, se llevó a cabo una entrevista a las personas de la finca, a fin de conocer su percepción del tema tratado en esta investigación. A continuación, se presentan estos resultados:

Objetivo de la entrevista: Determinar las prácticas implementadas para el manejo de residuos sólidos y estiércol de animales.

1. ¿Realizan alguna clasificación de los residuos que genera?

Rta. Si, los residuos se clasifican en orgánicos e inorgánicos

2. ¿Han apoyado algún tipo de programa o están desarrollando alguno, como respuesta al cuidado y conservación del medio ambiente?

Rta. No.

3. ¿Conoce cuál es el proceso final que tiene sus residuos sólidos?

Rta. Si, los residuos orgánicos del hogar se usan para alimentar animales y para hacer abono. Los residuos de las gallinas se usan como abono. Los residuos de cultivo se usan para alimentar las vacas, exceptuando lo del café que se usa como abono. A la boñiga de las vacas no se le da uso. Los residuos inorgánicos se entierran.

4. ¿A presentado algún conflicto socio ambiental por sus residuos producidos?

Rta. No, toda la disposición de los residuos se realiza en los terrenos de la propiedad

5. ¿Sabe usted que son los residuos sólidos?

Rta. Si, es toda la basura que se genera en la casa.

6. ¿Sabe de alguna técnica de aprovechamiento de residuos orgánicos?

Rta. Si, los residuos orgánicos pueden ser usados en composta, lombricultivo o alimento para animales

7. ¿Qué aprovechamiento de residuos orgánicos realiza en su propiedad?

Rta. Los residuos orgánicos de la casa y el café se compostan. La gallinaza de los pollos se usa como abono. Los residuos de cultivos se usan para alimentar animales al igual que algunos de la casa.

Con base a la anterior entrevista, se resalta que los propietarios de la finca Santa Rita son conocedores a nivel básico de las nociones de residuos sólidos y sus formas de aprovechamiento, resaltando la aplicación que han venido manejando en cuanto a la elaboración de abono a partir de los residuos orgánicos. Por su parte, el manejo de residuos inorgánicos se lleva a cabo a través del enterramiento de estos, por lo que podría decirse que hacen una disposición final aceptable, sin embargo es necesario determinar posibles impactos en el área de influencia de esta zona de disposición; no obstante, sería pertinente que la familia establezca formas de reciclaje para evitar este tipo de manejo de residuos, ya que el enterramiento generación alteraciones en la estructura física del suelo e impactos sobre aguas subterráneas.

Por otra parte, en la finca no se hace aprovechamiento alguno de material orgánico para la producción de biogás, por lo que esta investigación es un insumo fundamental para el establecimiento de este tipo de alternativas de aprovechamiento en la finca ya que les permite conocer el proceso y las formas más adecuadas de llevar a cabo el proceso.

Por otra parte, durante un mes se pesaron los residuos orgánicos generados por las actividades diarias en la finca, obteniendo los resultados mostrados a continuación:

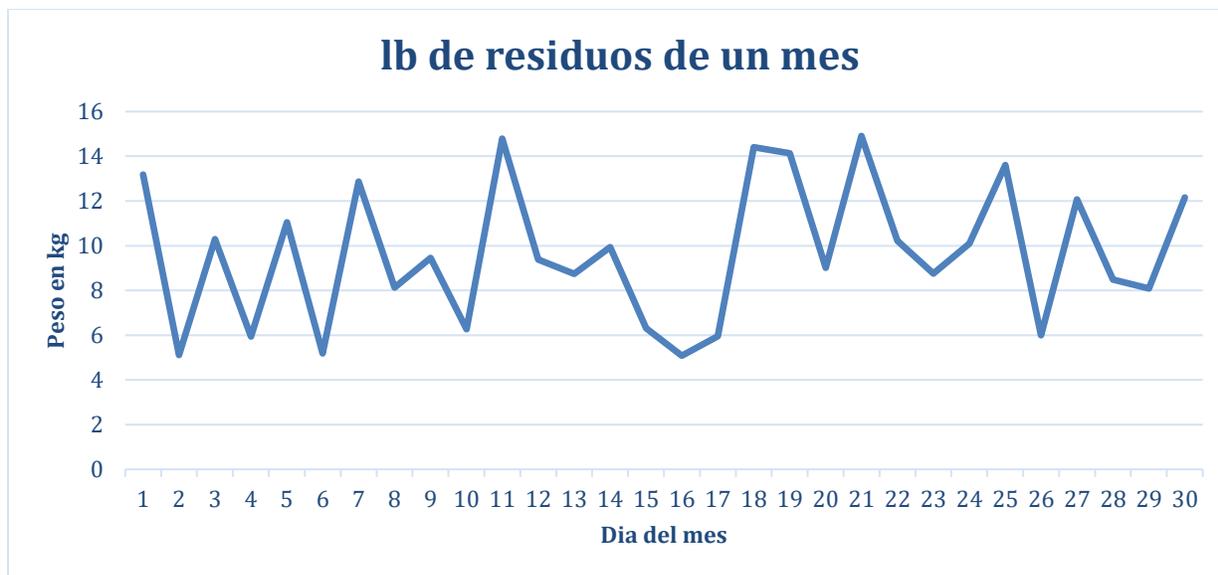
Tabla 2*Producción de residuos durante un mes*

Día	Libras de residuos
1	13,181
2	5,111
3	10,291
4	5,946
5	11,051
6	5,181
7	12,865
8	8,132
9	9,458
10	6,263
11	14,785
12	9,389
13	8,744
14	9,941
15	6,305
16	5,082
17	5,957
18	14,408
19	14,137
20	9,018
21	14,909
22	10,224
23	8,761
24	10,097
25	13,608
26	5,99
27	12,074
28	8,486
29	8,093
30	12,152
Total	289

De acuerdo a la tabla anterior, la finca tiene una producción semanal de 289 Libras (131,09 kg) de residuos, una cantidad considerada insuficiente para alimentar el biodigestor.

Figura 3

Producción de residuos por mes



En la finca cuentan con un galpón de pollos para carne con capacidad para 40 ejemplares. Considerando que cada pollo produce 80 gramos de gallinaza al día, en total los 40 pollos generarían solo 3,2 kg de gallinaza (Williams, 2009). Por lo tanto, la cantidad de material orgánico generado por los pollos se considera insuficiente para mantener el biodigestor.

Por su parte, la producción de residuos orgánicos generado por el ganado bovino de la finca ofrece una mejor perspectiva. Teniendo en cuenta que, una vaca adulta con un peso de 600 kg produce aproximadamente de 40 kg de boñiga al día y un novillo de 300 kg produce 20 kg de boñiga al día (Cortés Ramírez, 2019). A continuación, se muestran los datos recolectados:

Tabla 3*Producción de materia orgánica por ganado bovino*

Ganado bovino	N° ejemplare	Cantidad de residuos producidos
Vacas	32	1280kg/día
Novillos	8	160kg/día
Total		1440kg/día

De acuerdo con la tabla anterior, la producción de estiércol bovino es capaz de sostener la demanda de 60kg/día del biodigestor ya que la generación de boñiga es mucho mayor.

4.2 Determinar los parámetros necesarios para construir e implementar un biodigestor modelo taiwanés.

El primer parámetro es el tiempo de quemado requerido por la familia. Este se obtuvo tomando las mediciones a lo largo de 30 días. Se estimó un tiempo de quemado necesario por la familia es de 110 minutos diarios en promedio, de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 4*Tiempo de quemado en minutos*

Dia	Desayuno	Almuerzo	Cena	Total
1	28	43	20	91
2	37,4	49	23	109,4
3	25	49,2	27	101,2
4	34	59	29,4	122,4
5	28	47,6	20	95,6
6	25,8	55,2	26,1	107,1
7	29	48,3	25,2	102,5
8	29,5	53	23	105,5
9	33	58,7	21	112,7
10	28	55	25	108
11	23	55,2	24	102,2
12	35	55,3	25	115,3
13	34,5	45,6	22,3	102,4
14	35,7	54	29	118,7
15	30,2	58	26	114,2
16	27	55	32	114
17	37,3	58,4	22,8	118,5
18	30	54	29	113
19	27,6	56,7	26,7	111
20	38,4	58,7	22,6	119,7
21	32,5	50,4	23,6	106,5
22	30,4	51,7	23	105,1
23	33,5	43	27,8	104,3
24	30	57,5	23	110,5
25	37	46,6	29	112,6
26	25	60	28	113
27	34,5	44,3	25,9	104,7
28	39	49,3	29	117,3
29	38,7	53,3	27,6	119,6
30	37	50	23	110
Promedio				109,6

Por su parte, el siguiente dato necesario para el diseño es la temperatura, la cual se midió a lo largo de 7 días, dando como resultado una temperatura promedio máxima de 44°C, media de 28°C y mínima de 19°C.

Tabla 5

Tabla de temperatura ambiente dentro del invernadero

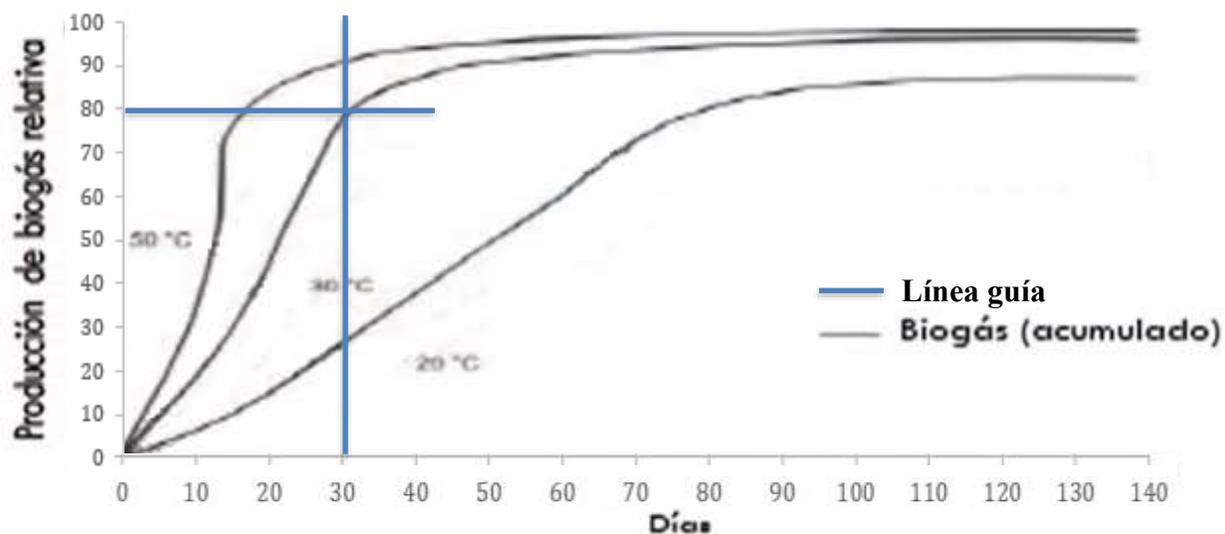
Días	Máxima	Media	Mínima
1	46,7	24,4	20,4
2	44,2	29,2	19,5
3	41,6	25,2	17,8
4	43,9	27,5	19
5	39,6	24,4	19,1
6	42,9	33,2	18,2
7	46,6	30,2	20
Promedios	43,64	27,72	19,14
Promedio			30,17

Con base a estos datos, es posible determinar que el biodigestor apropiado para estas condiciones es de tipo mesófilo, el cual tiene un tiempo de fermentación óptimo de entre 20 a 30 días (Lijarza Galvez, 2017).

Teniendo la temperatura media total de 30°C, entonces se procede a analizar cuales es el tiempo de retención ideal. Esto de acuerdo con el siguiente gráfico, donde tenemos el tiempo de retención en días y la producción de biogás acumulada.

Figura 4

Gráfico producción de biogás en relación al tiempo de retención y la temperatura



Reproducido de: (Viquez, 2016).

De acuerdo al gráfico anterior, podemos observar que a 30°C de temperatura para el día 30, ya se ha producido el 80% del biogás y a partir de allí, la producción de biogás comienza a ser más lenta. Debido a que es biogás acumulado, la línea en horizontal indica una producción de biogás nula, mientras que, la línea vertical indica la mayor producción posible.

Para la determinación de los demás parámetros, hay que partir de un dato muy importante el cual hace referencia que, la producción de biogás por cada kg de estiércol bovino asciende a una cantidad de 0.03m³, en un tiempo de quemado de dos minutos. Con una temperatura de entre 25 a 28°C y un tiempo de retención de entre 20 y 30 días. (DistriLadam, s.f.).

Por lo cual se tiene:

$$\frac{1 \text{ kg de muñiga} * \text{minutos de quemado necesarios}}{2 \text{ minutos de quemado}} = \text{kg de muñiga necesarios}$$

$$\frac{1 \text{ kg} * 110 \text{ min}}{2 \text{ min}} = 55 \text{ kg}$$

Dónde, los 55 kg es la carga diaria que requiere el biodigestor para producir el biogás necesario para satisfacer las necesidades de la familia. Ahora bien, la densidad de la boñiga es de 800kg/m³ (Orús Pueyo, Yagüe Carrasco, & Iguácel Soteras, 2010). Debido a esto, se hace necesario realizar la conversión para determinar el volumen del biodigestor, lo que se lleva a cabo con los siguientes cálculos:

$$\frac{\text{kg de muñiga necesarios} * 1\text{m}^3 \text{ de biogás}}{800\text{kg de muñiga}} = \text{m}^3 \text{ de muñiga necesarios}$$

$$\frac{\text{m}^3 \text{ de muñiga necesarios} * 1000\text{L}}{1\text{m}^3} = \text{L de muñiga necesarios}$$

$$\frac{55\text{kg} * 1\text{m}^3}{800\text{kg}} = 0.06875\text{m}^3$$

$$\frac{0.0687\text{m}^3 * 1000\text{L}}{1\text{m}^3} = 68.75\text{L}$$

Los 68,75L representan el volumen del estiércol diario. Ahora bien, multiplicando la cantidad diaria de estiércol requerida, por el tiempo de fermentación, más el volumen del agua, obtenemos el volumen que el biodigestor necesita para satisfacer las necesidades de la familia:

$$\text{factor de mescla } 1:1 * \text{L de muñiga necesarios} * \text{días de retención} = \text{L de fase liquida}$$

$$2 * (68,75\text{L} * 30 \text{ dias}) = 4125\text{L}$$

Por lo tanto, el biodigestor debe contar con un volumen de 4125 litros de mescla 1:1 de boñiga y agua (fase liquida) para que logre abastecer eficientemente a las necesidades de biogás

de la familia. Además de la fase líquida, los biodigestores deben tener una fase gaseosa que, en el caso de este diseño será del 50% del volumen total del biodigestor. Es decir, el digestor tendrá un volumen total de 8250 litros como mínimo.

Teniendo en cuenta los 8250 litros de volumen para la construcción del biodigestor, se investigó qué plásticos podía ofrecer el mercado. En este sentido, se decidió el uso de un plástico tubular cuyo ancho es de 2 metros doblado (4 m de perímetro). Por otra parte, para calcular el Largo del plástico, se hace necesario saber el área de la circunferencia del plástico tubular, lo cual se consigue usando el perímetro de 4 m que permite calcular el radio de la siguiente manera:

$$radio = \frac{Perimetro}{2\pi}$$

$$r = \frac{P}{2\pi}$$

$$r = \frac{4 \text{ m}}{2\pi}$$

$$r = 0,637 \text{ m}$$

Para el área:

$$Area = \pi * radio^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0,637 \text{ m})^2$$

$$A = 1,273 \text{ m}^2$$

Considerando que el volumen de la parte líquida del biodigestor debe ser de 4125 L y que la parte gaseosa será del mismo volumen, el volumen total mínimo del digestor debe ser de 8250 L o superior. Para hallar el largo necesario se usa la siguiente fórmula:

$$\text{Longitud del biodigestor} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Area}}$$

$$L = \frac{V}{A}$$

$$L = \frac{8,25\text{m}^3}{1,273\text{m}^2}$$

$$L = 6,48 \text{ m}$$

Entonces, se decidió trabajar

Tabla 6*Dimensiones del biodigestor*

Dato	Medida	Unidad
Perímetro	4	m
Radio	0,637	m
Área circular	1,273	m ²
Longitud del biodigestor	6,5	m
Longitud de trabajo	1,5	m
Longitud total del plástico	8	m
Volumen de liquido	4138	L
Volumen de gas	4138	L
Volumen total	8276	L

A continuación, una representación gráfica del biodigestor con todas sus partes.

Figura 5

Modelo del biodigestor



Según el (SENA, s.f.), el tanque de almacenamiento de la fase líquida, debe tener una pendiente del 0,5%. La pendiente, es para movilizar los sólidos que se acumula en el fondo del digestor, así, pueden fluir con ayuda del agua de manera que no se genere estancamiento de sólidos.

La válvula de seguridad consta de una sección de la tubería de PVC de media pulgada sumergida en 25 cm de agua que le proporciona esos 25 cm de columna de agua de presión al biodigestor. Además, cuando la presión supera los 25 cm de agua, proporciona una salida segura del biogás que alivia la presión para que no llegue a una cantidad que pueda causar daños al biodigestor.

El filtro del ácido sulfhídrico, se construyó con una T de cuatro pulgadas conectada a la tubería de media pulgada mediante un conector ½” a 2”. La T cuenta con una rosca en uno de sus extremos que permite cambiar la limadura de hierro cada vez que se desgaste. Este ácido debe ser filtrado porque corroe los metales con los que se fabrican las estufas y por tanto les puede ocasionar un desgaste a estas.

El contenedor de biogás o reservorio, en el caso de este diseño es innecesario. Sin embargo, permite aumentar la capacidad del biodigestor hasta en un 80% puesto que el biogás se está almacenando en la cámara de digestión y se puede enviar al reservorio. De ese modo, se deja espacio para más mezcla de agua y boñiga en la cámara de digestión.

En cuanto a las medidas del reservorio tenemos:

$$radio = \frac{Perimetro}{2\pi}$$

$$r = \frac{P}{2\pi}$$

$$r = \frac{1,6 m}{2\pi}$$

$$r = 0,25 m$$

Para el área:

$$Area = \pi * radio^2$$

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0,25 m)^2$$

$$A = 0,2 m^2$$

Para el volumen:

$$Volumen = Area * Longitud$$

$$V = 0,2 m^2 * 3 m$$

$$V = 0,38 m^3$$

4.3 Analizar el nivel de funcionalidad y eficacia del biodigestor en la generación de biogás

Una vez construido y puesto en marcha el biodigestor en la finca, se procedió a tomar lectura de su capacidad de producción. Según (García Zabaleta, Marcoantonio Víctor, & Mario Daniel, 2017) la presión de un este tipo de biodigestores debe estar por encima de 7 cm de agua. Sin embargo, para la medición del tiempo de quemado, se decidió que el digestor debería tener una presión entre 12 a 25 centímetros de agua. La razón de esto, es mantener una llama fuerte, capaz de cumplir con los requerimientos de temperatura en la preparación de alimentos.

Así mismo, se buscó que la llama de biogás tuviese la misma efectividad que la llama de gas propano. Esto se consigue igualando el tiempo que ambas llamas (llama de biogás y llama de gas propano) tardan en producir la ebullición de un litro de agua. A continuación, los datos obteniendo:

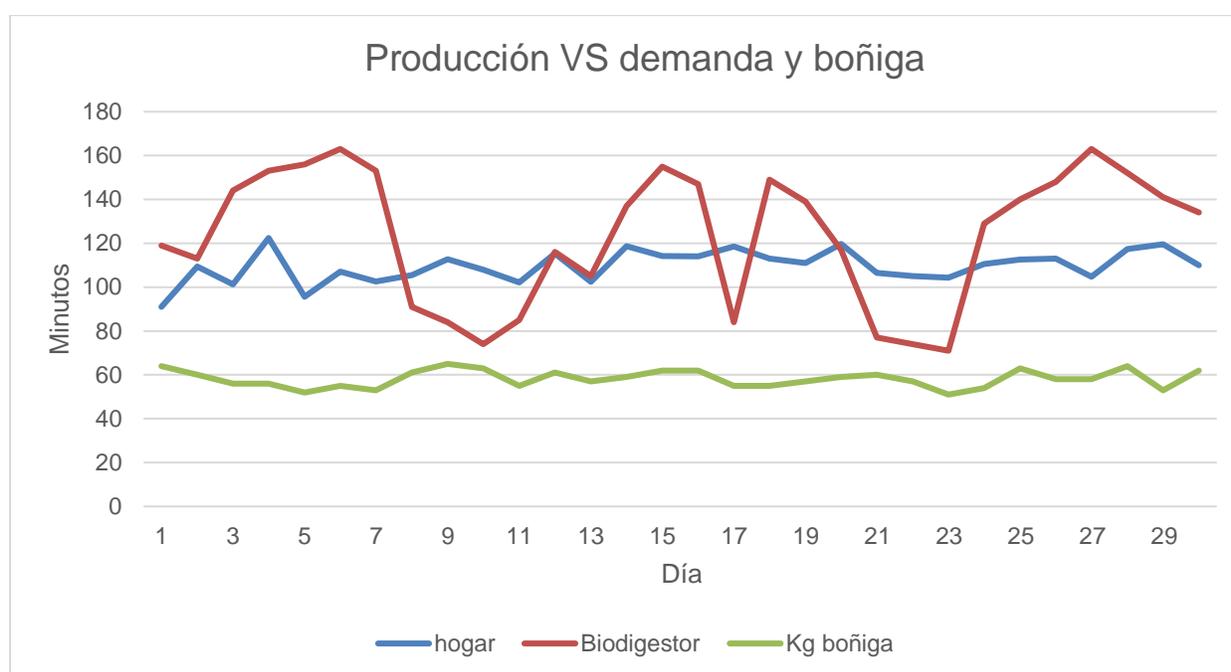
Tabla 7*Tiempo de quemado hogar/Tiempo de quemado de biodigestor/consumo de boñiga*

Dia	Desayuno	Almuerzo	Cena	Total hogar	Biodigestor	Kg de boñiga
1	28	43	20	91	119	64
2	37,4	49	23	109,4	113	60
3	25	49,2	27	101,2	144	56
4	34	59	29,4	122,4	153	56
5	28	47,6	20	95,6	156	52
6	25,8	55,2	26,1	107,1	163	55
7	29	48,3	25,2	102,5	153	53
8	29,5	53	23	105,5	91	61
9	33	58,7	21	112,7	84	65
10	28	55	25	108	74	63
11	23	55,2	24	102,2	85	55
12	35	55,3	25	115,3	116	61
13	34,5	45,6	22,3	102,4	105	57
14	35,7	54	29	118,7	137	59
15	30,2	58	26	114,2	155	62
16	27	55	32	114	147	62
17	37,3	58,4	22,8	118,5	84	55
18	30	54	29	113	149	55
19	27,6	56,7	26,7	111	139	57
20	38,4	58,7	22,6	119,7	117	59
21	32,5	50,4	23,6	106,5	77	60
22	30,4	51,7	23	105,1	74	57
23	33,5	43	27,8	104,3	71	51
24	30	57,5	23	110,5	129	54
25	37	46,6	29	112,6	140	63
26	25	60	28	113	148	58
27	34,5	44,3	25,9	104,7	163	58
28	39	49,3	29	117,3	152	64
29	38,7	53,3	27,6	119,6	141	53
30	37	50	23	110	134	62
Promedio				109,6	123,8	58,2

De acuerdo a la tabla anterior, la producción promedio de biogás es de 123,8 minutos de quemado el cual supera promedio mínimo demandado por el hogar, de manera que el biodigestor cumple esta demanda con facilidad con un excedente disponible. No obstante, analizando producción de biogás vs demanda por día se puede apreciar lo siguiente:

Figura 6

Producción de biogás vs demanda por día



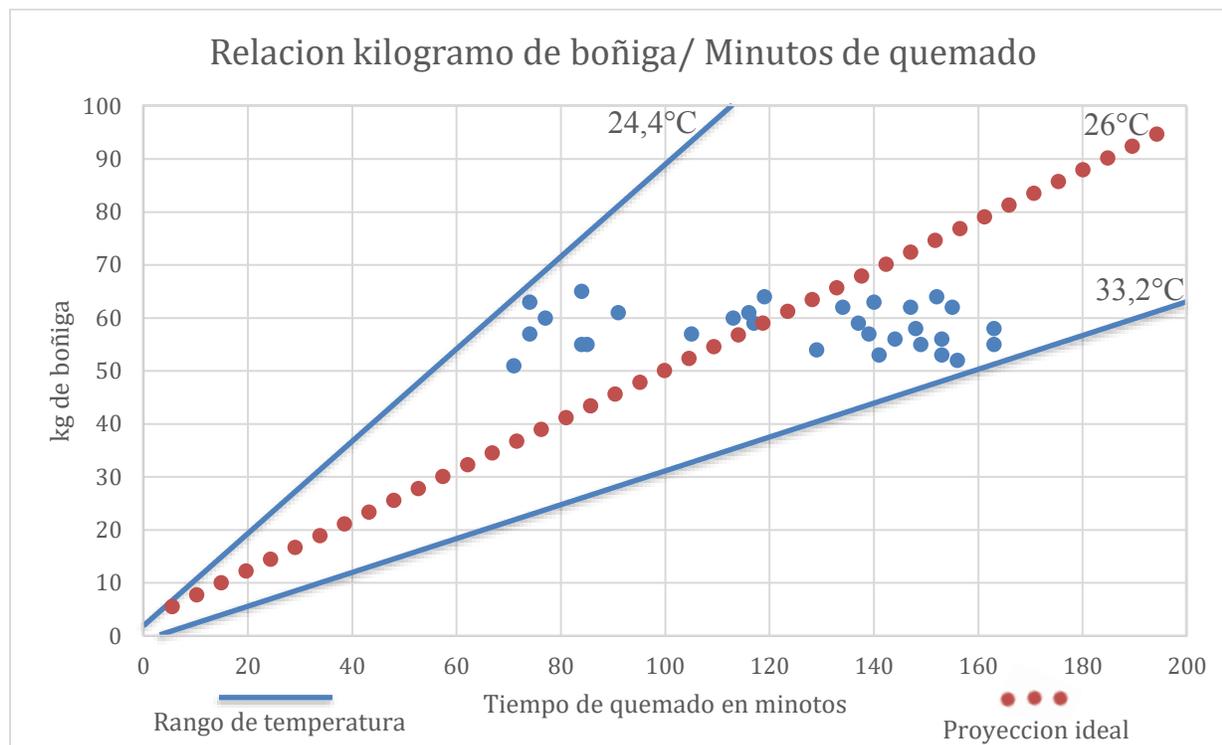
La gráfica anterior permite observar un contexto más detallado que la Tabla 7, ya que al comparar la producción vs la demanda por cada día es posible determinar días dónde la demanda no es cubierta, en contraste con otros días dónde la demanda es abarcada con un gran excedente sobrante; lo cual deja en evidencia una alta fluctuación en la producción del biodigestor. Lo anterior no puede relacionarse con la cantidad de estiércol aportado, ya que como se puede observar en la gráfica, esta cantidad no varía mucho, de hecho, existen picos de cantidad

elevados de estiércol que coinciden con bajos picos de productividad, como en los picos observados del día 8 al 13, en el día 17 y del 21 al 23. Con base en lo anterior, teniendo en cuenta los días en que la demanda es cumplida, es posible determinar que el biodigestor tiene un nivel de funcionalidad del 70% con un total de 21 días de demanda atendida.

Esta situación puede deberse a cinco factores posibles, a las variaciones en la temperatura ambiente la que influye mucho en la producción de biogás, a variaciones en el tiempo de retención, a las pérdidas de biogás por la válvula de seguridad, a boñiga menos fresca o a inhibidores en la boñiga. Lamentablemente, debido a limitaciones operativas, no es posible saber con total certeza la razón de las variaciones en el tiempo de quemado. Aun así, esta deficiencia operativa del biodigestor, se puede solucionar aumentando la capacidad del reservorio para que almacene los excedentes los días de mayor producción, para ser usado los días de menor producción. En todo caso, en este proyecto se realizó medición de la temperatura, por lo tanto, se puede realizar un análisis de la variación en el tiempo de quemado de acuerdo con la temperatura, con ayuda de la siguiente grafica.

Figura 7

Tiempo de quemado producido en el biodigestor por kilogramo de boñiga cada día según la temperatura



Para saber si el biodigestor puede cumplir toda la demanda de biogás, con la ayuda de un reservorio, hay que comparar el tiempo de quemado del hogar y el tiempo de quemado acumulado del biodigestor. Para ello, se calculó el tiempo de quemado acumulado en la tabla siguiente.

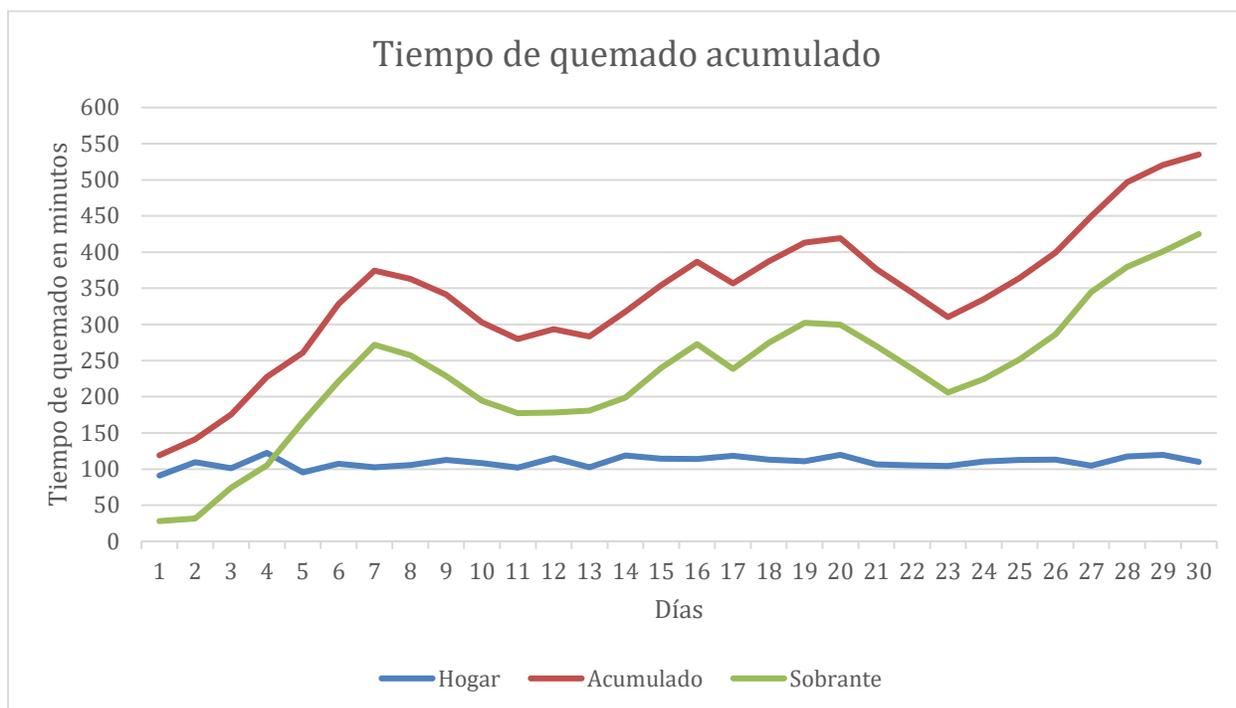
Tabla 8*Tiempo de quemado del hogar y el biodigestor con acumulado del biodigestor*

Tiempo de quemado				
Hogar	Biodigestor	acumulado	sobrante	
91	119	119	28	
109,4	113	141	31,6	
101,2	144	175,6	74,4	
122,4	153	227,4	105	
95,6	156	261	165,4	
107,1	163	328,4	221,3	
102,5	153	374,3	271,8	
105,5	91	362,8	257,3	
112,7	84	341,3	228,6	
108	74	302,6	194,6	
102,2	85	279,6	177,4	
115,3	116	293,4	178,1	
102,4	105	283,1	180,7	
118,7	137	317,7	199	
114,2	155	354	239,8	
114	147	386,8	272,8	
118,5	84	356,8	238,3	
113	149	387,3	274,3	
111	139	413,3	302,3	
119,7	117	419,3	299,6	
106,5	77	376,6	270,1	
105,1	74	344,1	239	
104,3	71	310	205,7	
110,5	129	334,7	224,2	
112,6	140	364,2	251,6	
113	148	399,6	286,6	
104,7	163	449,6	344,9	
117,3	152	496,9	379,6	
119,6	141	520,6	401	
110	134	535	425	

La tabla anterior, permite dilucidar que el biodigestor cumple claramente con la demanda de biogás. sin embargo, para una mejor interpretación se presenta el siguiente gráfico.

Figura 8

Gráfico del tiempo de quemado acumulado del biodigestor, con el tiempo de quemado del hogar en relación a los días de retención hidráulica



En el gráfico anterior, se puede ver el tiempo de quemado requerido por el hogar en azul. El biogás acumulado (en rojo), al estar por sobre la línea azul se puede ver que supera con amplitud las necesidades de biogás de la familia. De ese modo, se confirma claramente que, con un reservorio de suficiente tamaño, no habrá problemas para abastecer con biogás la estufa del hogar.

El tamaño requerido del reservorio, se sabe analizando el tiempo de quemado de biogás negativo del mes de estudio. Podemos ver que del día 20 al 23 se produce 96,6 minutos de quemado menos del requerido y son los días seguidos con la mayor deficiencia. Esto lo sabemos al restar el tiempo de quemado del hogar con el tiempo de quemado del biodigestor y sumar los días seguidos de producción negativa. A continuación, se presenta la siguiente grafica donde los se pueden ver los días de producción negativa.

Figura 9

Gráfico del tiempo de quemado positivo y negativo cada día

Entonces, 96,6 minutos de quemado negativo es el tiempo de quemado que debe

muy variable por lo que se requiere de un reservorio de un tamaño mayor al construido. Sin embargo, el registro de esa variabilidad durante la evaluación del biodigestor permitió corregir el error. Solo se hace necesario intercambiar el reservorio por uno del tamaño requerido.

Capítulo 5 Conclusiones

En esta tesis se construyó y evaluó un biodigestor taiwanés para generar biogás a partir de la boñiga generada por el ganado. El resultado fue que el biodigestor se diseñó de acuerdo a los parámetros medidos e investigados y se construyó según esas especificaciones. En cuanto a la evaluación, el biodigestor logró satisfacer exitosamente las necesidades de biogás del hogar, produciendo en promedio 14 minutos de quemado más del necesario. Sin embargo, la producción de biogás fue muy variable por lo que se añadió un reservorio más grande al diseño original. Pues, el reservorio permite guardar la producción de biogás los días de alta producción para los días de baja producción.

En esta tesis, se caracterizaron los residuos orgánicos generados en la Finca Santa Rita, determinando así, los residuos orgánicos disponibles para la producción de biogás. La entrevista permitió descartar rápidamente los residuos orgánicos a los que se les daba un segundo uso. De ese modo, quedaron únicamente los residuos orgánicos sin uso y por tanto libres para alimentar el biodigestor. De esos residuos sin uso, se procedió a cuantificar cuales se producen en cantidad suficiente para el biodigestor, siendo el más recomendable la boñiga de vaca debido a su gran disponibilidad.

Para determinar los parámetros necesarios para construir e implementar un biodigestor modelo taiwanés. Fue algo que se diseñó y se realizó exitosamente con base en los parámetros obtenidos en la medición de datos, así como los obtenidos a partir de los cálculos matemáticos basados en los datos medidos y los datos consultados en la información bibliográfica. Los datos medidos en esta etapa para el diseño fueron la temperatura de 28°C y el tiempo de quemado de 110 minutos. A partir de estos datos y de acuerdo a la bibliografía consultada se obtuvieron los demás parámetros de diseño que fueron: tiempo de retención hidráulica de 30 días, carga de boñiga de 55 kg día, volumen del biodigestor de 8250 litros entre otros.

Finalmente, se analizó el nivel de funcionalidad y eficacia del biodigestor en la generación de biogás. ya que se logró medir el tiempo de quemado producido por el biodigestor de 124 minutos, de acuerdo a la cantidad de boñiga usada de 58 kg y la temperatura de 28°C. el tiempo de quemado del biodigestor se comparó con el tiempo de quemado del hogar día a día y se descubrió que la funcionalidad del biodigestor era del 70%. Esta funcionalidad no total, se debe a varios posibles factores no determinados. Sin embargo, el problema se puede solucionar añadiendo un reservorio más grande, de un tamaño de 1,5 m³. Este tamaño teniendo en cuenta el tiempo de quemado donde se produjo menos biogás del necesario, con un tiempo faltante de 97 minutos. Este tiempo, puede ser suplido efectivamente por el reservorio. De ese modo, se conseguirá una funcionalidad del 100% que pueda abastecer con biogás el hogar de la familia.

Capítulo 6 Recomendaciones

La principal recomendación fruto de este trabajo es la de generar estrategias y métodos que permitan un mayor control de las variables que influyen en el biodigestor, como condiciones del entorno, frescura del estiércol, temperatura etc. Por ende, sería oportuno que trabajos relacionados en esta temática estructuren formas de manipular con mayor precisión estos aspectos, para de esta manera arrojar resultados con mayor objetividad y aplicabilidad dentro del contexto real.

Antes de realizar proyectos de tema, se tiene en cuenta la temperatura que puede variar debido al clima con los meses del año. Esto al final, tiene una gran desventaja en cuanto a al funcionamiento del biodigestor ya que puede tener una producción muy variable a lo largo del año e incluso día a día. Esto dependiendo de la temperatura ambiente que, depende mucho del sol y la nubosidad. Sería muy efectivo tener un registro de la temperatura a lo largo de todo el año, incluso si la medición se realiza una vez cada semana.

El proyecto solo se enfocó en la producción de biogás, no se realizó ningún tipo de estudio o prueba al biol. Sería recomendable realizar un estudio para analizar su calidad y composición. Esto con el fin de saber sus características para usarlo adecuadamente como fertilizante.

Referencias

- Acosta Pabuena, M., & Pascualino, J. (Diciembre de 2014). *Potencial de uso de biogás en Colombia*. Obtenido de Teknos revista científica:
<https://clea.edu.mx/biblioteca/Teoria%20de%20la%20Organizacion.pdf>
- Acosta, Y. L., & Obaya Abreu, M. C. (2005). *La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I*. Obtenido de Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar:
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- AguasResiduales.info. (13 de Enero de 2020). *Agregando valor con la digestión anaeróbica*. Obtenido de AguasResiduales.info:
<https://www.aguasresiduales.info/revista/noticias/agregando-valor-con-la-digestion-anaerobica-j42R4>
- AIE. (2020). *World Energy Outlook 2020: Resumen Ejecutivo*. Obtenido de Agencia Internacional de la Energía: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/8b420d70-b71d-412d-a4f0-869d656304e4/Spanish-Summary-WEO2020.pdf>
- Banco Mundial. (Nobiembre de 2014). *Clean and Improved Cooking in Sub-Saharan Africa*. Obtenido de Banco Mundial:
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/164241468178757464/pdf/98664-REVISED-WP-P146621-PUBLIC-Box393185B.pdf>
- Banco Mundial. (20 de Septiembre de 2018). *Informe del Banco Mundial: Los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % para 2050, a menos que se adopten medidas urgentes*. Obtenido de Banco Mundial: <https://www.bancomundial.org/es/news/press-release/2018/09/20/global-waste-to-grow-by-70-percent-by-2050-unless-urgent-action-is-taken-world-bank-report#>

Banco Mundial. (6 de Marzo de 2019). *Convivir con basura: el futuro que no queremos*.

Obtenido de Banco Mundial:

<https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2019/03/06/convivir-con-basura-el-futuro-que-no-queremos>

Banco Mundial. (2019). *El poder del estiércol: Lecciones aprendidas de los programas de biodigestores en granjas en África*. Obtenido de Banco Mundial:

<https://documents1.worldbank.org/curated/en/468451557843529960/pdf/The-Power-of-Dung-Lessons-Learned-from-On-Farm-Biodigester-Programs-in-Africa.pdf>

Cámara de comercio de Ocaña. (Enero de 2019). *Informe económico 2018 de los municipios de la jurisdicción de la cámara de comercio de Ocaña*. Obtenido de Cámara de comercio de

Ocaña: <https://camaraocana.com/wp-content/uploads/2020/03/Estudio-economico-2018.pdf>

Castillero Mimenza, O. (2018). *Los 15 tipos de investigación (y características)*. Obtenido de Psicología y mente: <https://psicologiaymente.com/miscelanea/tipos-de-investigacion>

Cendales Ladino, E. (2011). *Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos críticos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable*. Obtenido de DocPlayer: <https://docplayer.es/26838285-Edwin-dario-cendales-ladino-tesis-presentada-como-requisito-parcial-para-optar-al-titulo-de-magister-en-ingenieria-mecanica.html>

Chungrandro Nacaza, K. (Febrero de 2010). *Diseño y construcción de un biodigestor para pequeñas y medianas granjas*. Obtenido de Escuela Politécnica Nacional:

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1650/1/CD-2734.pdf>

- Constanza Corrales, L., Antolinez Romero, D., Bohórquez Macías, J., & Corredor Vargas, A. (8 de Junio de 2015). *Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta*. Obtenido de Scielo:
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702015000200007
- Cortés Ramírez, D. (2019). *Diseño de Biodigestor de estiércol bovino*. Obtenido de Universidad de los Andes:
<https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/44496/u830618.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- De Basurto Burgos, A. D. (21 de Noviembre de 2013). *Diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados en el mercado de Tiquipaya (Bolivia)*. Obtenido de Doc Player: <https://docplayer.es/50664291-Ingenieria-ambiental.html>
- Díaz Florez, I., Quintero Vega, H. F., Lozano Lázaro, Y., Fonseca Herreño, L. C., & Valdes Solano, D. M. (Junio de 2017). *Ríos Tejo y Chiquito: evaluación de los ICO's dentro la estructura urbana de Ocaña, Norte de Santander*. Obtenido de Revista Ingenio:
<https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/2150/2943>
- Díaz Sanjuan, L. (1 de Septiembre de 2011). *La observación*. Obtenido de Facultad de Psicología UNAM:
http://www.psicologia.unam.mx/documentos/pdf/publicaciones/La_observacion_Lidia_Diaz_Sanjuan_Texto_Apoyo_Didactico_Metodo_Clinico_3_Sem.pdf
- DistriLadam. (s.f.). *Cartilla de biodigestor*. Obtenido de DistriLadam:
https://www.distriladam.com/public/uploads/1_Cartilla_BIODIGESTOR_DistriLadam_1.pdf

EcuRed contributors. (15 de Diciembre de 2017). *Biodigestor*. Obtenido de EcuRed:

<https://www.ecured.cu/Biodigestor>

EcuRed contributors. (13 de agosto de 2019). *Investigación científica*. Obtenido de EcuRed:

https://www.ecured.cu/index.php?title=Investigaci%C3%B3n_cient%C3%ADfica&oldid=3501260

El Nuevo Siglo. (25 de Marzo de 2019). *¿Cómo vamos en Colombia con el reciclaje?* Obtenido de El Nuevo Siglo: Marzo

Ferro Veiga, J. (29 de Enero de 2020). *El universo de las energías renovables*. Obtenido de

Libros de Google: <https://books.google.com.co/books?id=69PMDwAAQBAJ&hl=es>

García Zabaleta, R., Marcoantonio Víctor, A., & Mario Daniel, M. (17 de Septiembre de 2017).

Diseño de un biodigestor tubular para zonas rurales de la región Piura. Obtenido de

Universidad de Piura: [http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-](http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_biodigestor.pdf)

[Rafael_biodigestor.pdf](http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2017/12/Garcia-Rafael_biodigestor.pdf)

Garita Sánchez, N., & Rojas Vargas, J. (s.f.). *Guía práctica para el manejo de los residuos*

orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost. Obtenido de Universidad

Nacional de Costa Rica:

[https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf](https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[f?sequence=1&isAllowed=y](https://documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Gonzalez, S. I. (2016). Obtenido de [https://es.scribd.com/document/420189155/75084817-2016-](https://es.scribd.com/document/420189155/75084817-2016-pdf)

[pdf](https://es.scribd.com/document/420189155/75084817-2016-pdf)

Gonzalez, S. I. (2016). Obtenido de [https://docplayer.es/69499624-Construccion-y-evaluacion-](https://docplayer.es/69499624-Construccion-y-evaluacion-de-un-digestor-anaerobio-para-la-produccion-de-biogas-a-partir-de-residuos-de-alimentos-y-poda-a-escala-banco.html)

[de-un-digestor-anaerobio-para-la-produccion-de-biogas-a-partir-de-residuos-de-](https://docplayer.es/69499624-Construccion-y-evaluacion-de-un-digestor-anaerobio-para-la-produccion-de-biogas-a-partir-de-residuos-de-alimentos-y-poda-a-escala-banco.html)

[alimentos-y-poda-a-escala-banco.html](https://docplayer.es/69499624-Construccion-y-evaluacion-de-un-digestor-anaerobio-para-la-produccion-de-biogas-a-partir-de-residuos-de-alimentos-y-poda-a-escala-banco.html)

- Google. (2022). *Google Maps*. Obtenido de <https://www.google.com.co/maps/@8.1363355,-73.3919669,1238a,35y,149.7h/data=!3m1!1e3?hl=es>
- Güiza-Suárez, L., Rodas Monsalve, J., Cifuentes Guerrero, J., & González, J. (31 de Octubre de 2019). *Energías renovables no convencionales y cambio climático: un análisis para Colombia*. Obtenido de Libros de Google:
<https://books.google.com.co/books?id=qa7RDwAAQBAJ&hl=es>
- Gutiérrez, H. (25 de Febrero de 2020). *El 76% de la población del campo no tiene donde dejar la basura*. Obtenido de RCN Radio: <https://www.rcnradio.com/recomendado-del-editor/el-76-de-la-poblacion-del-campo-no-tiene-donde-dejar-la-basura>
- Hernández Gil, M., & Zapata Vigil, M. (2018). *Diseño de un biodigestor con estiércol de ganado vacuno para el caserío La Zanja – Cajamarca*. Obtenido de Universidad Señor de Sipán:
<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/5583/Hern%C3%A1ndez%20Gil%20&%20Zapata%20Vigil.pdf?sequence=1>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la investigación*. Obtenido de McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huertas, R. A. (11 de Diciembre de 2015). *Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria*. Obtenido de SciELO: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v10n2/v10n2a14.pdf>
- IDEAM. (2018). *Residuos*. Obtenido de Sistema de Información Ambiental de Colombia:
<http://www.ideam.gov.co/web/siac/residuos>

Kennedy Freeman, K. (14 de Junio de 2019). *El poder del estiércol: los biodigestores crean oportunidades para los agricultores de África*. Obtenido de Banco Mundial Blogs:
<https://blogs.worldbank.org/es/voices/el-poder-del-estiercol-los-biodigestores-crean-oportunidades-para-los-agricultores-de-africa>

Ljarza Galvez, Y. (8 de Mayo de 2017). *Producción de biogás a partir del estiércol de ganado vacuno y gallinaza durante el proceso de digestión anaerobia a escala de laboratorio*. Obtenido de Universidad Nacional Agraria De La Selva:
https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/PRODUCCION%20DE%20BIOGAS%20A%20PARTIR%20DEL%20ESTIERCOL%20DE%20GANADO%20VACUNO%20Y%20GALLINAZA%20DURANTE%20EL%20PROCESO%20DE%20DIGESTION%20ANAEROBIA%20A%20ESCALA%20DE%20LA

Montes Cortés, C. (2014). *Estudio de los residuos sólidos en Colombia*. Obtenido de Universidad Externado de Colombia:
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=H99hDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA11&dq=colombia+frente+a+la+problematica+de+residuos+solidos&ots=OvnWThCytG&sig=XFgiAuLgrlYPvBtmxxZ6P-KZGug#v=onepage&q&f=false>

Navarro Pedreño, J., Moral Herrero, R., Gómez Lucas, I., & Mataix Beneyto. (1995). *Residuos orgánicos y agricultura*. Obtenido de Universidad de Alicante:
https://www.researchgate.net/profile/Jose-Navarro-Pedreno/publication/235941169_Residuos_organicos_y_agricultura/links/02e7e515e8998b0bdb000000/Residuos-organicos-y-agricultura.pdf

- Novales, A. (20 de septiembre de 2010). *Análisis de Regresión*. Obtenido de Departamento de Análisis Económico y Economía Cuantitativa Universidad Complutense:
<https://www.ucm.es/data/cont/docs/518-2013-11-13-Analisis%20de%20Regresion.pdf>
- OEA. (s.f.). *Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo)*. Obtenido de OEA:
<http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf>
- ONU. (20 de Octubre de 1987). *Nuestro futuro común*. Obtenido de Asamblea General de las Naciones Unidas: <https://undocs.org/pdf?symbol=es/A/42/PV.42>
- ONU. (2019). *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Obtenido de División de Estadísticas de las Naciones Unidas: https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf
- ONUDI. (2008). *Manual de Producción más Limpia*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial: https://www.unido.org/sites/default/files/2008-06/1-Textbook_0.pdf
- Orús Pueyo, F., Yagüe Carrasco, M., & Iguácel Soteras, F. (2010). *Uso de los estiércoles en la fertilización agrícola, y su justificación en relación con la normativa aragonesa*. Obtenido de Informaciones Técnicas del Departamento de Agricultura y Alimentación del Gobierno de Aragón:
https://digital.csic.es/bitstream/10261/31118/1/YagueRM_InfTecn_2010a.pdf
- Pacheco González, S. (2016). *Construcción y evaluación de un digestor anaerobio para la producción de biogás a partir de residuos de alimentos y poda a escala banco*. Obtenido de Doc Player: <https://docplayer.es/69499624-Construccion-y-evaluacion-de-un-digestor->

anaerobio-para-la-produccion-de-biogas-a-partir-de-residuos-de-alimentos-y-poda-a-
escala-banco.html

PRONATTA. (1995). *Manual operativo: programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria*. Obtenido de Corporación Nacional de Transferencia de Tecnología y Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural:

<http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4638>

SENA. (s.f.). *Repositorio Servicio Nacional de Aprendizaje SENA*. Obtenido de El biodigestor plástico familiar tipo salchicha o taiwan:

<https://repositorio.sena.edu.co/sitios/biodigestor/pdf/el-biodigestor-capitulo2.pdf>

SudOeste BA. (05 de Septiembre de 2021). *Comenzó el programa “El GIRSU en la Escuela”*.

Obtenido de Portal informativo para el desarrollo del Sudoeste Bonaerense:

<https://www.sudoesteba.com/2021-11-05/comenzo-el-programa-el-girsu-en-la-escuela-1477/>

Tribunal superior de Cucuta. (Febrero de 2018). *COMUNAS DEL MUNICIPIO DE OCAÑA*.

Obtenido de Tribunal superior de Cucuta: <https://tribunalsuperiordecucuta.gov.co/wp-content/uploads/2018/02/Comunas-de-Oca%C3%B1a.pdf>

Varnero Moreno, M. (2011). *Manual de biogás*. Obtenido de Organización para la Alimentación y la Agricultura: <https://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

Velasco, D. M. (19 de Enero de 2021). *Los residuos orgánicos de las cáscaras de yuca y plátano pueden generar bioetanol*. Obtenido de Iresiduo:

<https://iresiduo.com/noticias/colombia/universidad-nacional-colombia/21/01/19/residuos-organicos-cascaras-yuca-y-platano>

Vesco, L. (31 de Agosto de 2006). *residuos sólidos urbanos su gestión integral en argentina*.

Obtenido de Universidad Abierta Interamericana:

<http://imgbiblio.vaneduc.edu.ar/fulltext/files/TC071962.pdf>

Vílchez B., K. (5 de Octubre de 2019). *Gas metano con sello biosostenible en Norte de*

Santander. Obtenido de La Opinión: <https://www.laopinion.com.co/region/gas-metano-con-sello-biosostenible-en-norte-de-santander>

Viquez, J. (2016). *Curso de biogás: Parte 5 - Producción del biogás*. Obtenido de RedBioLAC

(YouTube):

<https://www.youtube.com/watch?v=D7TcPOTVyYo&list=PLSTzRMzE7K3595y0X6QYPofntMN0ai7JY&index=5&t=389s>

Weather Spark. (s.f.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Ocaña*. Obtenido de

Weather Spark: [https://es.weatherspark.com/y/24406/Clima-promedio-en-](https://es.weatherspark.com/y/24406/Clima-promedio-en-Oca%C3%B1a-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o)

[Oca%C3%B1a-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o](https://es.weatherspark.com/y/24406/Clima-promedio-en-Oca%C3%B1a-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o)

Williams, C. (2009). *Gestión de residuos de aves de corral en los países en desarrollo:*

Características de la gallinaza de las aves de corral. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura:

<https://www.fao.org/3/al718s/al718s.pdf>

WWF. (21 de Marzo de 2021). *¿Es fácil reciclar en el campo?: el caso de San Pedro de la*

Sierra. Obtenido de Fondo Mundial para la Naturaleza:

<https://www.wwf.org.co/?366092/Que-tan-facil-es-reciclar-en-el-campo-el-caso-de-San-Pedro-de-la-Sierra>

Apéndice B. Registro fotográfico



Excavación para ubicar el biodigestor



Homogenización del suelo (base)



Ubicación de los elementos del biodigestor



Inicio de producción



En proceso de producción de biogás



Estiércol utilizado para la producción de biogás



Válvula de seguridad con la botella y el filtro de gas sulfhídrico



Toma de temperatura



Tiempo de quemado



Sub productos del proceso



Obtención de estiércol (boñiga)



Residuos de origen avícola



La primera llama



Estufa funcionando con el biogás



El reservorio