



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

CARRERA DE INGENIERÍA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

“DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA MADERERA Y ASERRERÍAS”

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: ANA GABRIELA TORRES PÉREZ

DIRECTOR: Ing. JUAN CARLOS GONZÁLEZ GARCÍA

Riobamba – Ecuador

2020

©2020, Ana Gabriela Torres Pérez

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
CARRERA DE INGENIERÍA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

El Tribunal de Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo técnico de “**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA MADERERA Y ASERRERÍAS**” de responsabilidad de la señorita ANA GABRIELA TORRES PÉREZ ha sido revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de titulación, quedando autorizada así su presentación.

Ing. Luis Miguel Santillán Quiroga
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Juan Carlos González García
**DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN**

Ing. Ana Rafaela Pacurucu Reyes
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA	FECHA
	2020/01/08
	2020/01/08
	2020/01/08

Yo, Ana Gabriela Torres Pérez, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autora, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 03 de enero del 2020



Ana Gabriela Torres Pérez
180495393-1

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico primero a mi Familia que han sido el motor y mi fortaleza, que con su apoyo incondicional y su sacrificio diario me alentaron e inspiraron a culminar mis estudios, a mis hermanas y sobrin@s que han estado ahí cuando lo necesite, a mi esposo y a mi hijo, que me han acompañado en este camino, todos y cada uno va dedicado este trabajo de titulación.

AGRADECIMIENTO

Mis más profundos agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Facultad de Ciencias especialmente a la Escuela de Ciencias Químicas; por brindarme los conocimientos necesarios, formando un profesional con bases sólidas para emprender en el mundo profesional.

A todos mis docentes les extiendo mis agradecimientos, pero en especial a mi guía y mentor frente a este proyecto al Ing. Juan Carlos González; quienes con su tiempo y apoyo impulsaron el desarrollo del presente trabajo de titulación.

A mi familia y amigos gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
RESUMEN.....	xv
SUMMARY	xvi
INTRODUCCIÒN.....	1
CAPÍTULO I	
1. MARCO TEÒRICO	6
1.1. Antecedentes de la Empresa	6
1.2. Sector Maderero.....	7
<i>1.2.2. Residuos madereros producidos en el aserradero.....</i>	<i>8</i>
1.3. Línea base del proyecto	9
<i>1.3.1. Biomasa.....</i>	<i>9</i>
<i>1.3.1.1. Aprovechamiento de la Biomasa</i>	<i>9</i>
1.4. Biodigestión	12
1.5. Biodigestores.	17
<i>1.5.1. Clasificación de los biodigestores.....</i>	<i>18</i>
<i>1.5.1.1. Digestor De Lote (Batch).....</i>	<i>18</i>
<i>1.5.1.2. Sistemas semi-continuos.....</i>	<i>18</i>
<i>1.5.1.3. Sistemas continuos.....</i>	<i>19</i>
1.6. Metano.....	19
1.7. Factores que influyen en la producción de metano	20
<i>1.7.1. Deslignificación</i>	<i>21</i>
<i>1.7.2. Sustratos</i>	<i>22</i>
1.8. Software Biodigestor-pro 3.0.....	23
1.9. Dimensionamiento biodigestor.....	26

CAPÍTULO II

2.	MARCO METODOLÒGICO	28
2.1.	Metodología del proyecto	28
2.1.1.	<i>Reconocimiento de la zona</i>	28
2.1.2.	<i>Técnicas</i>.....	30
2.2.	Determinación de la muestra	30
2.2.1.	<i>Muestreo</i>.....	30
2.2.1.1.	<i>Muestreo del aserrín</i>.....	31
2.2.1.2.	<i>Niveles de solidos totales y solidos Volátiles</i>	32
2.2.1.3.	<i>Carga en función de la materia prima</i>	33
2.2.2.	<i>Acondicionamiento de los residuos</i>.....	34
2.2.2.1.	<i>Parte experimental de deslignificación del aserrín</i>.....	34
2.2.3.	<i>Variables del proceso</i>.....	35
2.2.3.1.	<i>Temperatura.</i>	35
2.2.3.2.	<i>pH.</i>	35
2.2.3.3.	<i>Aireación.</i>	36
2.2.3.4.	<i>Nutrientes</i>.....	36
2.2.3.5.	<i>Humedad</i>.....	37
2.3.	Dimensionamiento datos iniciales.....	37
2.3.1.	<i>Temperatura de la Biomasa y medio ambiente</i>.....	37
2.3.2.	<i>Tiempo de retención hidráulica</i>	38
2.3.3.	<i>Relación Carbono/Nitrógeno C/N</i>.....	38
2.3.4.	<i>Mezcla estiércol de vaca, aserrín de madera y agua</i>.....	39
2.3.5.	<i>Volumen de seguridad</i>	40
2.3.6.	<i>Calor perdido por la salida</i>	42
2.3.7.	<i>Pérdida por las paredes</i>	43

2.4.	Dimensionamiento de software	46
2.4.1.	<i>Ingreso de la Información</i>	46
2.4.2.	<i>Costo de materiales</i>	59
CAPÍTULO III		
3.	RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS	60
3.1.	Obtención de metano	60
3.1.1.	<i>Corrida para el estiércol de cuy, aserrín de madera y agua</i>	60
3.1.2.	<i>Corrida para el estiércol de vaca, aserrín de madera y agua</i>	60
3.2.	Análisis de Costos	71
3.2.1.	<i>Valor actual neto</i>	72
3.2.2.	<i>Tasa de rendimiento media</i>	73
3.2.3.	<i>Valor actual Neto en cinco periodos</i>	74
3.2.4.	<i>Cálculo del costo de oportunidad</i>	76
3.2.5.	<i>Tasa interna de retorno (TIR)</i>	76
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES		81
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Tipos de residuos madereros	8
Tabla 2-1: Características de residuos madereros.....	10
Tabla 3-1: Clases de tamaño y proporciones de aserrín.....	11
Tabla 4-1: Composición de algunos desechos para la producción de biogás en área rural.....	22
Tabla 1-2: Características Geográficas de la Parroquia Huambaló.....	28
Tabla 2-2: Ubicación georeferencial de la aserrería “Muebles Mario”.....	29
Tabla 3-2: Toma de muestras del aserrín de madera.....	31
Tabla 4-2: Relación 1:3 de los residuos más agua agregada tanto del estiércol de cuy y vaca	33
Tabla 5-2: Mezcla de residuos y agua relación 1:3.....	33
Tabla 6-2: Efectos al sobrepasar los límites permisibles de temperatura.	35
Tabla 7-2: Temperaturas de la parroquia Huambaló.....	37
Tabla 8-2: Tiempo de retención hidráulica para digestores de mezcla completa.	38
Tabla 9-2: Características de los distintos tipos de biomasa.....	47
Tabla 10-2: Características distintos tipos de materia orgánica.....	48
Tabla 1-3: Sustrato para la alimentación del biodigestor para el estiércol de cuy	60
Tabla 2-3: Sustrato para la alimentación del biodigestor para el estiércol de vaca.....	61
Tabla 3-3: Producción de biogás y energía (Estiércol de cuy, vaca, aserrín y agua)	62
Tabla 4-3: Equivalencias del CO ₂ para (EC, EV, AM, A).	62
Tabla 5-3: Producción específica de CH ₄ (Nm ₃).....	63
Tabla 6-3: Estimación de producción de biogás y CO ₂ , producción específica CH ₄ (Nm ₃)...	63
Tabla 7-3: Producción de fertilizante orgánico.....	64
Tabla 8-3: Flujo de ingresos esperados al 5%, para es estiércol de cuy, aserrín y agua	74
Tabla 9-3: Valor actual neto.....	75
Tabla 10-3: Flujo de ingresos al 5%, para es estiércol de vaca, aserrín y agua.....	75
Tabla 11-3: Datos para el costo de oportunidad.....	80
Tabla 12-3: Calculo de la Tasa interna de retorno para el estiércol de cuy, aserrín y agua.	81
Tabla 13-3: Calculo de la tasa interna de retorno para el estiércol de vaca, aserrín y agua.	77
Tabla 14-3: Resultados TIR y VAN proyectado a cinco años y TIR del software.....	83

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2: Variación del pH.....	36
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Ubicación Geográfica de la Parroquia Huambaló.....	29
Figura 2-2: Vista geográfica de la aserrería “Muebles Mario”.....	30
Figura 3-2: Datos del proyecto y fuentes de biomasa.....	46
Figura 4-2: Ingreso de datos por tipo de animal	49
Figura 5-2: Ingreso de datos por volumen de biomasa.....	49
Figura 6-2: Ingreso de aguas residuales.....	50
Figura 7-2: Resumen disponibilidad de biomasa.....	52
Figura 8-2: Resultados de dimensionamiento.....	53
Figura 9-2: Geometría – diseño e implementación de biodigestores.....	54
Figura 10-2: Resumen de obras y equipos.....	58
Figura 11-2: Costos de construcción	59
Figura 1-3: Presupuesto tanque de alimentación y mezcla.....	71
Figura 2-3: Presupuesto lecho de secado de lodos.....	71
Figura 3-3: Análisis de costo-beneficio planta de biogás (Datos básicos)	72
Figura 4-3: Egresos anuales.....	73
Figura 5-3: Cont. Egresos anuales	73
Figura 6-3: Ingresos anuales	73
Figura 7-3: Resumen de egresos, ingresos y TIR para el estiércol de cuy y aserrín.....	78
Figura 8-3: Resumen de egresos, ingresos y TIR para el estiércol de vaca y aserrín	78

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-2: Porcentaje de sólidos totales	32
Ecuación 2-2: Tiempo de retención hidráulica	38
Ecuación 3-2: Volumen requerido	39
Ecuación 4-2: Volumen de seguridad	40
Ecuación 5-2: Balance de masa	41
Ecuación 6-2: Calor ganado por la alimentación	42
Ecuación 7-2: Calor perdido por la salida.....	42
Ecuación 8-2: Pérdida por las paredes	43
Ecuación 9-2: Pérdida por el piso	44
Ecuación 10-2: Pérdida por el techo	44
Ecuación 11-2: Calor generado en el interior del biodigestor.....	45
Ecuación 12-2: Calor requerido y potencia calorífica necesaria.....	45
Ecuación 13-2: Intercambiador de calor	45
Ecuación 14-2: Masa disponible estiércol por día	48
Ecuación 15-2: Masa disponible desechos orgánicos por día	49
Ecuación 16-2: Cálculo del volumen de mezcla, desechos.....	50
Ecuación 17-2: Cantidad de biomasa y agua	51
Ecuación 18-2: Masa total disponible entre mezcla de agua-estiércol y desechos-agua	52
Ecuación 19-2: Procedimiento de cálculo solo se realiza ingresando la altura, longitud, área..	54
Ecuación 20-2: Volumen biodigestor	56
Ecuación 1-3: Tasa de rendimiento media.....	74
Ecuación 2-3: Valor actual neto.....	75
Ecuación 3-3: Tasa interna de retorno	76

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A.** RECOLECCIÓN DEL ASERRÍN DE MADERA Y/O DESLIGNIFICACIÓN
- ANEXO B.** ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL AGUA POTABLE DE HUAMBALÓ
- ANEXO C.** ANÁLISIS DE LABORATORIO DEL ASERRÍN DE MADERA
- ANEXO D.** ANÁLISIS DE ASERRÍN DE MADERA DE %MASA SECA
- ANEXO E.** INFORME DE RESULTADOS DE LA PARROQUIA HUAMBALÓ
- ANEXO F.** PLANOS DEL BIODIGESTOR DEL SOFTWARE BIODIGESTOR-PRO:
IMPLANTACIÓN DE LA PLANTA
- ANEXO G.** PLANOS DEL BIODIGESTOR DEL SOFTWARE BIODIGESTOR-PRO:
TUBERÍAS
- ANEXO H.** PLANOS DEL ALMACENAMIENTO Y CAPTACIÓN DE BIOGÁS
- ANEXO I.** PLANILLA DE LUZ DE LA ASERRERÍA “MUEBLES MARIO”
- ANEXO J.** COSTO DE KW/H PARA LAS INDUSTRIAS ARTESANALES

RESUMEN

En el presente proyecto se diseñó un biodigestor anaeróbico para la obtención de metano a partir de residuos lignocelulósicos de la aserrería “Muebles Mario” ubicada en la parroquia Huambaló, que al momento no tiene utilidad para el sector, considerándose un problema para el ambiente. Para ello se cuantificó la producción de residuos de aserrín de madera, posteriormente se definió mediante ensayos experimentales un proceso de deslignificación mediante el uso de sosa cáustica necesario para su posterior utilización, después se realizó el cálculo de las variables para el dimensionamiento de componentes principales, incluyendo aquellos cálculos previos requeridos por defecto para la aplicación del software para diseño de biodigestores “BioDigestor-pro 3.0”. Se realizó varias corridas del software utilizando como base el residuo de aserrín mezclado con estiércoles de cuy, ganado vacuno y agua respectivamente, se escogió el tipo de biodigestor, su geometría, además de los accesorios y materiales para su construcción. Los resultados obtenidos fueron comparados para evaluar la eficiencia del uso de distintos tipos de biomasa, cabe mencionar que se mantuvieron fijas las cantidades del aserrín de madera y agua, se evidenció que el porcentaje de metano (entre el 50% y 70%) y dióxido de carbono (alrededor del 30%) obtenidos eran muy similares a pesar de ser de distintos tipos de biomasa, en ambos casos cumplen con los parámetros establecidos bibliográficamente para una producción de biogás eficiente. Se concluye que el uso del software BioDigestor-pro 3.0, ahorra tiempo y proporciona el diseño completo del biodigestor facilitando los planos del mismo para su posterior construcción, también calculó la tasa interna de retorno, misma que determinó la factibilidad económica del proyecto, se pudo adaptar a la realidad socio-económica nacional, por las bondades mencionadas se recomienda su utilización en proyectos a mediana y gran escala para la producción de metano y/o abono, por su versatilidad permite realizar cálculos con más de 20 tipos de biomasa o mezclas de las mismas.

Palabras claves: <TECNOLOGIA Y CIENCIAS DE LA INGENIERIA>, <BIODIGESTOR-PRO-3.0 (SOFTWARE)>, <DISEÑO DE BIODIGESTORES>, <ASERRÍN DE MADERA>, <RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS>, <DESLIGNIFICACIÓN>, <METANO>

REVISADO
22 ENE 2020
Ing. Jhonatan Parreño Uquillas, MBA
(ANALISTA DE BIBLIOTECA 1)
Jhonatan Parreño Uquillas

SUMMARY

In this Project, an anaerobic biodigester was designed to obtain methane from lignocellulosic waste from the Muebles Mario sawmill located in the Huambaló parish, which currently has no use for the sector, therefore is considered a problem for the environment. For this purpose, the production of the wood sawdust waste was quantified, then a delignification process was defined by experimental tests through the use of caustic soda necessary for its subsequent use, subsequent, the calculation of the variables for the sizing of main components was made, including those previous calculations required by default for the application of the biodigester design software BioDigester-pro 3.0. Several runs of the software were carried out using as a basis the sawdust residue mixed with guinea pig manure, cattle, and water respectively; the type of biodigester, its geometry was chosen, in addition to the accessories and materials for its construction. The results obtained were compared to evaluate the efficiency of the use of different types of biomass, it should be mentioned that the quantities of wood and water sawdust were fixed, it was shown that the percentage of methane (between 50% and 70%) and dioxide carbon (about 30%) obtained were very similar despite being of different types of biomass, in both cases, they meet the bibliographically established parameters for efficient biogas production. It is concluded that the use of BioDigester-pro 3.0 software, saves time and provides the complete design of the biodigester by facilitating its plans for its subsequent construction; also calculated the internal rate of return, which determined the economic feasibility of the project, it was possible to adapt to the national socio-economic reality, for the benefits mentioned above its use is recommended in medium and large-scale projects for the production of methane or fertilizer, due to its versatility it allows calculations with more than 20 types of biomass or mixtures of the same.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGY AND SCIENCES>, <BIODIGESTER PRO 3.0 (SOFTWARE)>, <DESIGN OF BIODIGESTORS>, <WOOD SAWING>, <LIGNOCELLULOCIC WASTE>, <DESLIGNIFICATION>, <METHANE>.



INTRODUCCIÓN

La industria maderera del Ecuador es de gran importancia para el desarrollo del país, tanto en la creación de fuentes de trabajo, producción de bienes y servicios. Está claro que se debe fomentar la creación de más productos hechos en madera, y aportar para el avance económico con un recurso explotado, algunas veces de forma inadecuada (Molina, 2004: pp. 25); debe destacarse aspectos como la superficie forestal del Ecuador que abarca alrededor del 40% de su territorio (aproximadamente 11 millones de hectáreas). La mayor parte de los bosques se hallan en la región amazónica. Además, Ecuador puede considerarse como un país exportador de madera (PETROECUADOR, 2016).

Las provincias andinas centrales, dentro del sector secundario de la economía, existen industrias manufactureras que fabrican productos con base a la utilización de madera en un 35% y talleres artesanales con un 65%. Dichos talleres se dedican a realizar mobiliario a base de maderas como laurel, cedro, canelo y pino, por su resistencia, durabilidad y alta calidad (SENPLADES, 2015).

La madera se genera una gran variedad de residuos tales como astillas, virutas, aserrín y polvo. Estos residuos se consumen en molduras de madera, proceso de cepilladoras, de aserraderos, de bobinadoras; tanto en madera seca como húmeda (Álvarez, 2002); El aprovechamiento de los residuos forestales; especialmente el aserrín, son frecuentemente utilizados para la producción de materia prima para otras industrias. (Lesme R. ;et al., 2001, pp. 26-29).

Los residuos de los aserraderos ocupan un espacio considerable y a menudo contaminan los ríos, aire y suelo de la zona. La descomposición de estos residuos genera emisiones de gases de invernadero; Es más, los residuos pueden arder de forma espontánea, por lo que representan un riesgo.

Una de las opciones mayormente estudiadas es la bioenergía por medio de la digestión, que corresponde a una serie de productos a partir de la transformación de la materia orgánica por medio de biorreactores que consumen la biomasa de residuos madereros, forestales, aserraderos, etc., además por su carácter natural y renovable la hace atractiva para la industria, tanto en pequeña, mediana y gran escala (Gutiérrez, 2007).

Una de las razones más importantes de la elaboración de este proyecto radica en la utilización de los residuos madereros como el aserrín, el cual conlleva un proceso que es realizado por las bacterias anaeróbicas y para que su rendimiento sea óptimo es necesario el diseño de un digestor que ayude su actividad y dé como resultado energía limpia que no contamina.

JUSTIFICACIÓN

En la provincia de Tungurahua se destaca por ser una zona altamente productiva; en sus alrededores, la parroquia Huambaló se resalta por la elaboración, producción y venta de muebles, donde actualmente se convirtió en la actividad económica más importante de la parroquia, siendo así que esta actividad va aumentando los residuos han crecido a la par generando impactos ambientales generados por los desechos orgánicos resultantes de las aserrerías que afectan al recurso suelo, aire de la parroquia y sus alrededores. (GADPRHuambaló, 2015)

Semanalmente existe un desperdicio de material en viruta y aserrín de aproximadamente seis quintales y en retazos de madera diez sacos. En el transcurso del año se desechan, o se venden entre viruta, aserrín y retazos de madera un 40% en todas las empresas dedicadas a la elaboración de muebles, provocando que un 60% de restos del material sea desechado a la basura contribuyendo al deterioro del medio ambiente.

El potencial de los residuos de aserrín de madera, al estar conformado principalmente por celulosa, lignina, hemicelulosa y extraíbles que después de ser degradadas por en un ambiente pobre en oxígeno, que se convierte en una mezcla de gases combustibles principalmente constituida por metano, hidrógeno, dióxido de carbono, monóxido de carbono, con su correspondiente poder calorífico y susceptibles de ser utilizados en sistemas industriales constituidos principalmente por calderas, turbinas, motores o máquinas de combustión, entre otros, tras ser debidamente acondicionados (Durán, 2016). Al cargarse el digestor con aserrín, la relación C/N es muy elevada (de 200 a 300), por lo que hay que aportar nitrógeno agregando abundante materia orgánica rica en nitrógeno: Estiércol, orina, etc. (Gramajo Monzón & al., 2009, pp. 2-9).

Es necesario una buena combinación podría tener una parte de materiales ricos en nitrógeno (estiércoles, leguminosas y otros) por cada dos partes de materiales ricos en carbono (aserrín, viruta y astillas de madera, pergamino de café, granza de arroz, bagazo de caña), para la obtención de metano acorde a las características que se necesitan (Toala, 2013)

En el país se está impulsando la investigación para buscar soluciones, del buen manejo de los residuos provenientes de los aserraderos, de la contaminación producida al ambiente y de las enormes pérdidas económicas para los microempresarios que se dedican a esta actividad.

OBJETIVOS

Objetivo General

Diseñar un biodigestor anaeróbico para la producción de metano a partir de residuos lignocelulósicos de la industria maderera y aserrerías.

Objetivos Específicos

- Cuantificar la producción de residuos lignocelulósicos de la fabricación de muebles y aserradero ``Muebles Mario`` ubicada en la parroquia Huambaló.
- Acondicionar mediante pre-tratamientos adecuados a los residuos lignocelulósicos de la fábrica ``Muebles Mario`` para su posterior utilización.
- Calcular las variables para el dimensionamiento básico de los componentes principales del biodigestor.
- Aplicar el software BioDigestor-pro para el diseño del biodigestor en función de las variables calculadas

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la Empresa

El presente proyecto se lo realizará en la fábrica de muebles y/o aserrería Muebles “Mario” ubicada en la Parroquia Huambaló del cantón Pelileo. Dicha fábrica fue fundada por su propietario el Sr. Mario Cisneros en el año 1999. Si bien esta empresa en joven, tiende a ser una de las empresas ya con trayectoria en el Cantón y con objetivos de seguir creciendo a fin de consolidarse en el mercado y de mejor calidad de la provincia.

Esta empresa cuenta con 10 trabajadores internos que laboran en distintas áreas, además de contar con varios proveedores de madera necesarios e indispensables para la fabricación de muebles y tres proveedores estables donde se adquiere la materia prima (madera) como el canelo, Chuncho y Laurel en menor cantidad; esta se adquiere en piezas con un costo promedio de 18 dólares de madera seca y 13 dólares, la madera fresca, la cual es necesario ser secada un mínimo de 18 meses a dos años.

La empresa cuenta con las instalaciones necesarias para la elaboración de muebles a más de ello cuenta con el espacio necesario para una construcción de un biodigestor en base al Diseño del biodigestor previo que se va a realizar, dando así un uso benéfico al aserrín de madera generado y además de obtener mayores beneficios económicos.

El diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa BioDigestor, lo cual representa en la actualidad una valiosa alternativa para el tratamiento de los desechos orgánicos agropecuarios, ya que además de disminuir la carga de contaminantes formadas por estos, tiene la virtud de generar un gas con importante poder calorífico (biogás), susceptible al aprovechamiento energético en sistemas electrógenos para la generación de energía eléctrica y térmica fácilmente utilizable; Uno de los aportes más importantes de esta investigación es que realiza una orientando hacia la determinación de los parámetros y /o criterios a considerar para la selección de las diferentes estructuras que conforman la planta de generación de biogás mediante el uso del software profesional BioDigestor. (Mago M., et al., 2014, pp. 60-65)

En tanto al aprovechamiento de los residuos de madera, mejora las condiciones ambientales. El gas producido (metano) es limpio y claro y sustituye al gas envasado, que muchas veces debe ser traído de grandes distancias con elevados costos.

Debe mencionarse también el beneficio cultural y social que significa que habitantes de bajos recursos que viven en lugares alejados, que se dedican a la actividad productiva maderera, tengan la posibilidad de producir su propia energía, cuidar su ambiente, reciclar sus residuos, obtener un perfeccionamiento en cuanto a lo material y así hacerlo socialmente ecológico. La aplicación de procesos y técnicas para el uso de residuos madereros tiene un inconveniente, debe mencionarse que las sustancias con alto contenido de lignina como la madera no son directamente aprovechables y por lo tanto deben someterse a tratamientos de deslignificación previos (cortado, macerado, compostado) a fin de liberar las sustancias factibles de ser transformadas de las incrustaciones de lignina (Hilbert, 2001). Esto significa que a la madera debe hacerse un pequeño tratamiento antes de cargarla al digestor, operación relativamente sencilla y de bajo costo. Este equipo, que está en etapa de producción, puede entregar resultados útiles sobre las posibilidades de uso de un desecho, como son el aserrín y la viruta, tan abundantes en nuestra región.

1.2. Sector Maderero

En el sector maderero a nivel mundial existen 4.000 millones de hectáreas de bosques presentes en los diferentes continentes de esta manera la superficie cubierta por bosques representa el 30% de su totalidad. En los últimos años la sobre explotación de árboles y la pérdida de bosques para la obtención de madera ha provocado graves problemas medioambientales, esto se debe a que existe una gran demanda de madera para diferentes usos de aserraderos y madererías. (Garro A, 2016)

En las aserrerías de la parroquia Huambaló y sus alrededores por se genera desperdicio de materia prima al momento de la elaboración del mueble; trozos de madera, viruta y aserrín son desechados a terrenos, incinerados, de estos residuos se genera óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno que son liberados a la atmósfera, esto contribuye a la llamada formación de lluvia ácida. Por último, las emisiones de dióxido de carbono producidas por la combustión de estos residuos sólidos contribuyen al efecto invernadero. Las emisiones de pequeñas partículas de madera o aserrín fino y muy fino afectan directamente a las personas que trabajan en el aserradero. (Méndez, 2005) Además, en pequeñas cantidades utilizados como material de absorción de fluidos de animales como chanchos, conejos, caballos, vacas, etc. (Tello, 2014)

La cantidad de aserrín de la madera que se genera en las aserrerías es aproximadamente de 1600 Toneladas anuales, (Concepción R ., 2016, pp. 105-114) considerando que el proceso se lleva a cabo

los 7 días a la semana, los 365 días al año, por ello se evalúa que por la cantidad del residuo generado y su facilidad de conseguir se puede dar paso a la generación de un combustible más limpio a partir del aserrín como una alternativa de reducir las cantidades de desechos y darle un beneficio tanto a las aserrerías como al ambiente. (FAO, 2011)

1.2.1. Fuentes de residuos de madera

Los residuos que provienen de la industria de productos forestales pueden dividirse en dos clases: los que proceden de la recolección y extracción de trozas de los montes, y que se consideran en general de uso económico nulo para su ulterior elaboración, y los que generan las propias industrias forestales durante el proceso de fabricación de madera, tableros contrachapados, tableros de partículas, etc. Los residuos madereros producidos por los aserraderos representan una pequeña porción del total de los residuos disponibles. (FAO, 2011).

Tabla 1-1: Tipos de residuos madereros

Fuente	Tipo de residuo
Operaciones forestales	Ramas, agujas, hojas, tocones, raíces, madera de mala calidad y podrida, recortes y aserrín
Aserrío	Corteza, aserrín, recortes, madera partida, virutas, lijaduras
Producción de tableros contrachapados	Cortezas, almas, aserrín, recortes y residuos de chapas, recortes de paneles, lijaduras
Producción de tableros partículas	Cortezas, acribaduras, menudos, recortes de paneles, aserrín, lijaduras

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (FAO, 1991)

1.2.2. Residuos madereros producidos en el aserradero

Si uno se para a pensar que aproximadamente del 45 al 55 por ciento de las trozas que entran en un aserradero o fábrica de contrachapados va a convertirse en residuos, sería incongruente no aprovecharlos al máximo como fuente de combustible, de no poderles hallar ninguna otra salida comercial rentable.

La producción real de residuos o desperdicios, producidos con la fabricación de productos madereros, es distinta de una instalación a otra y depende de varios factores, que van desde las propiedades de la madera al tipo.

Todos los residuos de la madera y su corteza, que se suelen denominar comúnmente aserrín basto debido al proceso de reducir el tamaño de los residuos en una "desmenuzadora" tienen valor como

combustible, aunque se produce en una gran gama de tamaños con diverso contenido de humedad y comprenden principalmente los siguientes:

- Corteza, que constituye de un 10 a un 22 por ciento del volumen total de la troza según tamaño y especie, y cuya eliminación puede suponer de suyo un grave problema a no ser que pueda utilizarse como combustible o eliminarse antes de la preparación de la troza;
- Residuos secundarios, como costeros, desperdicios de canteado, recortes, incluso de chapas, recortes de aserrío y de tableros de partículas, que cuando se reduce su tamaño se convierten en un combustible ideal, especialmente cuando están secos. También tienen valor de reventa como material para pasta y tableros de partículas;
- Las almas procedentes de trozas para el desenrollo de chapas, y que se venden por lo general a los aserraderos o como madera aserrada o como partículas o astillas para pulpa;
- Aserrín, que es el producto de todas las operaciones mecánicas de elaboración de la madera, especialmente del aserrío, y que por lo general no se considera como material primario para la fabricación de pasta debido a su diminuto tamaño, aunque resulta aceptable para la fabricación de tableros de partículas;
- Virutas de cepillado, que proceden del dimensionamiento y alisado de la madera aserrada, de la madera contrachapada y de los tableros de partículas con cepillos durante la fase de acabado. Se consideran ideales para la producción de tableros de partículas y son excelentes para el caldeo de hornos y secadoras;
- Lijaduras, que se producen durante el lijado abrasivo de la madera aserrada, de los tableros contrachapados y de partículas durante la fase de acabado. Debido a su tamaño y a su bajísimo contenido de humedad se prestan muy bien al caldeo directo;
- Residuos de tableros de partículas, que son del orden de un cinco por ciento y que tienen escasa importancia en comparación con los que se producen en otras industrias mecánicas a base de madera, pues en buena parte se reciclan dentro del proceso productivo. En realidad, los residuos procedentes del aserrío y de la fabricación de tableros contrachapados constituyen gran parte del material que sirve para los tableros de partículas (FAO, 1991).

1.3. Línea base del proyecto

1.3.1. Biomasa

1.3.1.1. Aprovechamiento de la Biomasa

El elevado costo de generación de energía eléctrica mediante el uso combustibles tradicionales derivados de materiales fósiles, los costos graduales del abastecimiento petrolero, la

contaminación ambiental, sumado al costo involucrado en su obtención y su carácter limitado, cuya extinción está prevista para este siglo, generan la necesidad de desarrollar proyectos que utilicen energías renovables, para la generación de energía eléctrica y de calor. (Salazar, 2015)

Los productos a base de biomasa, citando los más solicitados: tableros MDF, tríplex y aglomerados. La elaboración de estos productos, que son los de mayor demanda, es a base de biomasa previamente tratada y combinada con aditivos. El tratamiento que recibe la madera una vez cortada y convertida en astillas, aserrín o virutas, depende de la finalidad; debe ser secada y en algunos casos es lavada para eliminar hongos e impurezas, asegurando la calidad de la materia prima y el producto final.

Tabla 2-1: Características de residuos madereros.

Residuos	Tamaño (mm)	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Cenizas (%)
Lijadura	<1	2-10	0,1-0.5
Virutas	1-12	10-20	0.1-1.0
Aserrín	1-10	25-40	0.5-2.0
Corteza desmenuzada	1-100	25-75	1.0-2.0
Residuos Forestales		30-60	3.0-20

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (Guasch N et al, 2016)

1.3.2. Características del Aserrín

El aserrín es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando esta es aserrada. Pero el aserrín también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contrachapados y/o aglomerados (Reyes, 2013)

La composición química y física determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar, específicamente las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar. Por esto se necesita caracterizar estas biomásas en cuanto a contenido de humedad, volátiles, carbono fijo, cenizas y granulometría.

En los residuos industriales, el contenido de humedad depende en gran medida de la fase del proceso en que se extraiga y del secado del producto antes de esa fase (Serret, 2016)

Para el caso del aserrín y de otros residuos madereros se reportan valores de humedad superiores al 10 % y contenido de cenizas superiores a 0,5 %.

1.3.3. *Propiedades del Aserrín*

Durante el funcionamiento del aserradero, el “aserrín” generado por el corte de un diente de la sierra, desde el instante que entra en contacto real con la madera, hasta que desaparezca ese contacto, extrae una pieza de madera muy diminuta con características tridimensionales, importante para el análisis energético y económico del proceso de aserrío. Si teóricamente, se integrasen todas las partículas de los residuos generados durante el corte de una pieza de madera (madera rolliza o madera aserrada), como producto de arrancar el aserrín, se lograría obtener piezas de madera sólida con espesores de aproximadamente 2,5 mm en el caso de sierras de banda y de 7 mm cuando se corta con sierras circulares de dientes postizos.

Considerando la característica tridimensional de la viruta, es importante el análisis de sus dimensiones y sus relaciones de estos con las variables del sistema del aserrío. (Camac., 2012)

A. Ancho aserrín

Está definido por el ancho del diente de la sierra; si la sierra es tipo cinta o banda, el ancho será de alrededor de 2 a 3 mm. Si la sierra es circular, el valor es aproximadamente 7 mm.

Esta dimensión tiene efecto directo sobre el coeficiente de rendimiento físico de madera aserrada, lo que significa que en el proceso de corte con sierras tipo cinta o banda, el porcentaje o coeficiente de rendimiento será mayor que cuando se utiliza sierras circulares. (Camac., 2012)

B. Longitud del aserrín

Está definida por la altura de corte, que ocurre cuando un diente se encuentra cortando efectivamente, desde el momento que un diente específico hace contacto de corte con la madera hasta que culmine esa función. Cuando se asierra trozas de diámetros relativamente pequeños, la longitud de la viruta o altura de corte es aproximadamente al diámetro; sin embargo, si la troza tiene diámetros grandes, la estimación de la dimensión de la longitud de viruta no es fácil. (Camac., 2012)

Tabla 3-1: Clases de tamaño y proporciones de aserrín

<i>Tipo de tamaño</i>	<i>Rango de Tamaño (mm)</i>	<i>Proporción en peso (%)</i>
Polvo	<0.8	23.5
Pequeño	>0.8<1.0	15.3
Mediano	>1.0<1.6	21.7
Grueso	>1.6<2.0	19.7
Muy grueso	>2.0<5.0	19.8

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (Poblete W, 1979, pp. 39-46)

C. Espesor del aserrín

Es la dimensión más importante desde el punto de vista de la ingeniería, por lo que su generación puede ser manejada inteligentemente y con mucha facilidad; mientras que el ancho de la viruta es función de la característica del elemento cortante, y la longitud de la viruta está definida por la dimensión diametral de la troza.

D. Tamaño de partícula de aserrín

La geometría de las partículas es una característica que se manifiesta negativa o positivamente tanto en el proceso de elaboración como en las propiedades tecnológicas del tablero. Las dimensiones (largo, ancho y espesor), y figura de la partícula influirán en el producto final.

1.4. Biodigestión

Los biodigestores son por mucho los más adecuados ante la aplicación de entornos energéticos para recursos económicos de países desarrollados y subdesarrollados. El conjunto de técnicas tecnológicas del biogás es implementado en función de las disposiciones ambientales y económicas del mañana. Esta posee un avance tecnológico muy amplio, además del interés energético y beneficios por sobre otro tipo de energías.

1.4.1. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un sustrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g. H_2O_2). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico.

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

Al comienzo, el proceso de digestión aeróbica tuvo escasa aceptación, debido a que se desconocían sus principios fundamentales, además de que encarecían los costos del tratamiento por la cantidad adicional de energía necesaria para el suministro de aire al proceso. En contraste, los procesos de digestión anaeróbica permiten utilizar el metano generado como fuente de energía. La principal ventaja del proceso aeróbico es la simplificación en las operaciones de disposición de los lodos comparada con la relativa complejidad operativa del proceso de digestión anaeróbica.

Cuando los residuos orgánicos se someten a una degradación aeróbica, se generan compuestos de bajo poder energético como CO₂ y H₂O. Gran parte de la energía se pierde y se libera a la atmósfera. Se estima que la pérdida de energía de un proceso aeróbico es aproximadamente veinte veces superior al de un proceso anaeróbico.

En el caso de la degradación anaeróbica, se generan productos del metabolismo con alto poder energético (por ejemplo, alcoholes, ácidos orgánicos y metano), los cuales sirven como nutrientes de otros organismos (alcoholes, ácidos orgánicos), o bien son utilizados con fines energéticos por la sociedad (biogás).

Otro beneficio ambiental importante de las plantas de biogás es la significativa reducción de la presión sobre los rellenos sanitarios. De esta forma se reducen significativamente los costos de la disposición de residuos orgánicos, e incluso se obtienen subproductos con valor agregado (e.g. bioabono). Además, el tratamiento anaeróbico de los residuos orgánicos contribuye a la protección de las aguas subterráneas, reduciendo el riesgo de lixiviación de nitratos. Por otra parte, la digestión anaeróbica elimina el problema de emisión de olores molestos, como, por ejemplo, el olor a amoníaco, producto de la acumulación de excretas y orina sin tratar.

La promoción e implantación de sistemas de producción de biogás colectivos -varias granjas-, y de codigestión tratamiento conjunto de residuos orgánicos de diferentes orígenes en una zona geográfica, usualmente agropecuarios e industriales- permite, además, la implantación de sistemas de gestión integral de residuos orgánicos por zonas geográficas, con beneficios sociales, económicos y ambientales.

La digestión anaerobia se puede llevar a cabo con uno o más residuos con las únicas premisas de que sean líquidos, contengan material fermentable, y tengan una composición y concentración relativamente estable. La codigestión es una variante tecnológica que puede solucionar problemas o carencias de un residuo, si son compensadas por las características de otro.

En las primeras fases del proceso de digestión aeróbica, cuando una población de microorganismos se pone en contacto con una fuente ilimitada de sustrato, es ahí donde dentro

del metabolismo de la digestión anaerobia existen grupos de bacterias sin tróficas cuya principal característica es la unión de varias especies para realizar una reacción química. Existen 4 categorías de bacterias que participan en los pasos de conversión de la materia hasta moléculas sencillas como metano o dióxido de carbono y que van cooperando de forma sinérgica, estas son:

Grupo 1: Bacterias hidrolíticas. Son un conjunto de bacterias cuya finalidad es romper los enlaces complejos de proteínas, celulosa, lignina o lípidos en monómeros o moléculas como aminoácidos, glucosa, ácidos grasos y glicerol, los cuales pasan al siguiente grupo de bacterias. En este proceso participan principalmente Clostridium y Bacteroides.

La velocidad de descomposición durante la etapa de la hidrólisis depende de la naturaleza del sustrato. La transformación de celulosa y hemicelulosa generalmente es más lenta que la descomposición de proteínas.

Para llevar a cabo la biodegradación, ciertos microorganismos secretan diferentes tipos de enzimas, llamadas enzimas extracelulares que "cortan" moléculas grandes en pedazos más pequeños para que los microorganismos pueden tomar dentro de la célula y utilizarla como una fuente de energía y nutrición. Los microorganismos que rompen diferentes azúcares son llamados sacarolíticos, mientras que los que rompen proteínas son llamados proteolíticos

Grupo 2: Bacterias fermentativas acidogénicas. Los monómeros producidos en la fase hidrolítica son absorbidos por diferentes bacterias facultativas y obligatorias, se degradan en ácidos orgánicos de cadena corta como ácido butírico, propiónico, acético, hidrógeno y dióxido de carbono. La concentración de hidrógeno formado como producto intermedio en esta etapa influye en el tipo de producto final formado durante el proceso de fermentación.

Las cuales se encargan de convertir azúcares, aminoácidos y lípidos en ácidos orgánicos, alcoholes y cetonas, acetato, CO_2 y H_2 , siendo Clostridium el microorganismo que se encuentra principalmente realizando este proceso, aunque Lactobacillus y Bacillus, también lo hacen.

Grupo 3: Bacterias acetogénicas. Los productos obtenidos en la fase acidogénica se consumen como sustratos para los demás microorganismos. Los productos que no pueden ser directamente convertidos a metano por las bacterias metanogénicas son convertidos en sustratos metanogénicos, ácidos grasos volátiles y alcoholes los cuales son oxidados en sustratos metanogénicos como acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, AGV con cadenas de carbono largas son oxidadas en acetato e hidrógeno. Es importante que los microorganismos los cuales llevan a cabo las reacciones de oxidación anaeróbica colaboren con el siguiente grupo,

microorganismos formadores de metano. Esta colaboración depende de la presión parcial de hidrógeno presente en el sistema.

Estas solo se desarrollan como productoras de H_2 junto a otras bacterias consumidoras de este. *Syntrophobacter wolinii*, especializada en la oxidación de propionato, y *Syntrophomonas wolfei*, que oxida ácidos grasos de 4 a 8 átomos de carbono, convierten el propiónico, butírico y algunos alcoholes en acetato, hidrógeno y dióxido de carbono, el cual se utiliza en la metanogénesis.

Grupo 4: Bacterias metanogénicas: son aquellas bacterias capaces de generar gas metano como última fase de la digestión anaerobia descrita anteriormente. (Corrales, et al., 2015).

Los microorganismos se reproducen con una tasa de crecimiento poblacional logarítmico que sólo está limitada por su propia habilidad de reproducirse. La tasa de consumo de oxígeno aumenta rápidamente debido a la absorción y asimilación de materia orgánica para la síntesis de nueva masa protoplasmática.

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

En la digestión anaeróbica, los microorganismos metanogénicos desempeñan la función de enzimas respiratorios y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas. De esta forma, los residuos orgánicos se transforman completamente en biogás que abandona el sistema. Sin embargo, el biogás generado suele estar contaminado con diferentes componentes, que pueden complicar el manejo y aprovechamiento del mismo. (Varnero, 2011, pp 28-43)

Todos los residuos orgánicos (basura de cocina, restos vegetales, restos animales, aguas servidas aserrines, virutas, bosta y excrementos) son adecuados para ser fermentados anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno). Las bacterias consumen el carbono y el nitrógeno y como resultado se produce el biogás o gas de los pantanos. En la producción de biogás es necesario la construcción de la cámara especial denominado biodigestor para que se obtenga la fermentación anaeróbica (sin aire).

1.4.2. Fermentación anaeróbica

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

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

1.4.3. Respiración anaeróbica

La respiración anaeróbica es un proceso biológico de óxido-reducción de monosacáridos y otros compuestos en el que el aceptor terminal de electrones es una molécula inorgánica distinta del oxígeno, y más raramente una molécula orgánica. La realizan exclusivamente algunos grupos de bacterias y para ello utilizan una cadena transportadora de electrones análoga a la de las mitocondrias en la respiración aeróbica. No debe confundirse con la fermentación, que es un proceso también anaeróbico, pero en el que no participa nada parecido a una cadena transportadora de electrones y el aceptor final de electrones es siempre una molécula orgánica.

Cuando el CO_2 acepta los electrones liberados por la materia orgánica, se reduce a gas metano (CH_4). La producción de CH_4 mediante esta vía se conoce como metanogénesis hidrogenotrófica y es responsable de un tercio de la producción total de metano. Ciertos microorganismos anaeróbicos también utilizan el CO_2 como aceptor de electrones y reducen el hidrógeno a ácido acético. La presencia de sulfato en un ambiente anaeróbico desvía parte de la materia orgánica hacia la reducción de sulfato mediante un grupo especializado de bacterias anaeróbicas conocido como bacterias reductoras de sulfato. La liberación de sulfuro de hidrógeno, gas de olor penetrante, es característico en ambientes anaeróbicos en los cuales el sulfato actúa como aceptor de electrones. Cuando el nitrato (NO_3^-) actúa como aceptor de electrones, se reduce a gas nitrógeno.

El proceso de digestión anaeróbica es inhibido por la presencia de sustancias tóxicas en el sistema. Estas sustancias pueden formar parte de las materias primas que entran al digestor o pueden ser subproductos de la actividad metabólica de los microorganismos anaeróbicos. Sustancias tales como amoníaco, metales pesados, compuestos halogenados, cianuro y fenoles, forman parte del primer grupo, en tanto que, sulfuro, amoníaco y ácidos grasos de cadena larga, forman parte del último grupo mencionado. Es interesante destacar que muchas de las bacterias anaeróbicas son capaces de degradar compuestos orgánicos refractarios.

1.5. Biodigestores.

El reactor corresponde al dispositivo principal donde ocurre el proceso bioquímico de degradación de la materia orgánica. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido. (Varnero, 2011, pp 28-43)

1.5.1. Elementos que componen un biodigestor

Tanque de digestión: Es el que define la denominación del biodigestor. El mismo está compuesto por la cámara de fermentación y la cúpula. En la cámara de fermentación anaeróbica el material a descomponer permanece un determinado tiempo, llamado tiempo de retención, en el cual ocurre la degradación y liberación del biogás. Su geometría es cilíndrica y su capacidad está dada por el volumen de material a degradar. La función de la cúpula es almacenar el gas en los momentos que no existe consumo, pues la producción de gas es ininterrumpida a lo largo de todo el día. La capacidad de almacenaje de la cúpula depende del volumen de la cámara de fermentación.

Laguna de compensación: En ella se acumula el material ya fermentado (digerido), donde puede recogerse. La capacidad de la laguna está en dependencia del volumen del biodigestor (un tercio del mismo) y puede tener diferentes formas (cuadrada, circular, rectangular) y construirse encima de la cúpula o al lado del tanque de fermentación.

Registro de carga: Puede tener variadas formas y su tamaño depende del diseño del digestor. En el mismo se introduce el material a fermentar, mezclándose con agua en las proporciones adecuadas y homogenizándose.

Conducto de carga: Comunica al registro de carga con el tanque de fermentación.

1.5.1. Clasificación de los biodigestores

Los primeros biodigestores que se construyeron en China y en la India fueron de cúpula fija y de campana flotante respectivamente, más tarde se han desarrollado otros más sencillos, rápidos de hacer y con materiales más baratos como goma, poli-vinil-cloruro (PVC) y polietileno. Además, ya en los últimos años en varios países subdesarrollados se están utilizando digestores tubulares de polietileno con el objetivo de reducir los costos de producción mediante el uso de materiales locales y la simplificación de instalaciones, operación y mantenimiento.

1.5.1.1. Digestor De Lote (Batch)

Se cargan de una vez en forma total, descargándose cuando han dejado de producir biogás o la biomasa está suficientemente degradada. Consisten en tanques herméticos con una salida de gas conectada a un gasómetro flotante, donde se almacena el biogás. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente. De los sistemas Batch, el más usado, por la facilidad de construcción del sistema, la sencillez en el proceso de digestión, la alimentación del 12 digestor puede ser con residuos vegetales o también mezclando residuos vegetales con pecuarios y por su mayor producción de biogás, en comparación con el modelo chino e hindú. La producción de biogás en este tipo de digestores es de 0,5 a 1,0 m³ biogás/m³ digestor.

1.5.1.2. Sistemas semi-continuos

Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el hindú y el chino. Entre los de tipo hindú existen varios diseños, pero en general son verticales y enterrados. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación.

El gasómetro está integrado al sistema, en la parte superior del pozo se tiene una campana flotante donde se almacena el gas, balanceada por contrapesos, y de ésta sale el gas para su uso; en esta forma la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, de menos de 20 cm., de columna de agua. Por lo general el volumen del gasómetro es del orden de 1/3 del biogás generado al día. Este tipo de digestores presenta una buena eficiencia de producción de biogás, generándose entre 0,5 a 1 volumen de gas por volumen de digestor, y aún más. En lo que respecta a los digestores tipo chino, estos son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo, y se construyen totalmente enterrados. En este tipo de digestores no existe gasómetro, almacenándose el biogás dentro del mismo sistema.

1.5.1.3. Sistemas continuos

Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionarles calefacción y agitación, así como para su control. Por lo tanto, este tipo de plantas son más bien instalaciones tipo industriales, donde se genera una gran cantidad de biogás el que a su vez se aprovecha en aplicaciones industriales. (Solari, 2004)

1.6. Metano

El metano es considerado como un gas que contribuye enormemente al derretimiento de los polos. Como tal, el gas metano posee mayor potencia que el dióxido de carbono con una capacidad de calentamiento 21 veces mayor a este. En lo que, la recepción, combustión y obtención final del metano a dióxido de carbono se puede aprovechar como combustible para generadores, calentadores u otros equipos que causen una reducción significativa de las emisiones de gases. Clasificación de los Fertilizantes

Una de las maneras de contrarrestar el calentamiento global y transformar estos residuos contaminantes en un recurso valioso, es su aprovechamiento controlado mediante biodigestores para la producción y captación de biogás, su aprovechamiento energético y la producción de fertilizante orgánico. Por tanto, aprovechar de manera eficiente este combustible es de suma importancia para sustituir las tradicionales fuentes energéticas no renovables, escasas y costosas, convirtiendo las explotaciones agropecuarias y agroindustriales en una actividad económica mucho más rentable y menos contaminante. (Salazar, 2015)

La mezcla de CH₄ con el aire es combustible y arde con llama azul. Es un combustible ecológico, ya que se obtiene en biodigestores por fermentación anaeróbica del estiércol de herbívoros; luego, cuando se quema el biogás, se produce CO y agua; el CO sale a la atmósfera, de donde es captado por las plantas para producir carbohidratos mediante la fotosíntesis, que los utilizarán para su crecimiento; estas plantas servirán de alimento a los herbívoros, cuyo estiércol se alimentará al biodigestor, de esta manera se completa el ciclo del CO. (Severiche & al, 2013, pp. 6-15)

Los biodigestores y plantas de biogás son considerados como tecnologías ecológicamente amigables, descontaminantes y apropiadas para nuestra época. Esta tecnología es ecológicamente favorable, ya que satisface las necesidades de energía, fertilizantes y favorecen el desarrollo social, ambiental y tecnológico. Además, son adecuadas para una ejecución pública, son muy sencillos de fabricar, poseen un mantenimiento planificado, de esta manera es muy factible su

desarrollo en lugares campestres. Una planta de biogás, es una instalación en donde se pueden aprovechar los desechos orgánicos en un proceso anaeróbico, cuya operación genera energía.

En la transformación del biogás existen muchos recursos que pueden ser reutilizados debido al gran conjunto de materia orgánica aprovechable, por ejemplo, desechos animales, residuos agroindustriales y vegetales, residuos sólidos urbanos, plantas herbáceas, subproductos lácteos, descarga de líquidos provenientes de industrias alimenticias, refrescos, pulpas, residuos de mataderos y procesadores de carne, viñedos con fines de obtención de alcohol, etc.

1.7. Factores que influyen en la producción de metano

Temperatura: Las bacterias que trabajan en el biodigestor son bacterias anaeróbicas, es decir trabajan en ambientes sin presencia de oxígeno. Estas bacterias formadoras de metano para que trabajen de manera óptima necesitan mantenerse en un rango de temperatura que oscila entre 30 y 60 °C dependiendo del tipo de bacterias.

Para el desarrollo óptimo del proceso, se distinguen tres rangos de temperatura, el rango Psicrófilo entre 10 y 20°C, el mesofílico de 30 a 40°C y el termofílico de 55 a 60°C.

En el rango mesofílico las bacterias se reproducen fácilmente y pueden permanecer activas si no ocurren cambios súbitos de temperatura. La temperatura óptima es de 35°C y la mayoría de los desechos orgánicos se pueden digerir a esta temperatura produciendo biogás.

En el rango termofílico es en el que se produce mayor cantidad de biogás que en el anterior y en tiempos más cortos, sólo es usado en las instalaciones a nivel industrial, ya que se requiere de un control muy preciso. Las bacterias termofílicas son muy sensibles a los cambios de temperatura y en pequeños sistemas resulta antieconómico mantener esta temperatura controlada, especialmente en climas fríos.

- El pH: El pH- potencial hidrógeno- de un medio caracteriza la acidez (de 0 a 7) o la alcalinidad (de 7 a 14) de dicho medio.

El valor normal de funcionamiento de una planta de biogás esta entre 7 y 8 (neutro). Cuando la planta de biogás esta recién funcionando, el ácido comienza hacer la primera actividad, reduciendo el pH por debajo de 7 (aumentando el contenido de ácido). Las bacterias metanogénicas luego, empiezan usando estos ácidos, aumentando el pH a neutro.

En una planta de biogás, el nivel del pH, es controlado por el mismo proceso. El dióxido de carbono producido por las bacterias disueltas en agua, forman iones de bicarbonato (HCO_3^-), lo

cual causa que la solución se torne ligeramente alcalina. La cantidad de bicarbonato en la solución depende de la concentración de dióxido de carbono y de la cantidad de ácidos de la carga inicial.

- Tiempo de retención: Las bacterias requieren de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura, ya que a mayores temperaturas el tiempo de retención requerido para obtener una buena producción de gas es menor.

En un sistema de carga diaria, el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación:

$$\text{Volumen del digestor(m}^3\text{)} = \text{Volumen de carga diaria(m}^3\text{)}$$

$$\text{tiempo de retención(días)} \text{ (m}^3\text{/día)}$$

- Relación carbono/nitrógeno: Prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás al ser sometida a fermentación anaeróbica, y la cantidad y calidad del biogás producido dependerá de la composición del desecho utilizado.

El carbono y el nitrógeno son las fuentes principales de alimentación de las bacterias formadoras de metano; el carbono es la fuente de energía y el nitrógeno contribuye a la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima es de 30.

- Porcentaje de sólidos: Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida, esta última es llamada sólidos totales.

El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es también un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se lleve a cabo en forma satisfactoria.

Experimentalmente se ha demostrado que una carga que contenga entre 7 y 9% de sólidos totales es óptima para la digestión.

1.7.1. Deslignificación

La deslignificación de los residuos de madera, como paso previo a su colocación dentro del biodigestor, tiene por objeto eliminar la lignina, que es uno de los componentes principales de la madera, junto a la celulosa, la hemicelulosa, y los hidratos de carbono coligados. La lignina es la que forma la estructura rígida de las plantas y los árboles, la que le da sustento mecánico. Sirve

como cemento en el armazón celulósico y está unida en ciertos sitios con las cadenas de celulosa. La lignina, que es un hetero polímero amorfo formado por cadenas de átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno, no es digerible, y permanece en la lechada al final de la digestión de la misma manera que entró. Por ello, es conveniente tratar de eliminarla mediante unos diversos pretratamientos, como el cortado, macerado, compostado y ataque con sustancias químicas como soda cáustica, ácidos, etc. (Martina P. et al., 2005).

1.7.2. *Sustratos*

El sustrato es el material orgánico que las bacterias transforman hasta convertir en biogás. Como sustrato se emplean los desechos orgánicos de tipo animal (estiércol de vacuno, porcino, cuy y aviar) y/o vegetal (desechos de arroz, maíz, grama). Se recomienda que los desechos animales sean como mínimo 2/3 del total del sustrato. Desde el punto de vista biológico, se puede ver al biodigestor como un criadero de bacterias que se alimentan de los desechos orgánicos y transforman. Los alimentos principales de las bacterias con el carbono (en forma de carbohidratos), y el nitrógeno (en forma de proteínas, nitratos, amoníaco, etc.). El carbono se utiliza para obtener energía y el nitrógeno para la construcción de estructuras celulares. Las bacterias necesitan tanto carbono como nitrógeno para su crecimiento y reproducción (actividad metanogénica), pero consumen carbono de 25 a 30 veces más que su uso de que nitrógeno. (Vega, 2015).

Tabla 4-1: Composición de algunos desechos para la producción de biogás en área rural.

Material	% Humedad	% Sólidos Totales	% Carbono Base Seca	% Nitrógeno Base Seca	Relación C/N en peso
		ESTIERCOL			
Vacuno	79	21	32	1,5	21
Ovino	73	27	60	3,7	16
Equino	75	25	47	2,4	20
Porcino	69	31	73	2,6	28
Aves de corral	44	56	70	6,0	12
Auquénidos	57	43	42	3,7	11
Cuyes	32	60	37	2,2	17
Conejos	20	80	37	2,02	23

Elaborado por: Torres, A. (2019)

Fuente: (Vega, 2015)

1.8. Software Biodigestor-pro 3.0

BioDigestor está siendo utilizado con éxito para el diseño y dimensionamiento de biodigestores domésticos e industriales y se ha utilizado en el dimensionamiento de más de 50 biodigestores ubicados en varios países Latino Americanos y Europa.

El programa Biodigestor es una herramienta para el dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás, para el aprovechamiento de desechos orgánicos para la producción de biogás, generación de energía eléctrica y fertilizante orgánico.

El programa puede ser aplicado para el dimensionamiento de biodigestores para aprovechar residuos orgánicos y desechos de:

- estiércoles de animales
- desechos de mataderos, camales, procesadoras de carne
- industrias lecheras
- industrias vinícolas
- enlatadoras de alimentos
- extractoras de aceites de palma
- procesadoras de pescado, camaronerías, acuicultura
- procesadoras y beneficios de café
- industria cervecera
- ingenios azucareros
- vinazas en la industria de alcoholes
- industria papelera
- plantales avícolas y porcinos
- todo tipo de agroindustria que procese productos orgánicos, etc.

También puede aplicarse para dimensionar digestores que aprovechan aguas residuales domésticas, municipales, que se originan por descargas de lavabos, baños, cocinas, aseo personal, etc.

El programa dimensiona y diseña esquemáticamente todas las estructuras de un biodigestor o planta de biogás y sus respectivas estructuras como tanques de alimentación o de mezcla, biodigestor, tanque de descarga y lecho de secado de lodos.

También calcula la producción de biogás, de energía eléctrica y calorífica, producción de fertilizante orgánico, lecho de secado de lodos.

El programa BioDigestor trabaja en un entorno intuitivo y permite dimensionar y diseñar biodigestores y sus estructuras auxiliares. Se puede representar desde esquemas tan sencillos como una planta de biogás de un solo biodigestor o sistemas complejos compuestos de varios digestores, tanques de alimentación y de descarga, etc.

Las principales características de del programa BioDigestor se enumeran a continuación:

- Permite el ingreso de más de 10 tipos diferentes de biomasa (estiércol de cerdo, de ganado, gallinaza, vinazas, desechos orgánicos de restaurantes, grasas, aceites, agroindustriales, de rellenos sanitarios, etc.), aguas residuales, como sustrato para alimentar los biodigestores.
- Permite la selección de biodigestores sobre tierra, bajo tierra y con terraplén. En este último caso permite la variación de la altura del terraplén y calcula los volúmenes de excavación y relleno.
- El programa dimensiona y diseña un biodigestor o una planta de biogás con varios digestores, sean estos tanques de hormigón, acero, o digestores tipo laguna con fondo de geomembrana u hormigón y cubierta de PVC-EPDM.
- Calcula la producción de biogás, energía eléctrica, potencia a instalar (kW) de varios tipos de biomasa, aguas residuales, vinazas, etc. (depende de la versión)
- Calcula equivalencias energéticas del biogás producido
- Calcula la producción de biol, fertilizante seco y contenido de nutrientes.
- Presenta los presupuestos estimados de construcción
- Calcula los requerimientos de energía para el sistema de calefacción y agitadores
- Calcula la tasa interna de retorno

A continuación, se describen algunas de las características principales:

Incluye una base de datos de diferentes tipos de biomasa y estiércoles con los valores de masa seca, masa volátil. Estos datos pueden ser variados por el usuario de acuerdo a los análisis que se realicen para una biomasa específica; También se puede ingresar el tipo de animal, cerdos, gallinas, ganado vacuno, aves, etc. Con su respectivo peso promedio por unidad y el programa calcula las respectivas cantidades de estiércol – biomasa por día que se producen. El programa viene con un archivo de ayuda explícito; Además que sirve para el dimensionamiento y diseño de:

- Tanques de alimentación
- Digestores sobre tierra, bajo tierra
- Sistemas de captación de biogás, válvulas de seguridad, eliminación de condensados
- Tuberías de rebose y descarga

- Tanques de descarga
- Sistemas de purificación de biogás, tratamientos biológicos con inducción de oxígeno, filtros lavadores, de carbón activado, limallas de hierro, etc.
- Diseño de digestores de geomembrana, acero y hormigón armado

En el área: Datos hidrológicos se ingresan las temperaturas del aire (medio ambiente). La temperatura incide en las eficiencias de degradación de los biodigestores. Estos valores tienen que ser ingresados. También se debe ingresar los días promedio del año en los que ocurren las temperaturas bajas. Estos datos son importantes para que el programa calcule el tiempo de retención hidráulica (TRH). EL programa optimiza el TRH también en base a las temperaturas de la biomasa que alimenta al biodigestor.

Ingreso de datos biomasa

En la pantalla siguiente se indican los datos que debe ingresar si selecciono la primera casilla, estiércoles en base al peso promedio de animal y el número de animales

Masa seca: La masa seca se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. Este parámetro se calcula como la materia seca total que es alimentada o cargada diariamente al digestor. El porcentaje óptimo de sólidos en la mezcla a digerir en el digestor debe ser de 8 a 15%. Se logra esta dilución mezclando la biomasa con agua o recirculando biol o bioabono.

Masa volátil: La masa volátil es el volumen de masa orgánica que contiene la biomasa. El conocimiento de la MV es importante ya que solo este porcentaje es el contenido real de masa orgánica en la biomasa. El resto es humedad, trazas inorgánicas y otras materias que no producen biogás.

El TRH es el tiempo de permanencia de la biomasa del digestor. No existe un criterio unificado para determinar el tiempo de retención. Este valor depende de la temperatura ambiental, de la biomasa y de la carga orgánica del digestor. Estos valores determinan el volumen del digestor. El TRH seleccionado para una biomasa determinada depende de la degradabilidad de la materia orgánica. Materia de fácil degradación requiere de un menor TRH.

Volumen total de biomasa: es el volumen total de estiércol, biomasa y aguas residuales que ingresa al biodigestor

Masa seca de la mezcla: es la cantidad de masa seca que se obtiene de la mezcla de estiércol, biomasa y aguas residuales.

Masa volátil de la mezcla: es la cantidad de masa volátil que se obtiene de la mezcla de estiércol, biomasa y aguas residuales.

Tasa de dilución recomendada: es el porcentaje de masa seca que contiene la mezcla.

Volumen de agua adicional para mezcla: es el volumen de agua que se debe adicionar al volumen total de biomasa para alcanzar el % de dilución seleccionado.

Volumen total del afluente al digestor: es el volumen total de la biomasa más el volumen de agua que se debe adicionar para alcanzar el % de dilución deseado. Tiempo de retención hidráulica: es el tiempo de permanencia de la biomasa en el biodigestor.

Volumen requerido de biodigestor: es el volumen que se calcula para mantener el TRH seleccionado. El margen de seguridad se refiere al % de volumen del digestor que se debe mantener o disponer para suplir algunas variaciones o aumentos en los volúmenes de biomasa que se ingresan al digestor.

Volumen seleccionado de biodigestor: indica el volumen requerido para cumplir el TRH más el volumen de seguridad.

Temperatura mínima de proceso: indica la temperatura que debe mantenerse en el biodigestor para cumplir el proceso de degradación de manera óptima.

Carga orgánica volumétrica: Se entiende como COV a la cantidad de materia orgánica seca (MS) con la que se alimenta diariamente al biodigestor por m³ de volumen de digestor. Se define en Kg. de MS por m³ de volumen de digestor (kg /m³).

1.9. Dimensionamiento biodigestor

Los resultados de la producción de fertilizante orgánico. Se entiende que estos son valores estimados que deben ser validados por medio de los respectivos análisis físico químicos de los efluentes del digestor cuando este en operación.

Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos. El suelo del reactor está inclinado, para que la arena, el material inorgánico sedimentable y la fracción pesada del afluente puedan ser extraídos del tanque. Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido.

Pueden estar contruidos de distintos materiales desde una piscina cubierta de HDPE, concreto hasta acero inoxidable. (AQUALIMPIA, 2008).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1. Metodología del proyecto

El diseño del Biodigestor se llevará a cabo mediante el uso de diferentes directrices, tantos cálculos primarios como: cuantificación de los residuos, análisis de los residuos, cantidad de animales y/o excretas, cantidad de agua, etc., los mismos que serán usados en el programa BioDigestor-Pro 3.0

2.1.1. Reconocimiento de la zona

El presente trabajo de titulación tipo técnico se efectuó en la parroquia HUAMBALÒ situada 7 Km al este de la ciudad de Pelileo de la Provincia de Tungurahua en el Ecuador. Huambaló posee una superficie de 25.87 Km² que representa el 2,5% de la superficie de la provincia, el mismo que a pesar de contar con una superficie pequeña, su importancia radica en la ubicación geográfica, en la diversidad de pisos climáticos y en la rica producción agrícola y ganadera.

Tabla 1-2: Características Geográficas de la Parroquia Huambaló.

Parroquia HUAMBALÒ	
Limites	<ul style="list-style-type: none">➤ Al Norte: Parroquia La Matriz➤ Al Sur: Parroquia Cotalò y Cantón Quero➤ Al Oeste: Parroquia Bolívar➤ Al Este: Parroquia La Matriz
Rango Altitudinal	Altitud mínima: 2220 msnm Altitud máxima: 3890 msnm
Clima	72.51% clima Montano 20.95% clima Montano Alto 6.54 % clima Montano Alto Superior

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Huambaló.

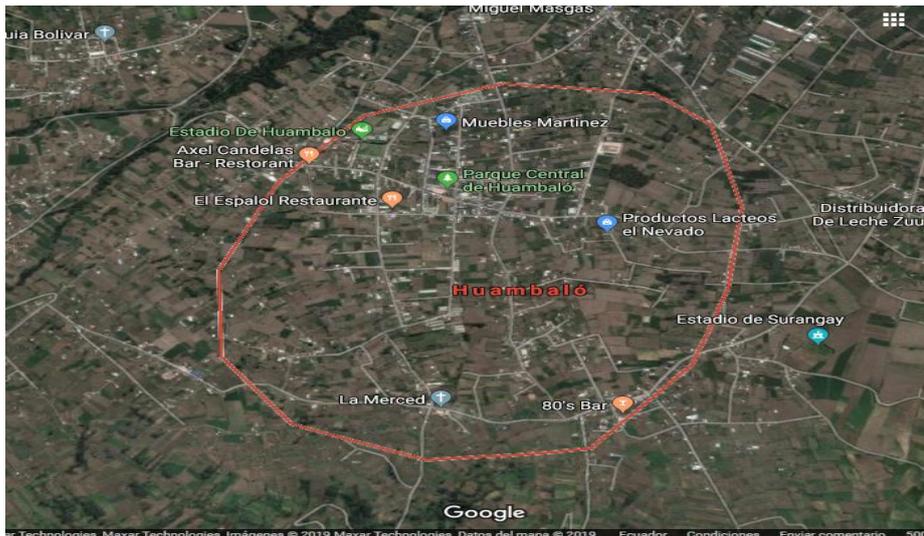


Figura 1-2: Ubicación Geográfica de la Parroquia Huambaló.

Fuente: Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Huambaló.

Para la realización de este trabajo técnico se hizo un recorrido previo por las zonas, donde se identificó la problemática generada por la producción de muebles, dentro de ello se identificó una de las aserrerías de las cuales pertenecen a la asociación “**Muebles Mario**” del Sr. Mario Cisneros, que dio la apertura y accesibilidad para la toma de muestras necesarias para el desarrollo del proyecto.

Tabla 2-2: Ubicación georeferencial de la aserrería “Muebles Mario”.

Aserrería “Muebles Mario”		
Ubicación	Parroquia Huambaló	
Dirección	Calle 11 & Vía Catequilla	
Georreferenciación	Longitud	Latitud
	-1,387614	- 78,533027

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Huambaló.



Figura 2-2: Vista geográfica de la aserrería “Muebles Mario”

Fuente: Plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia rural Huambaló.

2.1.2. Técnicas

En la materia prima (aserrín de madera) se realizaron las respectivas pruebas de caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas bajo la norma NTE INEN 1108, en el *Centro de Soluciones Analíticas Integrales “CESAL”* en cual es un laboratorio que ofrece servicios de análisis, bioquímico, químico y microbiológico. Ubicado en la provincia de Pichincha, en la ciudad de Quito, en la avenida América N.31-232 y la avenida Mariana de Jesús. En los anexos 3

En la materia prima (agua potable) se realizaron las respectivas pruebas de caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas bajo la norma NTE INEN 1108, en el *Centro de Soluciones Analíticas Integrales “CESAL”* en cual es un laboratorio que ofrece servicios de análisis, bioquímico, químico y microbiológico. Ubicado en la provincia de Pichincha, en la ciudad de Quito, en la avenida América N.31-232 y la avenida Mariana de Jesús. En los anexos 4.

2.2. Determinación de la muestra

2.2.1. Muestreo

La toma de muestra y su posterior cuantificación de los residuos lignocelulósicos, se llevará a cabo de la siguiente manera: primero se tomará las muestras de acuerdo a la cantidad de desechos de aserrín que se produce en una semana laboral en la zona de producción de muebles de la parroquia Huambaló.

La siguiente tabla identifica la toma de muestra de manera continua en una semana.

Tabla 3-2: Toma de muestras del aserrín de madera.

<i>Aserrín de madera</i>				Lugar
Día	# Muestra	Cantidad (kg)	Hora	Aserrería "Muebles Mario" de la parroquia Huambaló
Lunes	1	40.53	19:00	
Martes	1	39.63	19:00	
Miércoles	1	41.40	19:00	
Jueves	1	40.12	19:00	
Viernes	1	38.90	19:00	
Sábado	1	40.12	19:00	
Lunes	1	41.32	19:00	

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Nota: Cabe mencionar que la aserrería "Muebles Mario" de la parroquia Huambaló labora los 6 días de la semana, por esta razón se tomó el lunes para hacer 7 días la recolección del residuo, el aserrín actividad productiva termina dependiendo del producto a vender o a los trabajos hechos por obra por esta razón se tomó las muestras a las 19:00 que por lo general ya se tiene el aserrín para apilar y el resto de tiempo se realiza el acabado donde ya no se tiene residuos madereros.

2.2.1.1. Muestreo del aserrín

El proceso de la recolección de aserrín de madera se lo realizó una vez finalizado la jornada laboral de la aserrería "Muebles Mario", la cual cuenta con 10 trabajadores internos que laboran en distintas áreas, el cual utilizan como materia prima (madera) como el canelo, Chunchu y Laurel en menor cantidad, el cual genera el residuo el aserrín, el cual es mezclado y apilado en una zona específica fuera de la aserrería sin tener ninguna clase de uso específico. (Anexo A)

Para la recolección de datos y/o muestras se aplicó un muestreo aleatorio simple, con ello se obtuvo una cantidad de 784,2 kg de aserrín de madera, el cual se tomó nueve muestras de 1000 gramos cada una para realizar el proceso de deslignificación.

Producción total de estiércol por animal

Una vez recolectado una cantidad de 784,2 kg de aserrín de madera, se lleva calcular la cantidad de estiércol a usar para dos mezclas tanto para de estiércol de cuy y estiércol de vaca, las mismas

serán mezcladas respectivamente con aserrín, por esta razón es necesario conocer el número de animales, estiércol por animal para tener la producción de estiércol para cada uno de ellos.

Para obtener una producción de estiércol de cuy de 1568,41 (kg/d) es necesario 27516 cuyes, a un peso de estiércol por animal de 0,06 (kg/d), de la misma manera para obtener una producción de estiércol de cuy de 793,44 (kg/d) es necesario 19 vacas, a un peso de estiércol por animal de 41,76 (kg/d), con estos datos se procede al cálculo del agua a agregar.

2.2.1.2. Niveles de sólidos totales y sólidos Volátiles

Toda la materia orgánica está compuesta de agua y una fracción sólida llamada sólidos totales (ST). El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente

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

Para calcular el volumen de agua que se debe mezclar con la materia prima para dar la proporción adecuada de sólidos totales, es necesario conocer el porcentaje de sólidos totales de la materia prima fresca de la tabla 4-1 y 14-2.

Ecuación 1-2: Porcentaje de sólidos totales para el estiércol de cuy, estiércol de vaca, aserrín de madera y agua.

$$\% ST = \frac{1 \text{ kg excreta} \times \%ST \text{ excreta fresca}}{1 \text{ kg excreta fresca} + H_2O \text{ agregada}}$$

Con la formula descrita calculamos el H_2O ha agregar en el biodigestor del cual se calcula para el aserrín de madera y del estiércol de cuy

Estiércol de Cuy

$$0,20 = \frac{1 \text{ kg estièrcol de cuy} \times 0,60 \text{ estièrcol de cuy}}{1 \text{ kg estièrcol de cuy} + H_2O \text{ agregada}}$$

$$0,20 (1 \text{ kg excreta de cuy} + H_2O \text{ agregada}) = 1 \text{ kg excreta} \times 0,60 \text{ excreta decuy}$$

$$H_2O \text{ agregada} = 3 \frac{L}{\text{kg de excreta de cuy}}$$

Estiércol de vaca

$$0,1404 = \frac{1 \text{ kg estièrcol de vaca} \times 0,562 \text{ estièrcol de vaca}}{1 \text{ kg estièrcol de vaca} + H_2O \text{ agregada}}$$

$$0,20 (1 \text{ kg estièrcol de vaca} + H_2O \text{ agregada}) = 1 \text{ kg} \times 0,60 \text{ estièrcol de vaca}$$

$$H_2O \text{ agregada} = 3 \frac{L}{\text{kg de estièrcol de vaca}}$$

Aserrín de madera

$$0,0125 = \frac{1 \text{ kg de aserrín de madera} \times 0,60 \text{ de aserrín de madera}}{1 \text{ kg aserrín de madera} + H_2O \text{ agregada}}$$

0,0125 (1 kg de aserrín + H₂O agregada) = 1 kg de aserrín x 0,50 aserrín de madera

$$H_2O \text{ agregada} = 3 \frac{L}{\text{kg de aserrín de madera}}$$

Tabla 4-2: Relación 1:3 de los residuos más agua agregada tanto del estiércol de cuy y vaca

(Kg aserrín + kg de estiércol de cuy) + Litros de agua	Mezcla L/día
4705,2 + 2352,6 + 7057,8	9410,4
(Kg aserrín + kg de estiércol de vaca) + Litros de agua	Mezcla L/día
1568,4+7057,8	8626,2

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Con los datos de mezcla de 9410,4 L/d y 8626,8 L/d del estiércol de cuy y vaca respectivamente con aserrín y agua se utilizará para el cálculo del volumen del digestor para cada uno de ellos.

2.2.1.3. Carga en función de la materia prima

Si resulta favorable la comparación entre las necesidades de biogás y el potencial de generación, se puede proceder al cálculo de la planta.

Se debe tener en cuenta que estos materiales se incorporan al biodigestor diluidos en agua. La cantidad de agua a agregar dependerá de la cantidad de sólidos totales de las excretas frescas; en nuestro caso serán con sistemas estacionarios (discontinuos o batch). (Varnero, 2011, pp 28-43)

Tabla 5-2: Mezcla de residuos y agua relación 1:3.

Estiércol de cuy (kg)	Aserrín (kg)	Agua potable (L)
1568,4	784,2	7057,8
Estiércol de vaca (kg)	Aserrín (kg)	Agua potable (L)
784,2	784,2	7057,8

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Con los datos se ingresará al software BioDigestor-pro para comparar cuál de los tratamientos es el óptimo para la generación de metano.

2.2.2. Acondicionamiento de los residuos

Los resultados obtenidos con residuos forestales demuestran que la producción de metano es baja si no se realiza un pretratamiento debido, en muchos casos, al alto contenido en lignina de los residuos utilizados (paja, tallos, etc.). Todo indica que, utilizando sustratos de menos contenido en lignina, el rendimiento aumenta considerablemente (Jarabo, 2003), de acuerdo a lo citado es necesario el acondicionamiento es uno de los pasos más importantes para obtener metano.

La biomasa de partida, compuesta de moléculas complejas (polisacáridos, proteínas, lípidos y lignina) se descompone en moléculas más pequeñas, proceso para dar como productos finales metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). (Jarabo, 2003).

2.2.2.1. Parte experimental de deslignificación del aserrín

Sustancias y reactivos.

- 9 kg de Aserrín de madera
- 1.8 g de sosa caustica
- Agua sin cloro.

Materiales y equipos

- Cubeta plástica de 10 L
- Balanza analítica
- Guantes
- Mascarilla
- Recogedor

Procedimiento.

- Se toma una muestra representativa de 9 kg de aserrín de madera de la recolección de los residuos tomados diariamente.
- Tamizar hasta llegar a un valor óptimo de 0,65 mm; en el rango entre 0,25 y 0,65 mm para posteriormente ser deslignificado para que la digestión sea eficiente. (Durán, 2016, pp. 633-650).
- Se pesa un kilogramo de aserrín y se coloca en las bandejas
- A continuación, se disuelve 0,2 gramos de sosa caustica por cada litro de agua
- Se colocó un kilogramo de aserrín por cada litro de agua previamente disuelta la sosa caustica donde la relación es 1:1.
- Se realizó por triplicado dicha deslignificación; se dejó en remojo por un periodo de 6 días.

- Se verifica las concentraciones del color oscuro de la soda cáustica por la reacción con la madera posterior al tratamiento.
- Lavar y enjuagar con abundante agua para eliminar los restos de soda cáustica y lignina, dejándola reposar en agua tres días. (Martina P. et al., 2005, pp. 23-27)

2.2.3. Variables del proceso

Las principales variables a considerar en un proceso a escala industrial para la obtención de un fertilizante biodegradable y/o metano son:

- Temperatura
- pH
- Aireación
- Nutrientes y Activadores

2.2.3.1. Temperatura.

Este es uno de los parámetros más importantes a controlar en un proceso de fermentación de cualquier tipo, por ello es necesario crear las condiciones óptimas para el desarrollo de microorganismos fermentadores, en este caso se realizará una fermentación láctea a fin de obtener un biofertilizante y/o metano. Por tanto, el control adecuado de la temperatura debe ir acorde con la evolución relativamente pequeña de calor asociado con el proceso anaeróbico, para ello se debe mantener una temperatura promedio de 30°C, al sobrepasar a gran escala los límites permisibles de temperatura tiende a generar ciertos efectos. (Ver tabla 18) (Acevedo, D. et al., 2010, pp. 29-36)

Tabla 5-2: Efectos al sobrepasar los límites permisibles de temperatura.

T° < Optima	T° > Optima
<ul style="list-style-type: none"> • Retarda el crecimiento. • Reducción de la producción celular. • Deterioro de microorganismos 	<ul style="list-style-type: none"> • Choque térmico. • Inducción a una respuesta de estrés. • Producción de proteasas celulares. • Reducción de los productos proteicos.

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (Acevedo, D. et al., 2010)

2.2.3.2. pH.

Este un factor de gran importancia que debe ser controlado en el proceso de fermentación, debido a que un pH óptimo favorece que las enzimas y microorganismos realicen una mejor actividad,

controlando así la contaminación bacteriana, el crecimiento de levaduras, la velocidad de fermentación y la formación de alcoholes. Durante la fermentación la levadura toma el nitrógeno de los aminoácidos orgánicos, perdiendo su carácter anfótero y pasando a ácidos, lo cual origina una disminución del pH del medio. La mayor parte de microorganismos crecen favorablemente en un pH que oscila entre 4,5 y 6,5. (Arévalos F., 2008)

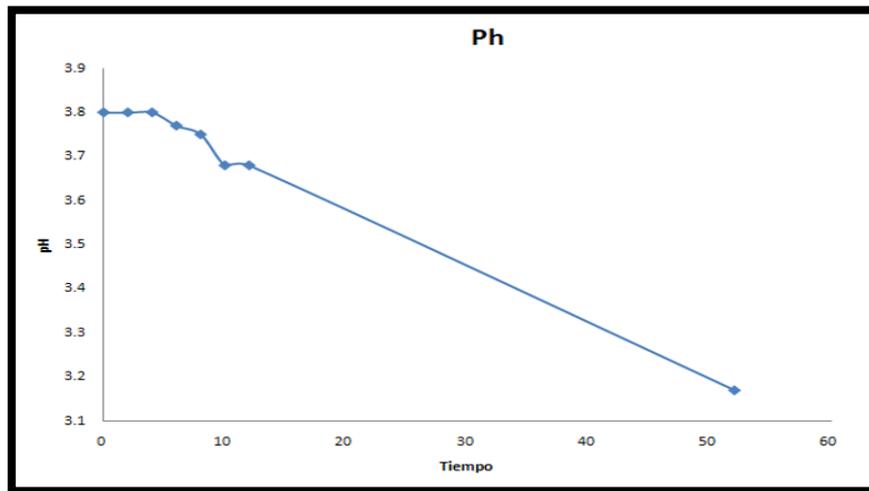


Gráfico 1-2: Variación del pH

Fuente: (Arévalos F., 2008)

2.2.3.3. Aireación.

La aireación es una herramienta útil en la fermentación en dependencia del tipo de proceso bajo el cual se vaya a realizar dicha actividad. En este caso se trata de una fermentación, con microorganismos anaerobios, es decir, que pueden desarrollar su actividad con en ausencia de oxígeno; esta fermentación para la obtención de metano a partir del aserrín de madera tiene lugar en ausencia de oxígeno, entonces es necesario tomar las medidas necesarias para evitar que durante el tiempo que tarde la fermentación, este; no entre contacto alguno con el aire exterior. (Waldir, 2014, pp. 5-14)

2.2.3.4. Nutrientes

En el caso de la degradación anaeróbica, se generan productos del metabolismo con alto poder energético (por ejemplo, alcoholes, ácidos orgánicos y metano), los cuales sirven como nutrientes de otros organismos (alcoholes, ácidos orgánicos), o bien son utilizados con fines energéticos por la sociedad (biogás).

Al igual que en todas las operaciones bioquímicas, se requieren macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes (minerales traza) en el proceso anaeróbico para la síntesis de nueva biomasa. Sin embargo, una de las ventajas de los procesos de digestión anaeróbica, frente a los

procesos aeróbicos, es su baja necesidad de nutrientes derivada de los bajos índices de producción de biomasa que presentan los microorganismos anaeróbicos. La cantidad de nitrógeno y fósforo requerido para la síntesis de biomasa puede calcularse asumiendo la fórmula empírica de una célula bacteriana anaeróbica como $C_5H_7O_2N$. La masa celular consiste de aproximadamente 12% de nitrógeno, lo cual significa que unos 12 g de nitrógeno se requieren por cada 100 g de biomasa anaeróbica producida.

La demanda de fósforo corresponde a $1/7 - 1/5$ de la demanda de nitrógeno. Como regla general, se asume que un 10 % de la materia orgánica removida (DQO) durante el proceso anaeróbico se utiliza para la síntesis de biomasa. Esto puede utilizarse para calcular los requerimientos de nitrógeno y fósforo. (Varnero, 2011, pp 28-43)

2.2.3.5. *Humedad.*

Este uno de los parámetros poco consideramos pero no por ello carece de importancia, al contrario este factor cumple un papel muy útil en el proceso de fermentación debido a que la humedad optima necesaria varia en un rango de 50 a 60% y, pero si la humedad tiende a bajar del 40% como consecuencia también se reduce la velocidad de fermentación. (Jakymec et al., 2001)

2.3. Dimensionamiento datos iniciales

2.3.1. *Temperatura de la Biomasa y medio ambiente*

La producción de biogás puede ocurrir en cualquier sitio que se encuentre en el rango de temperatura de 4°C a 68°C. Para la digestión y sabiendo que los biodigestores operan dentro de los límites de la temperatura mesofílica, se utilizará la temperatura de 35°C la cual influye en el crecimiento de la población bacteriana responsable de la producción de biogás. (González, 2013), para la parroquia Huambaló considerando las dos estaciones del año se debe considerar la temperatura máxima, media y mínima para el diseño y/o el proceso de biodigestión.

Tabla 7-2: Temperaturas de la parroquia Huambaló.

	Temperatura (°C)	Días
Máxima	19,45 ~ 19	151
Media	13,66 ~ 14	122
Mínima	7,93 ~ 8	92

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (INAMHI, 2019)

2.3.2. Tiempo de retención hidráulica

El tiempo de retención hidráulica en un digestor es uno de los factores más importantes para el control de los sistemas de digestión anaerobia. El TRH está determinado por el tiempo de generación de las bacterias, este es el tiempo que necesitan los microorganismos para reproducirse y descomponer la biomasa, considerando los dos factores siguientes como: el tipo de sustrato y la temperatura. (Tellez, 2008); Considerando que la parroquia Huambaló la media de temperatura oscila entre los 19°C aproximadamente se tomaría en consideración que el tiempo de retención de retención estaría entre los 39 días para la producción de metano.

Tabla 8-2: Tiempo de retención hidráulica para digestores de mezcla completa.

Temperatura de funcionamiento (°C)	Tiempo de retención hidráulica, (días)	Tiempo de retención recomendado, (días)
17	29	48
19	25	39
24	11	20
30	6	14
35	4	10
40	4	10

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (Vega, 2015)

Ecuación 2-2: Tiempo de retención hidráulica

$$TRH = (-52.227 \times \ln(T^{\circ}C) + 206.72)$$

Donde:

TRH : Tiempo de retención Hidráulica (días)

T° C : T= 19°C, valor para el diseño.

$$TRH = (-52.227 \times \ln(19^{\circ}C) + 206.72)$$

$$TRH = 38 \text{ días}$$

Se consideró el valor de 19°C ya que es el valor de la temperatura máximo en la parroquia Huambaló, sabiendo que esta temperatura es 151 en el año, considerando los valores de temperatura ambiente de una zona fría como es la parroquia Huambaló para el estiércol de cuy y vaca es el mismo tiempo de retención hidráulica.

2.3.3. Relación Carbono/Nitrógeno C/N

La relación entre la cantidad de C/N se encuentra entre 25-30/1; El sustrato es el material orgánico que las bacterias transforman hasta convertir en biogás. Como sustrato se emplean los

desechos orgánicos de tipo animal (estiércol de vacuno, porcino, cuy y aviar) y/o vegetal (desechos de arroz, maíz, grama). Se recomienda que los desechos animales sean como mínimo 2/3 del total del sustrato. (Vega, 2015).

3. Cámara de fermentación

Para el diseño del biodigestor hay que considerar biomasa, la temperatura; además de la materia orgánica se la carga todos los días, ya que se dispondrá de la biomasa necesaria mediante la recolección de la misma. Una vez alcanzado este punto, se empieza a llenar el segundo digestor, mientras que el primero se deja fermentar sin adicionar más carga (Chiriboga, 2010).

Con un total de 1568,4 kg estiércol de cuy y 784,2 kg de estiércol de vaca, el cual contiene una cantidad de masa seca y materia húmeda del excremento de cuy, al igual el de vaca, la misma que se obtuvo mediante las pruebas respectivas y considerando el TRH ya determinado por medio de la temperatura óptima de trabajo.

Ecuación 3-2: Volumen requerido

$$VR = V \times TRH$$

Donde:

VR : Volumen requerido (m³)

MDm : Biomasa disponible (kg/día)

TRH : Tiempo de retención hidráulica (días)

➤ Mezcla estiércol de cuy, aserrín de madera y agua

$$VR = 9410,4 \frac{L}{d\grave{a}a} \times 39 \text{ d\grave{a}as}$$

$$VR = 367005,6 L$$

$$VR = 367,00 m^3$$

2.3.4. Mezcla estiércol de vaca, aserrín de madera y agua

$$VR = 8626,2 \frac{L}{d\grave{a}a} \times 39 \text{ d\grave{a}as}$$

$$VR = 336421,8 L$$

$$VR = 336,42 m^3$$

2.3.5. Volumen de seguridad

El diseño de un biodigestor implica el cálculo de su volumen de seguridad correspondiente, de acuerdo al requerimiento y uso que tenga la misma, para ellos se aplica la siguiente ecuación para el cálculo de su volumen de seguridad:

Ecuación 4-2: Volumen de seguridad

$$V_s = f_s * V_r$$

Donde:

Vs: Volumen de seguridad (L)

Fs: Factor de seguridad (15%)

Vr: Volumen real (L)

Volumen de seguridad para la mezcla del estiércol de cuy, aserrín y agua

$$V_s = 0.15 * 376 \text{ m}^3$$

$$V_s = 55,05 \text{ m}^3$$

Volumen de seguridad para la mezcla del estiércol de cuy, aserrín y agua

$$V_s = 0.15 * 336,42 \text{ m}^3$$

$$V_s = 50,46 \text{ m}^3$$

Dentro de la industria de construcción de equipos es muy utilizado este cálculo ya que permite diseñar y construir partes de equipos con un volumen de seguridad de acuerdo a su aplicación.

3. Sistema de alimentación

La biomasa promedio diaria de una semana de recolección es $43,47 \frac{\text{kg}}{\text{d}}$, pero al ser un biodigestor tipo Batch la carga total de la mezcla de estiércol de cuy y aserrín de madera de 2352,6 kg de la misma manera la mezcla del estiércol de vaca y aserrín de madera es 1568,4 kg del cual deberá utilizar un depósito de similar capacidad, el cual se encuentra en contacto con la cámara de fermentación en el fondo, ya que al realizar la primera carga la mezcla debe cubrir ambos sistemas tanto de carga como de descarga con el fin de evitar el ingreso de aire al interior de la cámara de acumulación del biogás que no sería conveniente para la obtención de metano

4. Sistema de descarga.

Es de igual equivalencia al de la mezcla de ingreso, debido a que el proceso de carga y chequeo del sistema es diariamente, también dependerá de las condiciones topográficas del sitio. Generalmente se deber tratar de que la descarga de lodos sea por gravedad hacia el lecho de secado de lodos, que en este caso puede ubicarse en una zona baja al pie del biodigestor.

5. Sistema de agitación

La agitación es una operación unitaria muy importante en un reactor Batch, debido a que con la agitación se ponen en contacto los reactivos, y se mejora la transferencia de calor en la reacción. (Coronel, 2014).

6. Balance de masa.

Balances de masa no son más que la aplicación de la ley de conservación de la masa: “La materia no se crea ni se destruye”. Para efectuar un balance de materia de un proceso, primero hay que especificar en qué consiste el sistema para el cual se hará el balance y establecer sus fronteras. Un balance de materia no es más que una contabilización de material, se colocó las cantidades en las mismas unidades para el balance.

La ecuación utilizada para el balance global de masa es la siguiente:

Ecuación 5-2: Balance de masa

$$\text{Entrada} = \text{Salida} + \text{Acumulación}$$

$$\text{Entrada} = \text{Salida}$$

$$A + B + C = R + D$$

Donde:

A: Aserrín (kg)

B: Estiércol de cuy, vaca (kg)

C: Agua (kg)

R: Residuo (kg/d)

D: Metano (kg/d)

Balance de masa para mezcla de estiércol de cuy, aserrín y agua

$$A + B + C - R = D$$

Donde:

$$784,2 + 7,06 - 2194,12 = D$$

$$D = 165,47 \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

Balance de masa para mezcla de estiércol de cuy, aserrín y agua

$$A + B + C - R = D$$

Donde:

$$784,2 + 1568,4 + 7,06 - 1425,147 = D$$

$$D = 149,99 \left(\frac{\text{kg}}{\text{d}} \right)$$

Entonces el valor se aproxima al valor que se calculó en el software BioDigestor-pro de 0,17 (t/d) para el estiércol de cuy y para el estiércol de vaca es 0,15 (t/d) es de los datos del software mientras en el balance de masa es de 0,165 (t/d) la mezcla con estiércol de cuy y para la mezcla con estiércol de vaca es 0,149 (t/d), con esta comparación de los cálculos realizados previo al uso del software son similares y representan la realidad para el diseño del biodigestor.

El balance de materia es muy utilizado a nivel industrial principalmente para determinar la no existencia de pérdidas de materias durante el proceso.

7. Balance Energético

El balance de energía se basa en la aplicación de la “Ley de la conservación de la energía” que indica que la energía no se crea ni se destruye solo se transforma. Generalmente se realizan balances de energía únicamente en equipos donde el cambio de energía puede ser determinante, el balance de energía es un principio físico fundamental, que es aplicado para determinar las cantidades de energía que es intercambiada y acumulada dentro de un sistema, tanto para la mezcla con estiércol de cuy y estiércol de vaca las dimensiones son las mismas.

8. Calor ganado por la alimentación

Se define calor específico como la cantidad de calor que hay que proporcionar a un gramo de sustancia para que eleve su temperatura en un grado centígrado. En el caso particular del agua vale 1 cal/ (g °C) o 4186 J (kg °K).

Ecuación 6-2: Calor ganado por la alimentación

$$Q_i = m_i \times C_p \times T_a$$

T_a : Temperatura ambiente (12 °C)

Q_i : Calor de Alimentación (W)

m_i : Flujo masico de alimentación (Kg/s) tiempo que se demora la mezcla en ingresar al biodigestor 12 minutos

C_p : Calor especifico mezcla (4.186 x1000 (W S) / (kg °C)) (Incropera, 1999)

$$Q_i = 0.0071 \frac{kg}{s} \times 4.186 \times 1000 \frac{W S}{kg \text{ } ^\circ C} \times 12^\circ C$$

$$Q_i = 357.20 W$$

2.3.6. Calor perdido por la salida

Ecuación 7-2: Calor perdido por la salida

$$Q_o = m_o \times C_p \times T_s$$

T_a : Temperatura salida (36 °C)

Q_o : Calor de salida (W)

mo : Flujo masico de salida (Kg/s) tiempo que se demora la mezcla en salir al biodigestor de la cámara de fermentación

C_p : Calor especifico mezcla (4.186 x1000 ((W S)) / (kg °C)) a 35 °C (Incropera, 1999)

$$Q_o = 0.002963 \frac{kg}{s} \times 4.186 \times 1000 \left(\frac{W S}{kg \text{ } ^\circ C} \right) \times 36^\circ C$$

$$Q_o = 445.23 \text{ W}$$

2.3.7. Pérdida por las paredes

Ecuación 8-2: Pérdida por las paredes

$$Q_p = U \times A \times \Delta T$$

Q_p : Calor perdido en las paredes (W)

U : Coeficiente global de transferencia (W/m²°C)

A_o : Área de transferencia de calor (m²)

ΔT : Variación de la temperatura (°C)

Coeficiente global de transferencia para la pared de Hormigón armado

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{1}{h_b}$$

e_1 : Espesor del hormigón armado (m)

h_b : Coeficiente conectivo de la biomasa (W/m²°C)

h_e : Coeficiente conectivo del ambiente (W/m²°C)

k_1 : Coeficiente de conducción del Hormigón armado (W/m °C)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{1}{h_b}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{300} + \frac{0.23}{1.63} + \frac{1}{1.37}$$

$$\frac{1}{U} = 0.87 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ C$$

$$U = 1.14 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ C$$

$$Q_p = U \times A \times \Delta T$$

$$Q_p = 1.14 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ C \times (4,5 \times 3,36) \text{ m}^2 \times (35 - 12)^\circ C$$

$$Q_p = 396,55 \text{ W}$$

3. Pérdida por el piso

Ecuación 9-2: Pérdida por el piso

$$Q_{ps} = U \times A \times \Delta T$$

- Qp : Calor perdido en las paredes (W)
U : Coeficiente global de transferencia (W/m²°C)
Ao : Área de transferencia de calor (m²)
ΔT : Variación de la temperatura (°C)

Coeficiente global de transferencia para el piso de polietileno

$$\frac{1}{U} = \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_b}$$

- e2 : Espesor del polietileno (m)
hb : Coeficiente conectivo de la biomasa (W/m²°C)
he : Coeficiente conectivo del ambiente (W/m²°C)
k2 : Coeficiente de conducción del polietileno (W/m °C)
k1 : Coeficiente de conducción del Hormigón armado (W/m °C)
e1 : Espesor del hormigón armado (m)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{350} + \frac{0.02}{0.038} + \frac{0.23}{1.63} + \frac{1}{1.37}$$
$$U = 0.71 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$Q_{ps} = U \times A \times \Delta T$$

$$Q_{ps} = 0.71 \text{ W/m}^2\text{°C} \times (12,14 \times 4,5) \times (35 - 12)\text{°C}$$

$$Q_{ps} = 892,10 \text{ W}$$

4. Pérdida por el techo

Ecuación 10-2: Pérdida por el techo

$$Q_t = U \times A \times \Delta T$$

- Qt : Calor perdido en las paredes (W)
U : Coeficiente global de transferencia (W/m² °C)
Ao : Área de transferencia de calor (m²)
ΔT : Variación de la temperatura (°C)

Coeficiente global de transferencia para el techo

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_b}$$

- e3 : Espesor del polietileno (m)

- hbs : Coeficiente conectivo del biogás (9.36 W/m² °C)
 he : Coeficiente conectivo del ambiente (1.37 W/m² °C)
 k3 : Coeficiente de conducción del polietileno (W/m °C)

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_e} + \frac{e_3}{k_3} + \frac{1}{h_b}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{9.36} + \frac{0.002}{0.038} + \frac{1}{1.37}$$

$$\frac{1}{U} = 0.889$$

$$U = 1.12 \text{ W/m}^2\text{°C}$$

$$Qt = U \times A \times \Delta T$$

$$Qt = 1.12 \times (12,14 \times 4,5) \times (35 - 12)\text{°C}$$

$$Qt = 1407,26 \text{ W}$$

5. Calor generado en el interior del biodigestor

Ecuación 11-2: Calor generado en el interior del biodigestor

$$Q_b = m_g \times c_p \times T_i$$

- Qb : Calor generado en el Biodigestor (W)
 mg : Flujo másico en el biodigestor de la carga total 9410,4 del volumen total para las 12 h que se demora en llegar a la temperatura ideal (kg/s)
 cp : Calor específico (4.184 x1000 Wxs/kg°C) a 16 °C
 Ti : Temperatura interna (16 °C)

$$Q_b = 0,211 \frac{kg}{s} \times 4,184 \times 1000 \frac{Wxs}{kg} \text{°C} \times 16\text{°C}$$

$$Q_b = 14125,18 \text{ W}$$

6. Calor requerido y potencia calorífica necesaria

Ecuación 12-2: Calor requerido y potencia calorífica necesaria

$$Q_{req} + Q_i = Q_{ps} + Q_p + Q_t + Q_o$$

$$Q_{req} + 357.20W = 892,10W + 396,55 W + 1407,26 W + 445.23 W$$

$$Q_{req} = 2783,94 \text{ W}$$

$$Q_{REQ} = 2783,95 \text{ W} + 14125,18 \text{ W}$$

$$Q_{REQ} = 16909,12 \text{ W}$$

7. Intercambiador de calor

Ecuación 13-2: Intercambiador de calor

$$Q_{REQ} = 16909,12 \text{ W}$$

2.4. Dimensionamiento de software

2.4.1. Ingreso de la Información

El ingreso preliminar de la información como: Ubicación del proyecto, proyectista, temperatura de la localidad y los días que se generan es lo primordial para el software empiece a correr.

En dichas pantallas se escogerán tanto biomasa animal, vegetal, etc. Al igual el tipo de agua a usar tacto desde el agua potable, aguas grises, aguas negras, dependiendo de la disponibilidad y uso que se piensa darle.

Nombre y ubicación del proyecto	
Nombre del proyecto:	Humbalo Biodigestor
Ubicación:	Tunguragua
País:	Ecuador
Provincia/Zona/Dep:	Tunguragua
Ciudad:	Pelileo
Proyectista:	Ana Torres
Fecha:	21/11/2019

Temperatura medio ambiente		
	°C	Días/año
min.	7,93	92
med	13,66	122
max.	19,45	151

Seleccione tipo de desechos que va a ingresar	
<input checked="" type="checkbox"/>	Estiércol por animal
<input checked="" type="checkbox"/>	Biomasa (desechos agroindustriales)
<input checked="" type="checkbox"/>	Aguas residuales o aguas de lavado

Figura 3-2: Datos del proyecto y fuentes de biomasa

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Cantidad de biomasa disponible. Para calcular la cantidad biomasa que se dispone al día, dependiendo de la especie, el peso y tiempo de estabulación, el software BioDigestor-pro utilizará las siguientes variables de cálculo para su dimensionamiento:

Tabla 6-2: Características de los distintos tipos de biomasa.

Especie Animal	Peso Promedio (kg)	Tamaño	Cantidad de excretas por día (kg)	Producción de biogás (m ³ /animal. Día)	Metano (%)	Relación de excretas-agua	% Peso vivo estiércol (%PE)
Vacuno	450	Grande	15	0.6	65	1:1	5
		Mediano	10	0.4			5
		Ternero	4	0.16			5
Cerdo	110	Grande	2	0.14	70	1:1 a 1:3	2
		Mediano	1.5	0.1			2
		Pequeño	1	0.07			2
Avícola	2,5	Grande	0.15	0.09	65-70	1:3	4,5
		Mediano	0.1	0.06			4,5
		Pequeño	0.05	0.03			4,5
Ovino	90	Grande	5	0.25	70	1:2 a 2:3	3
		Mediano	2	0.1			3
		Pequeño	1	0.05			3
Pato	3,5		0.15	0.08		1:2 a 2:3	4,5
Paloma	0,26		0.05	0.03		1:2 a 2:3	5
Caballo	500		15	0.6	65	1:2 a 2:3	2
Cuy	0,55		0.01			1:3	3
Conejo	4,3		0,08			1:3	3
Caprino	80		2	0.2	65	1:1 a 1:3	4,5

Elaborado por: Torres, A. (2019)

Fuente: (Varnero, 2011, pp 28-43)

De la misma manera se considera datos de biomasa de residuos vegetales, residuos de cereales, entre otros como se observa en la siguiente tabla

Tabla 10-2: Características distintos tipos de materia orgánica.

Desechos Orgánicos	% Sólidos totales SO.	Producción de biogás (m3/kg desechos. Día)	Relación de desechos
agua			
Pasto	24	0,350	1:1
Hierba mezclada	24	0,350	1:1 a 1:3
Heno, Alfalfa	24	0,410	1:3
Paja de trigo	82	0,250	1:2 a 2:3
Paja de arroz	89	0,220	1:2 a 2:3
Tallos de maíz	80	0,410	1:3 a 1:4
Aserrín	65	0,250	1:2 a 2:3
Hojas secas	65	0,160	1:2 a 2:3

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (Varnero, 2011, pp 28-43)

En este caso se utilizo es estiércol de cuy es de 27516, dando así una producción de estiércol de 1568,4 kg/d, considerando que el software admite volúmenes grandes para el dimensionamiento.

Ecuación 14-2: Masa disponible estiércol por día

$$MDe = \frac{NAxWAxHEx\%PE}{24}$$

Dónde:

MDe: Masa disponible estiércol por día (kg/día).

NA: Número de animales (animales).

WA: Peso promedio de animales (kg/animal).

HE: horas de estabulación (horas).

24: factores de conversión (hora a día).

%PE: porcentaje de pesos vivo de estiércol

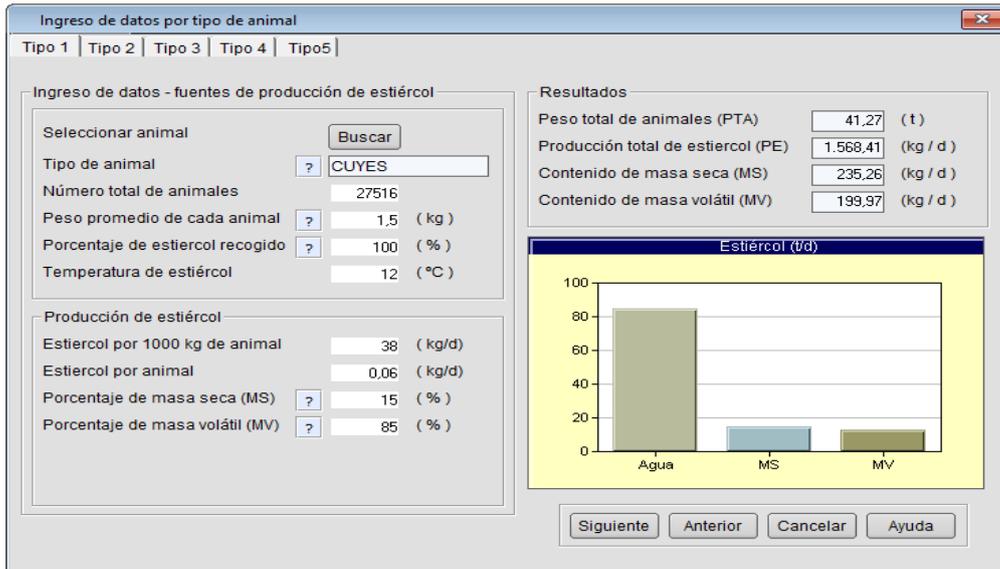


Figura 4-2: Ingreso de datos por tipo de animal

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Para los desechos orgánicos (vegetales) en nuestro proyecto se utilizó el aserrín de madera y para ellos utiliza la siguiente ecuación:

Ecuación 15-2: Masa disponible desechos orgánicos por día

$$MDdg = \frac{CdgxHR}{24}$$

Dónde:

MDdg: Masa disponible desechos orgánicos por día (kg/día).

Cdg: Cantidad de desechos orgánicos (kg).

HR: horas de recolección desechos (horas).

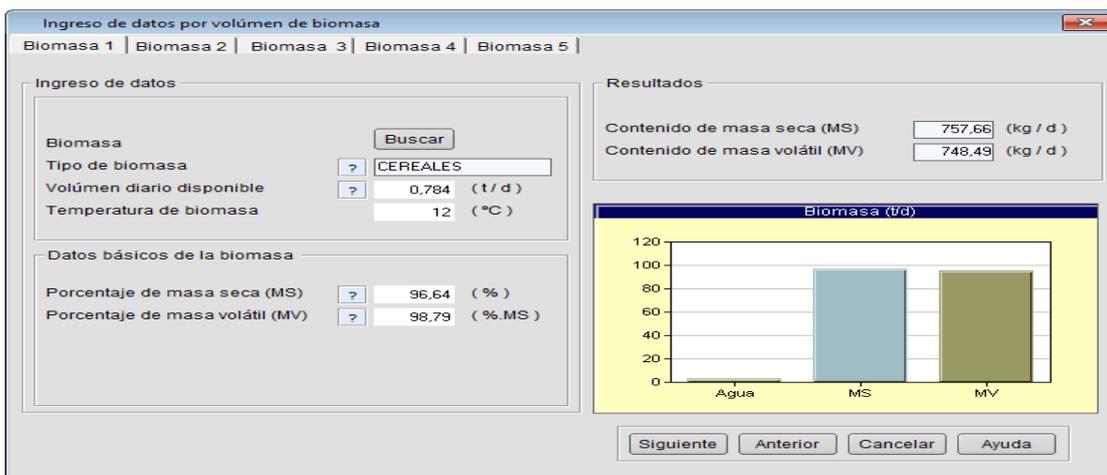


Figura 5-2: Ingreso de datos por volumen de biomasa

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Considerando que el software BioDigestor-pro permite modificar los datos al no contar en la base de datos propia de los residuos del Aserrín de madera, se optó por realizar los análisis de laboratorio, para su modificación de los cuales fueron los siguientes: porcentaje de masa seca, porcentaje de masa volátil, temperatura y otros requerimientos necesarios para que el programa ejecute en base a las condiciones que necesitamos para el diseño.

Para el ingreso el volumen de agua fue necesario tomar valores de solidos totales y calcular, para el aserrín y el estiércol de cuy, los cuales están detallados en la Ecuación

Figura 6-2: Ingreso de aguas residuales

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Una vez obtenido el caudal de $7,057 \text{ m}^3/\text{d}$ se ingresó este dato al software, para los otros requerimientos como el DBO, DQO, Sulfato, PH, Temperatura, Nitrógeno, fosforo, potasio; fue necesario el análisis de laboratorio ya que el programa no cuenta con una base de datos y para el diseño no estamos utilizando agua residuales, sino agua potable ya que en la parroquia Huambaló no existe un sistema de alcantarillado diferenciado de aguas y la que está disponible es la potable.

Para el cálculo del volumen de mezcla, desechos, y agua se aplica las siguientes ecuaciones:

Ecuación 16-2: cálculo del volumen de mezcla, desechos

$$MD'e = MDe + MH2O$$

$$MH2O = MDe * RAE$$

$$MD'dg = MDdg + MH2O$$

$$MH2O = MDdg * RAD$$

Dónde:

MD'e: Masa disponible de la mezcla por día (kg/día).

MDdg: Masa disponible de la mezcla de desechos por día (kg/día).

MH2O: Cantidad adecuada de agua por día (Kg/día).

RAE: Relación de agua-estiércol.

RAD: Relación de agua-desechos.

Los valores que se obtiene para el dimensionamiento se requieren en, el software realizara la operación de conversión de unidades:

$$\rho_{H2O} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_b = 999 \text{ Kg/m}^3$$

Dónde:

ρ_{H2O} : Densidad del agua (Kg/m^3)

ρ_b : Densidad de la biomasa mezcla (Kg/m^3)

Las siguientes ecuaciones determinan la cantidad de biomasa y agua:

Ecuación 17-2: Cantidad de biomasa y agua

$$MD_{e1} = \frac{MD_e}{\rho_b}$$

$$MD_{dg1} = \frac{MD_{dg}}{\rho_b}$$

$$M_{H2O1} = \frac{MD'_e}{\rho_{H2O}}$$

$$M_{H2O2} = \frac{MD'_{dg}}{\rho_{H2O}}$$

Dónde:

MD_{e1} : Volumen de masa de estiércol por día (m^3)

MD_{dg1} : Volumen de masa de agua por día (m^3)

M_{H2O1} : Volumen de masa de agua para el estiércol por día (m^3)

M_{H2O2} : Volumen de masa de agua para los desechos por día (m^3)

Con la penúltima ecuación se determinará el volumen entre la mezcla y agua en tanto estiércol, como desechos:

$$M_{TA} = MD_{e1}$$

$$M_{TD} = MD_{dg1} + M_{H2O2}$$

Dónde:

M_{TA} : Volumen de masa de estiércol-agua por día (m^3)

M_{TD} : Volumen de masa de desechos- agua por día (m^3)

Resumen disponibilidad de biomasa				
Nº	Animal	PE (t/d)	MS (kg/d)	MV (kg/d)
1	CUYES	1,57	235,26	199,97
Subtotal		1,57	235,26	199,97
Nº	Biomasa	BM (t/d)	MS (kg/d)	MV (kg/d)
1	CEREALES	0,78	757,66	748,49
Subtotal		0,78	757,66	748,49
Nº	Aguas residuales	Q (m3/día)		DQO(kg/d)
1	AGUA POTABLE	7,06	-	0,01
Subtotal		7,06	-	0,01
Totales		9,41	992,92	948,47

PE = Producción de estiércol (t/d) MS = Masa seca (t/d) MV = Masa volátil (t/d)
 BM = Volumen biomasa (t/d) DQO = Demanda química de oxígeno

Siguiente Anterior Cancelar Ayuda Ver gráficos

Figura 7-2: Resumen disponibilidad de biomasa

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Finalmente, se calculará la masa total disponible entre mezcla de agua-estiércol y desechos-agua es igual:

Ecuación 18-2: Masa total disponible entre mezcla de agua-estiércol y desechos-agua

$$M_{TD} = \sum_{i=1}^n M_{TA} + \sum_{i=1}^n M_{TD}$$

Dónde:

M_{TD} : Volumen de masa disponible total por día (m^3). Es la sumatoria total de todas las especies a ingresar al digestor.

Se determina el volumen del digestor:

$$V_{dg} = M_{DT} + TRH$$

Donde:

V_{dg} : Volumen del digestor (m^3)

M_{DT} : Volumen de masa disponible total ($\frac{m^3}{d}$)

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días)

Dimensionamiento de biodigestor	
Volúmen total de biomasa	9,41 (t/día)
Masa seca de la mezcla (MS)	992,92 (kg /día)
Masa volátil de la mezcla (MV)	948,47 (kg /día)
Tasa de dilución recomendada	? 10 (%)
Volúmen de agua adicional para mezcla	? 0,00 (m3)
Volúmen total de afluente al digestor	? 9,93 (m3/día)
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	? 39 (días)
Volúmen requerido de biodigestor	? 387,24 (m3)
Margen de seguridad	? 2 (%)
Volúmen seleccionado de biodigestor	394,98 (m3)
Temperatura de proceso	? 30,00 (°C)
Carga orgánica volumétrica	? 2,40 (kg/m3.d)

Buttons: **Siguiente**, Anterior, Cancelar, Ayuda

Figura 8-2: Resultados de dimensionamiento

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Los resultados del software por defecto de la mezcla de estiércol de cuy, Aserrín de madera y el agua potable por defecto nos proporciona el volumen total de biomasa considerando los parámetros que se deben ingresar para un correcto diseño.

Por defecto del software considera obtiene un tiempo de retención hidráulica de 39 días, a pesar de que en la parroquia Huambaló es una zona fría y usando este dato el volumen del digestor que calculo el software es de 394,98; similar al que se calculó, considerando que la temperatura ideal para la digestión es de 35°C es el valor óptimo para cualquier diseño.

Geometría del Biodigestor

Los digestores modernos tienen cubiertas, fijas o flotantes, cuya misión es impedir que escapen olores, conservar la temperatura, evitar la entrada de oxígeno y recoger el gas producido. Pueden estar contruidos de distintos materiales desde una piscina cubierta de HDPE geomembrana, concreto hasta acero inoxidable. (Varnero, 2011, pp 28-43); el software contiene esta opciones de las cuales por las ventajas y desventajas de los materiales como en el caso del acero, tiende a oxidarse

y su costo es elevado, la geomembrana permite un buen contacto con los microorganismos, pero puede sufrir daños por el ambiente, el hormigón es costoso pero su durabilidad es de 15 años y se puede retocar, por estas razones se escogió el de Hormigón, considerando que los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular, aunque la mayor parte de los tanques que se construyen en la actualidad son cilíndricos; por estas razones se escogió de forma cilíndrica y sobre tierra, para controlar las condiciones ambientales.

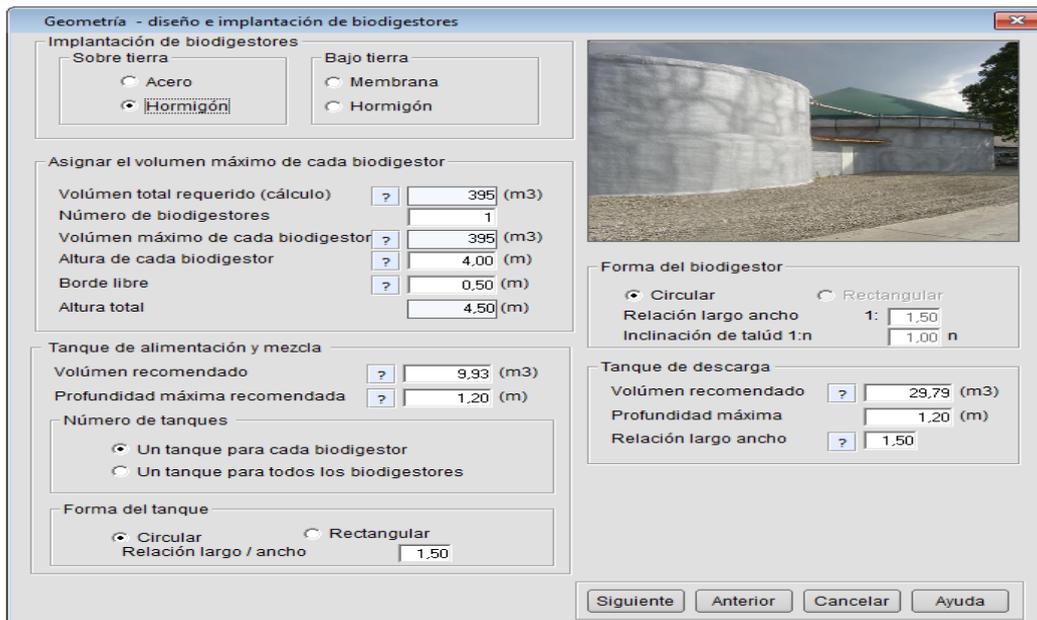


Figura 9-2: Geometría diseño e implementación de biodigestores
Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Volumen del Biodigestor

Por defecto del software considera obtiene un tiempo de retención hidráulica de 39 días, a pesar de que en la parroquia Huambaló es una zona fría y usando este dato el volumen del digestor que calculo el software es de $394,98 \sim 395 \text{ m}^3$, como se observa en la **Figura 10-2** similar al que se calculó en la **Ecuación 3-2** considerando, la temperatura de la parroquia y el tiempo de retención.

Por defecto la geometría para el diseño escogida fue de Hormigo sobre tierra

Considerando que la forma del taque va hacer circular, al igual que el del biodigestor,

El procedimiento de cálculo solo se realiza ingresando la altura, longitud, área

Ecuación 19-2: Procedimiento de cálculo solo se realiza ingresando la altura, longitud, área

$$A = H * f_A$$

Dónde:

A: Ancho máximo (m).

H: Altura (m).

f_A : Factor cálculo ancho.

Cálculo de la longitud máxima

$$L2 = H * f_{L2}$$

Dónde:

L2: Longitud máximo (m).

H: Altura (m).

f_{L2} : Factor cálculo longitud.

Ancho de la base

$$a = A - (H * f_R * 2)$$

Dónde:

a: Ancho base (m).

A: Ancho máximo (m).

H: Altura (m).

f_R : Factor cálculo ángulo.

Longitud de la base

$$L1 = L2 - (H * f_R * 2)$$

Dónde:

L1: Longitud base (m).

L2: Longitud máximo (m).

H: Altura (m).

f_R : Factor cálculo ángulo.

Área de la base

$$A1 = a * L1$$

Dónde:

$A1$: Área base (m^2).

a : Ancho base (m).

$L1$: Longitud base (m).

Área Superior

$$A2 = A * L2$$

Dónde:

$A2$: Área máxima (m^2).

A : Ancho máximo (m).

$L2$: Longitud máxima (m).

Volumen biodigestor

Ecuación 20-2: Volumen biodigestor

$$V_{DgFD} = \left(\frac{H}{3}\right) x (A1 + A2 + \sqrt{A1x A2})$$

Donde:

V_{DgFD} : Volumen del digestor (m^3)

$A1$: área máxima (m^2)

$A2$: ancho máximo (m)

H : Altura (m)

Diseño de piletas de carga y descarga

$$V_{PM} = a l_1 x a_1 x l g_1$$

Donde:

V_{PM} : volumen de la pileta de mezcla (m^3)

al_1 : Altura de la pileta de mezcla (m)

a_1 : Ancho de la pileta de mezcla (m)

gl_1 : Largo de la pileta de mezcla (m)

$$A_m = a_1 \times lg_1$$

Donde:

A_m : Área base de la pileta (m^2)

a_1 : Ancho de la pileta de mezcla (m)

lg_1 : Largo de la pileta de mezcla (m)

Pileta de descarga

$$V_{PD} = D \times M_{DT}$$

Donde:

V_{PD} : Volumen de la pileta de descarga (m^3)

D : Días de retención (días)

M_{DT} : Volumen de masa disponible total ($m^3/\text{día}$)

$$V_{PD1} = al_2 \times a_2 \times lg_2$$

Donde:

V_{PD1} : Volumen de la pileta de mezcla de descarga (m^3)

al_1 : Altura de la pileta de descarga (m)

a_1 : Ancho de la pileta de descarga (m)

gl_1 : Largo de la pileta de descarga (m)

$$A_A = a_2 \times l_{g_2}$$

Donde:

A_A : Área de la base del afluente (m²)

a_2 : Ancho de la pileta de descarga (m)

l_{g_2} : Largo de la pileta de descarga (m)

The screenshot shows a software window titled "Resumen de obras y equipos" with two data tables. The first table, "Resumen estructuras", lists construction items with their quantities and dimensions. The second table, "Características equipo electromecánico", lists mechanical equipment with their quantities and capacities.

Resumen estructuras							
Descripción	Cantidad	Diametro(m)	Altura(m)	Largo(m)	Ancho(m)	Vol. unit. (m3)	Vol. total (m3)
Tanques de alimentación	1	3,24	1,20	-	-	9,89	9,89
Biodigestores	1	10,54	4,50	-	-	393	393,00
Tanque de descarga	1	-	1,20	6,09	4,06	29,67	29,67
Lecho de secado de lodos	1	-	0,50	5,07	3,38	8,57	(m2)

Características equipo electromecánico			
Descripción	Cantidad	Capacidad	Unidades
Filtro de remoción H2S	1	18	(m3/h)
Generador	1	29	(kW)
Quemador de biogás	1	18	(m3/h)
Agitadores por biodigestor	1	3,9	(kW)
Sistema de calefacción	1	4,7	(kW)
Mezclador tanque alimentación	1	0,5	(kW)

Figura 10-2: Resumen de obras y equipos

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

El software calcula automáticamente los parámetros de altura, largo, ancho y el área para obtener los volúmenes unitarios y totales, por esta razón se debe ingresar los datos de biomasa y excretas, al igual las temperaturas para que se genere la información.

2.4.2. Costo de materiales

Precios unitarios de materiales de construcción		
Excavación	11,30	(US\$/m3)
Hormigón armado (250 kg/cm2)	95,01	(US\$/m3)
Hormigón simple (110 kg/cm2)	81,37	(US\$/m3)
Hierro estructural	1,05	(US\$/kg)
Encofrado	10,85	(US\$/m2)
Enlucido	9,73	(US\$/m2)
Aislante biodigestor sobre tierra	14,76	(US\$/m2)
Vigas de madera soporte membrana	10,43	(US\$/unidad)
Membrana HDPE fondo	3,40	(US\$/m2)
Membrana EPDM cubierta	10,00	(US\$/m2)
Válvulas de seguridad y control	1500,00	(US\$/global)
Pernos y anclajes para sujetar la membrana	8,00	(US\$/m)
Sistema de calefacción	8000,00	(US\$/global)
Tuberías captación de biogas	35,00	(US/m)
Tuberías de descarte lodos	24,76	(US/m)
Tuberías de alimentación y descarga	18,22	(US\$/m)
Accesorios tuberías, incluye valvulas cierre	33,00	(US\$/m.tubería)
Bomba o sistema de alimentación BD s.t.	7000,00	(US\$/unidad)
Acero tanques-biigestores	200,00	(US\$/m2)
Agitadores biodigestor	12000,00	(US\$/unidad)
Sistema de control de proceso	5000,00	(US\$/global)
Instalación eléctrica y tableros	9000,00	(US\$/global)
Agitador tanque de mezcla	4000,00	(US\$/unidad)
Ladrillo sobrepuestos lecho de secado de	35,00	(US\$/m3)
Arena medio filtrante lecho de secado de lodos	45,00	(US\$/m3)
Grava medio filtrante lecho de secado de lodos	50,00	(US\$/m3)
Bombas recirculación o descarga	3000	(US\$/unidad)
Tubería de drenaje lecho de secado de lodos	15,00	(US\$/m)
Hierro por m3 de hormigón	60,00	(Kg/m3)

Precios referenciales generadores			
kW	USD	kW	USD
20	2200,00	250	18000,00
40	5401,00	300	19400,00
70	5589,00	350	19893,00
150	7000,00	500	25000,00
200	16941,00	1000	60000,00
Precio seleccionado			3000,25 (US\$/unidad)

Precios referenciales filtros biologicos de remoción H2S			
m3/h	USD	m3/h	USD
10	10790,03	75	45000,00
20	12370,36	100	60000,00
50	14120,14	150	75000,00
Precio seleccionado			11738,23 (US\$/unidad)

Precios referenciales quemadores de biogas			
m3/h	USD	m3/h	USD
10	5000,00	75	16000,00
20	5000,00	100	20000,00
50	12000,00	150	23000
Precio seleccionado			5000 (US\$/unidad)

Ingresar símbolo de moneda	\$
----------------------------	----

Figura 11-2: Costos de construcción

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

El costo de los materiales fue modificado, ya que el software ya viene establecidos valores referenciales, por esta razón se investigó los costos reales de los materiales para el diseño del biodigestor del cual se ve reflejado una reducción en la inversión de lo real que lo referencial.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS, DISCUSIÓN Y ANÁLISIS

3.1. Obtención de metano

3.1.1. *Corrida para el estiércol de cuy, aserrín de madera y agua*

Tabla 7-3: Sustrato para la alimentación del biodigestor para el estiércol de cuy

<i>Sustrato para la alimentación del biodigestor (EC, AM, A)</i>				
N.º	Animal	PE (t/ d)	MS (Kg/d)	MV (Kg/d)
1	CUYES	1,57	235,26	199,97
Subtotal		1,57	235,26	199,97
N.º	Biomasa	BM (t/ d)	MS (Kg/d)	MV (Kg/d)
1	ASERRÍN	0,78	753,79	744,67
Subtotal		0,78	753,79	744,67
N.º	Aguas residuales	Q (m3/día)		DQO(Kg/d)
1	Agua de consumo	7,06		0,01
Subtotal		7,06	-	0,01
Totales		9,41	989,05	944,65

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Nota: (EC: estiércol de cuy, EV: estiércol de vaca, AM: aserrín madera, A: agua)

Con los datos previamente calculados se ingresó en el software una cantidad de 1568,5 kg de estiércol de cuy y de aserrín de 784,2 kg de aserrín de madera, al realizar pruebas en el software se determinó que si colocamos el doble de estiércol de cuy y la mitad de aserrín de madera la producción de metano aumenta considerablemente como se observa en la siguiente tabla 16-3.

3.1.2. *Corrida para el estiércol de vaca, aserrín de madera y agua*

Tabla 8-3: Sustrato para la alimentación del biodigestor para el estiércol de vaca

Resumen de sustrato para la alimentación del biodigestor (EV, AM, A)				
N.º	Animal	PE (t/ d)	MS (Kg/d)	MV (Kg/d)
1	VACAS LECHERAS	0,79	63,48	52,68
Subtotal		0,79	63,48	52,68
Nº	Biomasa	BM (t/ d)	MS (Kg/d)	MV (Kg/d)
1	ASERRÍN	0,78	753,79	744,67
Subtotal		0,78	753,79	744,67
N.º	Aguas residuales	Q (m3/día)		DQO(Kg/d)
1	Agua de consumo	7,06		0,01
Subtotal		7,06	-	0,01
Totales		8,63	817,27	797,36

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Con los datos de la Biomasa de aserrín de madera y el caudal del agua manteniéndose fijo, cambiando el tipo de animal (vacas lecheras), se va a comparar si aumenta o reduce significativamente la producción de metano

De la cual cabe destacar que la eficiencia energética es del 65%, a pesar de utilizar residuos pocos usados para la generación de metano como es el aserrín de madera, al contener mayor contenido de carbono que nitrógeno, es necesaria; a pesar de que se utiliza cantidades iguales de estiércol de vaca y se aserrín de madera, considerando que el software utiliza volúmenes grandes para el diseño de biodigestores.

El rendimiento en biogás, es decir, el volumen producido por unidad de material potencialmente digerible también es muy variable; de acuerdo con lo establecido de la cantidad de metano, acorde a la biomasa usada. (Jarabo, 2003)

Tabla 3-3: Producción de biogás y energía (Estiércol de cuy, vaca, aserrín y agua)

Producción de biogás y energía (EC, AM, A)		
	m ³ (día)	m ³ (año)
producción de biogás:	431,39	157.457
Producción de Biol.	8.562	3.125
Producción de metano:	235,80	86.067

Producción de biogás y energía (EV, AM, A)		
	m ³ (día)	m ³ (año)
producción de biogás:	378,90	138.299
Producción de Biol.	7.526	2.747
Producción de metano:	202,33	73.850

Elaborado por: Torres Ana, 2019
Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Nota: (EC: estiércol de cuy, EV: estiércol de vaca, AM: aserrín madera, A: agua)

Considerando que el estiércol de cuy fue el doble en relación a la biomasa que fue el aserrín y el estiércol de vaca fue una proporción igual con el aserrín, la producción de biogás no difiere considerablemente, a pesar de ser distintos sustratos para una digestión anaeróbica se puede considerar el uso de estos para una considerable producción de metano.

Tabla 4-3: Equivalencias del CO₂ para (EC, EV, AM, A).

Equivalencias CO ₂ (EC, AM, A)		
Toneladas equivalentes CO ₂ :	1.302	(t.CO ₂ /año)
Potencia a instalar:	29	(kWel)
Potencia calorífica:	54	(kW)
Producción de electricidad:	254.478	(kWh/año)

Tabla 10: Equivalencias CO ₂ (EV, AM, A)		
Toneladas equivalentes CO ₂ :	1.155,00	(t.CO/año)
Potencia a instalar:	25	(kWel)
Potencia calorífica:	46	(kW)
Producción de electricidad:	218.453	(kWh/año)

Elaborado por: Torres Ana, 2019
Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

En el biodigestor la relación de CO₂ debe estar entre el 30-40% de volumen en relación con los otros gases que intervienen en el proceso, por esta razón se hace una equivalencia entre la cantidad de metano y la de CO₂ para ver si cumple con los parámetros; considerando que la producción eléctrica mensual es de 21206,5 (kWh/mes) para el EC y 18204,4 (kWh/mes) para el EV, es alta considerando que en la aserrería Muebles “Mario” se consume eléctrico alrededor de 2727 (kWh/año); como se observa en el anexo I; haciendo la comparación del biogás producido con el estiércol de cuy, aserrín y agua y la otra corrida con estiércol de vaca, aserrín de madera, el costo para esa aserrería sería cero; a pesar de tener una tarifa reducida por ser una industria artesanal.

Tabla 5-3: Producción específica de CH₄ (Nm₃).

Producción específica CH ₄ (Nm ₃) (EC, AM, A)			Producción específica CH ₄ (Nm ₃) (EV, AM, A)		
Por m3 de biodigestor	0,60	(m ³ /día)	Por m3 de biodigestor	0,59	(m ³ /día)
Por m3 de biomasa	25,06	(m ³ /m ³)	Por m3 de biomasa	23,44	(m ³ /m ³)
Por Kg. masa seca	0,24	(m ³ /kg.MS)	Por Kg. masa seca	0,25	(m ³ /kg.MS)
Por Kg. masa volátil	0,25	(m ³ /kg.MV)	Por Kg. masa volátil	0,25	(m ³ /kg.MV)

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Considerando que la cantidad de materia seca y la materia volátil del aserrín de madera y los otros sustratos que intervienen en la producción de metano, como podemos apreciar que la producción de biogás en términos ideales excede por mucho a la cantidad necesaria para el consumo en la aserrería Muebles “Mario”.

Tabla 6-3: Estimación de producción de biogás y CO₂ , producción específica CH₄ (Nm₃)

Estimación de producción de biogás y CO ₂ Producción específica CH ₄ (Nm ₃) (EC, AM, A)			Estimación de producción de biogás y CO ₂ Producción específica CH ₄ (Nm ₃) (EV, AM, A)		
Eficiencia de remoción MV	67,99	(%)	Eficiencia de remoción MV	67,99	(%)
Porcentaje de metano en biogás	54,65	(%)	Porcentaje de metano en biogás	53,4	(%)
Producción de metano CH ₄	62	(t/año)	Producción de metano CH ₄	55	(t/año)
Toneladas equivalentes de CO ₂	1302,00	(t/año)	Toneladas equivalentes de CO ₂	1155,00	(t/año)
Eficiencia calorífica del sistema de generación	65	(%)	Eficiencia calorífica del sistema de generación	65	(%)

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Con lo establecido el porcentaje de metano 50 – 70% metano (CH₄), y entre el 30 – 40% dióxido de carbono (Gutierrez, 2007); en el caso del Estiércol de cuy y el estiércol de vaca, cada uno mezclados con el aserrín de madera y el agua cumplen con los porcentajes establecidos como se observa en las tablas con el 54,64 % de (EC, AM, A) y el 53,4 de (EV, AM, A), para el casi del CO₂ , su equivalencia es baja en comparación con el metano producido en un año y considerando también la existencia de otros gases sería menor al 5%.

Tabla 7-3: Producción de fertilizante orgánico.

Producción de fertilizante orgánico (EC, AM, A)		
	(kg/día)	(t/año)
Producción de lodo seco	686,39	251
Volumen total de fertilizante orgánico	1507,7	3.376

Producción de fertilizante orgánico (EV, AM, A)		
	(kg/día)	(t/año)
Producción de lodo seco	561,80	205
Volumen total de fertilizante orgánico	8,088	2.952

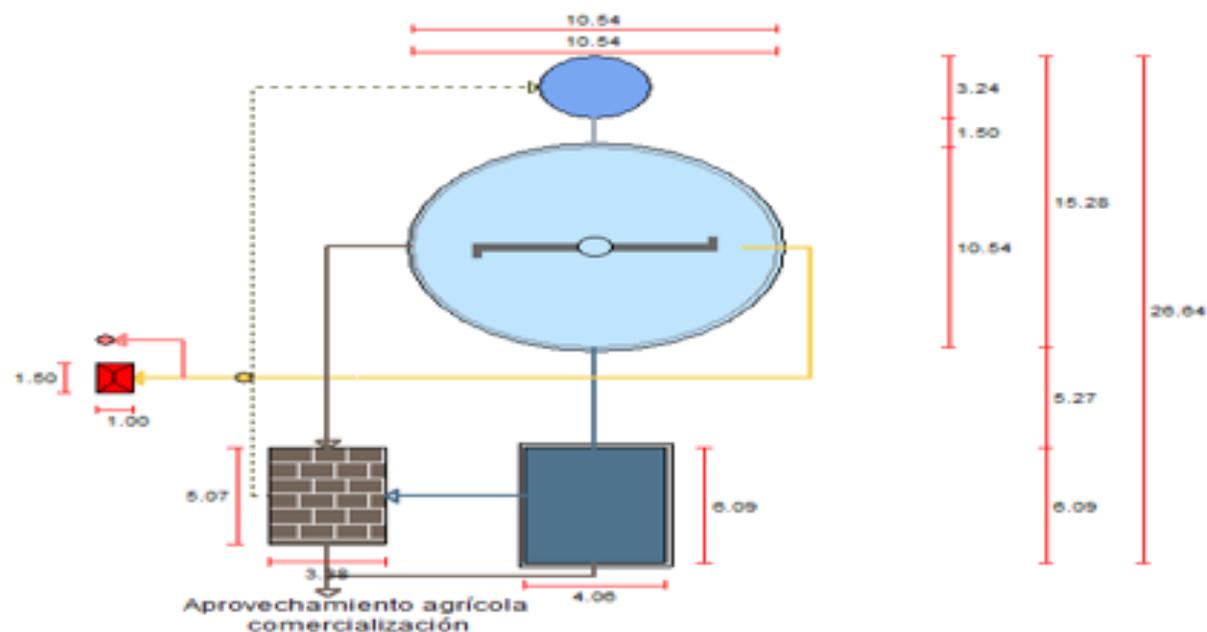
Elaborado por: Torres Ana, 2019

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Al considerar que en el biodigestor no sólo vamos a obtener metano, CO₂ y otros gases, uno de los residuos es el bioabono o fertilizante orgánico, la cantidad inicial que se introdujo de las dos mezclas para su diseño es considerable por lo que el volumen que se obtiene tanto para el estiércol de cuy con la mezcla de aserrín y agua es 3376 t/año de los cuales según el costo en el mercado de 40 kg esta alrededor de 9 dólares, en base a los datos de las tablas se podría comercializar 56 kg de fertilizante 14 dólares el precio de venta, al ser el software completo no genera los planos de acuerdo a los datos para su diseño como se observa a continuación.

Planos del Biodigestor

IMPLANTACION PLANTA DE BIOGAS



NOTAS:

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- a) Por aprobar
- b) Por calificar
- c) Por certificar

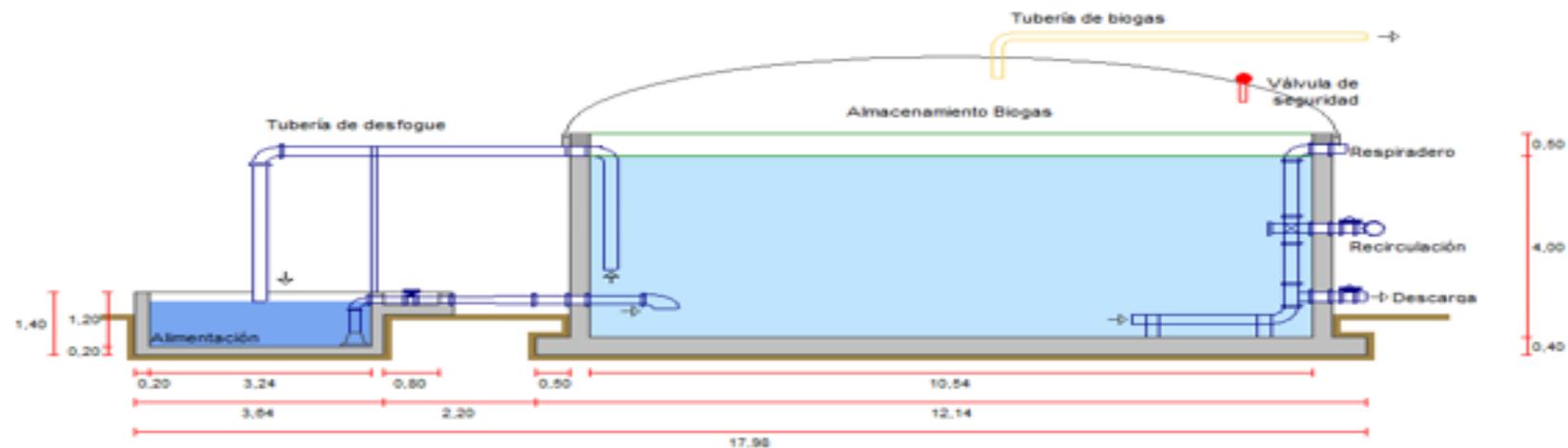
ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
INGENIERÍA BIOTECNOLOGÍA
AMBIENTAL

REALIZADO POR:
ANA GABRIELA TORRES

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR
ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE
METANO A PARTIR DE RESIDUOS
LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA
MADERERA Y ASERRERÍAS.

TUTOR: ING. JUAN CARLOS
GONZÁLEZ

ESCALA	FECHA	LAMINA
1:100	1:100	1/6



NOTAS:

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- d) Por aprobar
- e) Por calificar
- f) Por certificar

ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
INGENIERÍA BIOTECNOLOGÍA
AMBIENTAL

REALIZADO POR:
ANA GABRIELA TORRES

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR
ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE
METANO A PARTIR DE RESIDUOS
LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA
MADERERA Y ASERRERÍAS.

TUTOR: ING. JUAN CARLOS
GONZÁLEZ

ESCALA

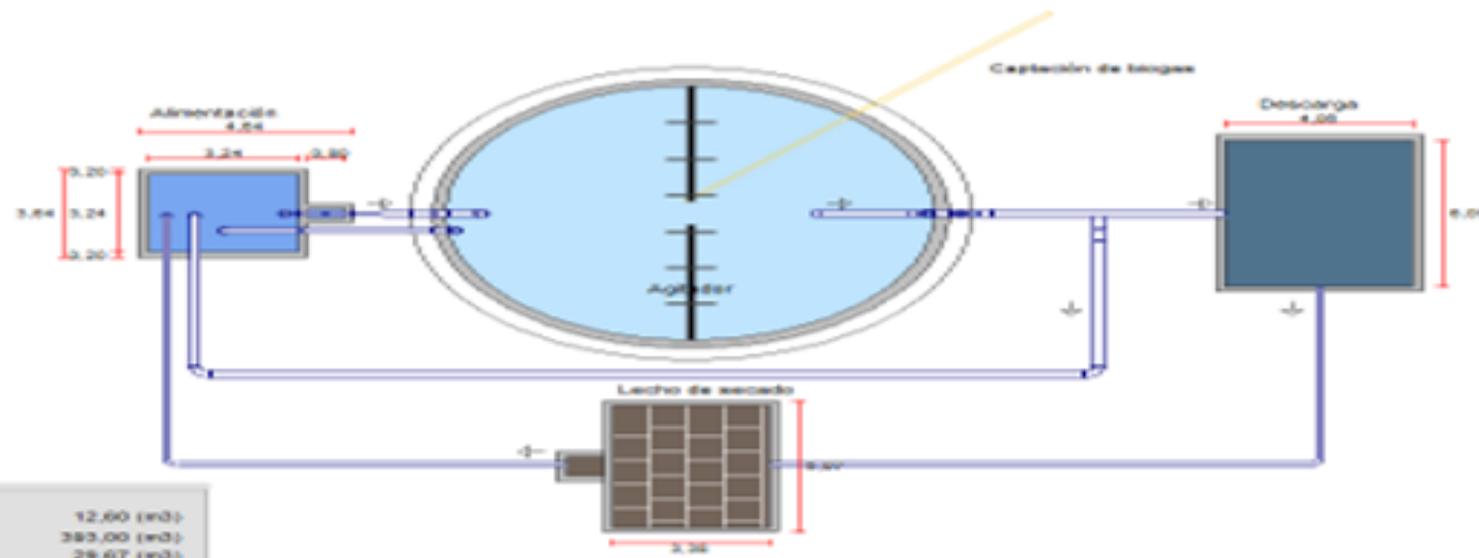
1:100

FECHA

1:100

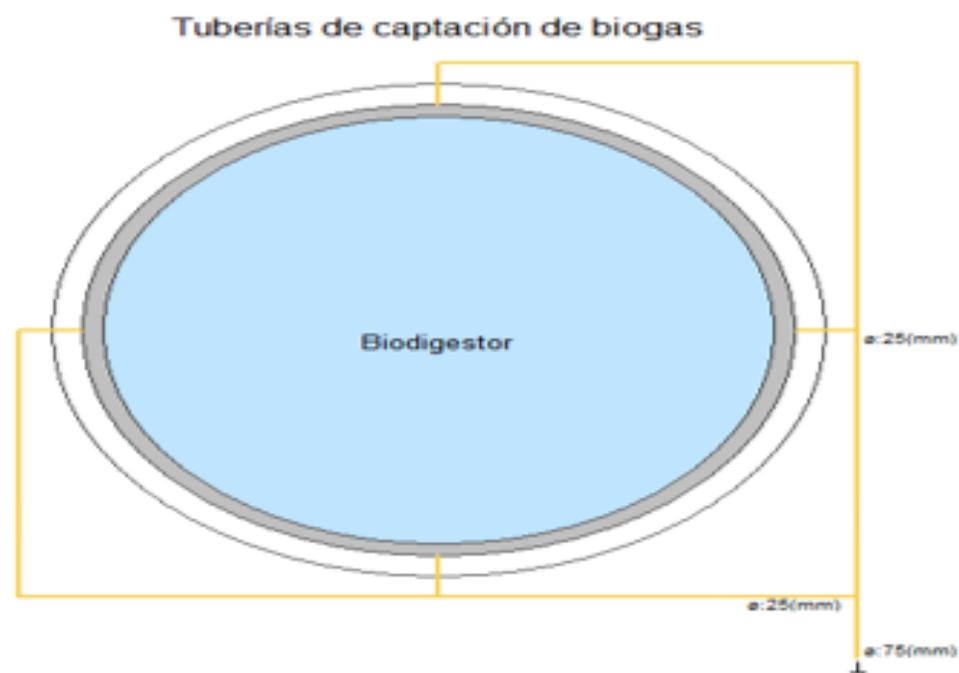
LAMINA

2/6

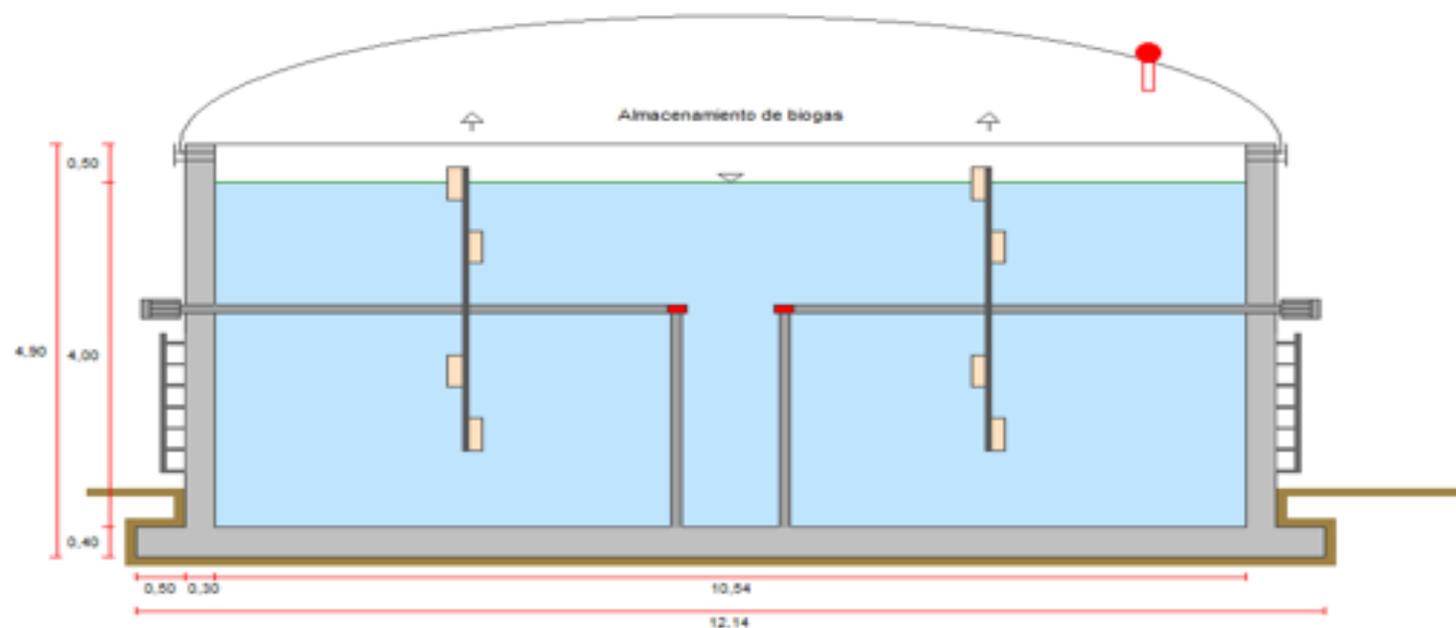


Volúmenes	
Alimentación	12,60 (m ³)
Biodigestor	393,00 (m ³)
Descarga	29,67 (m ³)
Lecho de secado	17,14 (m ²)

NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA g) Por aprobar h) Por calificar i) Por certificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL REALIZADO POR: ANA GABRIELA TORRES	DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA MADERERA Y ASERRERÍAS.		
			ESCALA 1:100	FECHA 1:100	LAMINA 3/6
TUTOR: ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ					



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA j) Por aprobar k) Por calificar l) Por certificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL REALIZADO POR: ANA GABRIELA TORRES	DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA MADERERA Y ASERRERÍAS.		
TUTOR: ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ			ESCALA	FECHA	LAMINA
			1:100	1:100	4/6



NOTAS:

TUTOR: ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ

CATEGORÍA DEL DIAGRAMA

- m) Por aprobar
- n) Por calificar
- o) Por certificar

ESCUELA SUPERIOR
POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
INGENIERÍA BIOTECNOLOGÍA
AMBIENTAL

REALIZADO POR:
ANA GABRIELA TORRES

DISEÑO DE UN BIODIGESTOR
ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE
METANO A PARTIR DE RESIDUOS
LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA
MADERERA Y ASERRERÍAS.

ESCALA

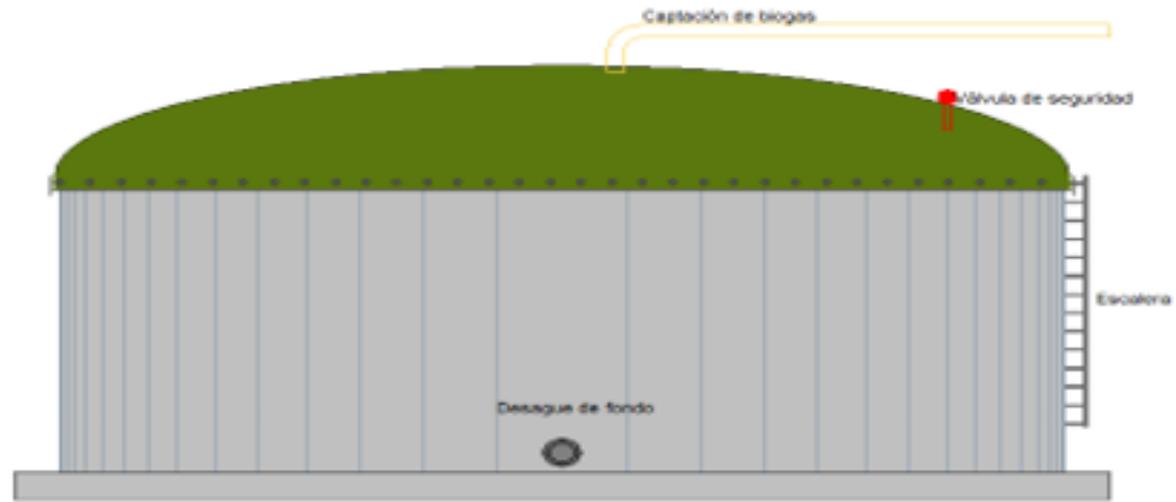
FECHA

LAMINA

1:100

1:100

5/6



NOTAS:	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA p) Por aprobar q) Por calificar r) Por certificar	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS INGENIERÍA BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL REALIZADO POR: ANA GABRIELA TORRES	DISEÑO DE UN BIODIGESTOR ANAERÓBICO PARA LA OBTENCIÓN DE METANO A PARTIR DE RESIDUOS LIGNOCELULÓSICOS DE LA INDUSTRIA MADERERA Y ASERRERÍAS.			
TUTOR: ING. JUAN CARLOS GONZÁLEZ			ESCALA	FECHA	LAMINA	1:100

3.2. Análisis de Costos

Al ser un diseño de un biodigestor y tomando como punto de partida los datos que nos suministra el software es necesario realizar el análisis de costos y sus componentes para identificar si es factible o no la implementación futura de este diseño de biodigestor.

Presupuesto tanque de alimentación y mezcla				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Excavación	m3	15	11	170
Hormigón armado	m3	5	95	475
Acero de refuerzo para hormigón	m3	300	1	315
Encofrado	kg	27	11	293
Enlucido	m2	33	10	321
Mezclador tanque de alimentación	unidad	1	4.000	4.000
Costos estimados de construcción			\$	5.574

Presupuesto tanque de descarga				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Excavación	m3	33	11	373
Geomembrana HDPE	m2	74	3	252
Bombas extracción lodos del fondo	unidad	1	3.000	3.000
Costos estimados de construcción			\$	3.625

Figura 1-3: Presupuesto tanque de alimentación y mezcla
Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Presupuesto lecho de secado de lodos				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Excavación	m3	10	11	113
Ladrillo muros	m3	2	35	70
Tuberías de drenaje	m3	3	15	45
Grava para filtro	m3	5	50	250
Arena para filtro	m3	2	45	90
Ladrillo sobrepuesto filtro	m3	2	35	70
Tuberías de alimentación	m	10	18	182
Bombas y/o sistema de recirculación	unidad	1	3.000	3.000
Costos estimados de construcción			\$	3.820

Presupuesto estimado de construcción toda la planta de biogas				
Descripción	Unidades	Cantidad	Pr.U.\$	\$
Tanque de alimentación	unidad	1	5.574	5.574
Biodigestor	unidad	1	73.204	73.204
Tanque de descarga	unidad	1	3.625	3.625
Lecho de secado de lodos	unidad	1	3.820	3.820
Filtro de remoción de H2S: 18 (m3/h)	unidad	1	11.738	11.738
Quemador de biogas: 18 (m3/h)	unidad	1	5.000	5.000
Generador: 29 (kW)	unidad	1	3.000	3.000
Exteriores (jardinería, accesos, seguridades, etc.)	global	2,0	-	2.119
Costos estimados de construcción			\$	108.080
Costo por kW instalado			\$ /kW	3.727

Figura 2-3: Presupuesto lecho de secado de lodos
Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Análisis costo-beneficio planta de biogás (Datos básicos)		
Potencia instalada generador	29	(kW)
Generación de energía eléctrica	254.478	kWh/año)
Costos de inversión		\$
Digestores, tanques de alimentación y descarga		35.842
Equipo electromecánico		52.500
Filtro de remoción de H2S: 18 (m3/h)		11.738
Generador: 29 (kW)		3.000
Quemador de biogás: 18 (m3/h)		5.000
Costo total del proyecto	\$	108.080

Figura 3-3: Análisis de costo-beneficio planta de biogás (Datos básicos)
Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Con el detalle de los costos del reporte que nos proporciona el software BioDigestor-pro se puede visualizar una propuesta del costo para el futuro diseño del Biodigestor en la parroquia Huambaló. Considerando que el volumen total del biodigestor es de 393 m³, capaz de albergar tanto metano, CO₂, otros gases, y además como un subproducto el bioabono, es capaz de satisfacer las necesidades energéticas para la aserrería Muebles “Mario”. Se propone que a la asociación de productores y/o el GAD parroquial Huambaló la posible construcción del mismo, de acuerdo a análisis económicos realizados con el valor de 108080 dólares, donde se tratara los residuos de las aserrerías desde la fuente considerando los parámetros establecidos y/o los tratamientos previos del aserrín de madera ya que este sería alimento y el principal residuo a tratar en el biodigestor.

3.2.1. Valor actual neto

Para poder realizar una correlación entre el costo de construcción del biodigestor y los beneficios obtenidos es importante calcular primero el Valor Actual Neto, en donde se prevé los ingresos obtenidos durante los próximos cinco años, y traerlos a valor actual, para poder lograr este fin, se procede a calcular la tasa de rendimiento media. (MACAS, 2018. pp. 63-66.).

Con los valores de la inversión total, costo de operación con se ve en la imagen 17-3: y los ingresos en la imagen 18-3:

Egresos anuales			
Costos de depreciación	\$	Depr. %	\$/año
Digestores, tanques de alimentación y descarga	35.842	5,00	1.792
Equipo electromecánico	52.500	15,00	7.875
Filtro de remoción H2S	11.738	10,00	1.174
Generador	3.000	15,00	450
Quemador de biogás	5.000	10,00	500
Suma de costos por depreciación	\$		11.791
Costos por operación y mantenimiento	\$	R&M %	\$/año
Digestores, tanques de alimentación y descarga	35.842	3,00	1.075
Equipo electromecánico	52.500	6,00	3.150
Filtro de remoción de H2S: 18 (m3/h)	11.738	5,00	587
Generador: 29 (kW)	3.000	10,00	300
Quemador de biogás: 18 (m3/h)	5.000	5,00	250
Suma de costos por reparaciones y mantenimiento	\$		5.362

Figura 4-3: Egresos anuales

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Cont. egresos anuales			
Costos de personal (operarios)			\$/año
Sueldos y salarios			15000
Cargas sociales (%)	50,00		7.500,0
Suma costos de personal	\$		22.500
Costos de biomasa			\$/año
Compra de biomasa			0,00
Adecuación - acondicionamiento (%)	50		0
Suma de costos de biomasa	\$		0
Otros costos		\$/año	\$/año
Financieros - intereses	10,00		10.808
Imprevistos	1,00		1.081
Costos de conexión a la red (venta de energía eléctrica)	2,00		2.162
Seguros	2,00		2.162
Suma de otros costos	\$		16.213

Figura 5-3: Cont. Egresos anuales

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

En base a la imagen se realizó sumo todos los costos para tener el costo de operación de 38713 dólares el cual usaremos para el cálculo de flujo de ingresos esperados.

Ingresos anuales			
Energía eléctrica	kWh/año	\$/kWh	\$/año
Venta de energía eléctrica	254.478	0,073	18.577
Fertilizante	t/año	\$/t	\$/año
Comercialización bioabono - fertilizante orgánico	3.376	14,00	47.264
Bonos de carbono CERS	tCO2/año	\$/t	\$/año
Comercialización de bonos de carbono CERS	1.302	11,00	14.322
Suma total de ingresos anuales		\$	80.163

Figura 6-3: Ingresos anuales

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

3.2.2. Tasa de rendimiento media

La tasa de rendimiento media es aquella que calcula en un año la utilidad que se obtiene de la inversión promedio, para lo cual se considera factores como una inflación del 0,52% (INEC, 2019,

pp.6) según proyecciones del Banco Central y una tasa de interés del mercado actual del 8,36% (Banco Central del Ecuador, 2019), y se la aplica mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 1-3: Tasa de rendimiento media

$$TRM = (1 + VR)(1 + inflación) - 1$$

$$TRM = (1 + 8,36\%)(1 + 0,52\%) - 1$$

$$TRM = 8,92\%$$

Se procede a calcular los flujos de ingresos de los años 2, 3, 4 y 5, en base a una inflación del 5% valores que se expresan en la siguiente tabla

Tabla de flujo de ingresos esperados al 5% de incremento de precios en el tiempo, para es estiércol de cuy, aserrín de madera y agua

Tabla 8-3: Flujo de ingresos esperados al 5%, para es estiércol de cuy, aserrín y agua

AÑO	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	108080	0	0	0	0	0
COSTO DE OPERACIÓN	0	-38713	-38713	-38713	-38713	-38713
INGRESOS	0	80163	84171,15	88379,7075	92798,6929	97438,6275
UTILIDAD	0	41450	45458,15	49666,7075	54085,6929	58725,6275

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Una vez calculados los flujos futuros de efectivo por la venta de fertilizante y biogás, se traen estos valores a tiempo presente, mediante el siguiente cálculo:

3.2.3. Valor actual Neto en cinco periodos

El valor actual neto es el procedimiento que permite calcular el valor presente de los 5 periodos de flujos de efectivo futuros, originados por una inversión.

Tabla 9-3: Valor actual neto

VAN>1	La inversión produce ganancias	El proyecto se debe ejecutar
VAN<1	La inversión produce perdidas	El proyecto no se debe realizar
VAN =1	No produce perdidas ni ganancias	El proyecto se debe revisar

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Ecuación 2-3: Valor actual neto

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^{\infty N} \frac{F_i}{(1+r)^i}$$

$$VAN = -108080 + 38062,4426 + 38331,5162 + 38457,5605 + 38456,5994 + 38343,1923$$

$$VAN = 83571,311$$

Considerando que el VAN es de 83571,33 y es mayor que cero; por lo tanto, es viable, dado que si fuera menor que cero no se aceptaría dada las condiciones mencionadas anteriormente.

Tabla 10-3: Flujo de ingresos esperados al 5%, para es estiércol de vaca, aserrín y agua.

AÑO	0	1	2	3	4	5
INVERSIÓN	105004	0	0	0	0	0
COSTO DE OPERACIÓN	0	-38250	-38250	-38250	-38250	-38250
INGRESOS	0	69980	73479	77152,95	81010,5975	85061,1274
UTILIDAD	0	31730	35229	38902,95	42760,5975	46811,1274

Elaborado por: Torres Ana, 2019

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^{\infty N} \frac{F_i}{(1+r)^i}$$

$$VAN = -105004 + 29136,8228 + 29706,0259 + 30123,0467 + 30404,1066 + 30563,9656$$

$$VAN = 44929,9676$$

Considerando que el VAN es de 44929,9676 y es mayor que cero; por lo tanto, es viable, dado que si fuera menor que cero no se aceptaría dada las condiciones mencionadas anteriormente.

3.2.4. Cálculo del costo de oportunidad

Todo proyecto de inversión pretende generar una ganancia que supere la inversión inicial, para calcular dicho valor se consideran los siguientes aspectos:

Tabla 11-3: Datos para el costo de oportunidad.

Inflación:	Se considera la indicada por el Banco Central del Ecuador que es del 0,52%.
Tasa activa:	Que es la tasa de mercado promedio cobrada por el sistema financiero, en este caso se tomó una tasa del 8,36%
Rentabilidad:	Es el porcentaje que el inversionista pretende obtener al colocar su dinero en un proyecto, en este caso se pretende un 15% de ganancias

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Estos tres valores dan como resultado el costo de oportunidad

$$\text{Costo de oportunidad} = 0,52 + 8,36 + 15$$

$$\text{Costo de oportunidad} = 23.88\%$$

3.2.5. Tasa interna de retorno (TIR)

Es la tasa de descuento que hace que el valor actual de los flujos de ingresos sea igual a los flujos de egresos. Es decir, es la tasa de rentabilidad del proyecto.

Para poder calcularla se requiere la siguiente ecuación:

Ecuación 21-3: Tasa interna de retorno

$$TIR = Tp + \frac{VANp}{VANp - VANn} * (Tn - Tp)$$

Tabla 12-3: Calculo de la Tasa interna de retorno para el estiércol de cuy, aserrín y agua.

TASA (%)	0	1	2	3	4	5	TIR
8,9	-108080	38062,4426	38331,5162	38457,5605	38456,5994	38343,1923	83571,311
15	-108080	33097,7762	28984,1332	25286,4703	21987,6855	19063,3432	20339,4084
30	-108080	29278,802	22681,3705	17504,5792	13464,7244	10326,9365	-14823,5874
45	-108080	26249,9604	18231,3989	12614,7232	8699,59169	8673,9369	-33610,3889

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Una vez calculado con la tasa de rendimiento media y proyectando a cinco años, vamos a calcular el valor de la tasa interna de retorno.

$$TIR = 15 + \frac{20339,40}{20339,40 - (-14823,58)} * (30 - 15)$$

$$TIR = 70,312 \sim 70 \%$$

Tabla 13-3: Calculo de la tasa interna de retorno para el estiércol de vaca, aserrín y agua.

TASA (%)	0	1	2	3	4	5	TIR
8,9	-105004	29136,8228	29706,0259	30123,0467	30404,1066	30563,9656	44929,9676
15	-105004	25336,3676	22462,0234	19806,3922	17383,6466	15195,6926	-36190,9877
30	-105004	22412,9406	17577,5301	13710,9908	10645,3228	8231,76456	-32425,4511
45	-105004	20094,3605	14128,9065	9880,86326	6877,96936	6914,13242	-47107,7679

Elaborado por: Torres Ana, 2019

$$TIR = 8,9 + \frac{44929,96}{44929,96 - (-36190,987)} * (15 - 8,9)$$

$$TIR = 40,26 \sim 40 \%$$

En comparación con la tasa de oportunidad del 23.88% se observa que la tasa interna de retorno es del 40,26 %, en cinco años por los tanto el proyecto es totalmente viable por cuanto permite recuperar la inversión y obtener utilidades.

Imagen de resumen de egresos, ingresos, y tasa interna de retorno TIR proyectada a un año del software BioDigestor-pro.

Resumen de egresos	
Costos de depreciación	11.791
Costos por operación y mantenimiento	6.346
Costos de personal (operarios)	22.500
Costos de biomasa	0
Otros costos	16.213
Suma de egresos	\$ 56.850
Resumen de ingresos	
Energía eléctrica	18.577
Fertilizante	47.264
Bonos de carbono CERS	14.322
Suma de ingresos	\$ 80.163
Rendimiento anual: Ingresos - Egresos	\$ 23.313
Tasa interna de retorno (TIR)	0,22

Figura 7-3: Resumen de egresos, ingresos y TIR para el estiércol de cuy y aserrín

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Imagen de egresos, ingresos y TIR para el estiércol de vaca, aserrín de madera

Resumen de egresos	
Costos de depreciación	11.637
Costos por operación y mantenimiento	6.192
Costos de personal (operarios)	22.500
Costos de biomasa	0
Otros costos	15.750
Suma de egresos	\$ 56.079
Resumen de ingresos	
Energía eléctrica	15.947
Fertilizante	41.328
Bonos de carbono CERS	12.705
Suma de ingresos	\$ 69.980
Rendimiento anual: Ingresos - Egresos	\$ 13.901
Tasa interna de retorno (TIR)	0,13

Figura 8-3: Resumen de egresos, ingresos y TIR para el estiércol de vaca y aserrín

Fuente: (AQUALIMPIA, 2019)

Al comparar el TIR proyectado a cinco años, con el TIR de que nos reportó el software, tanto para comparar los distintos de sustratos el estiércol de cuy y vaca conjuntamente con el aserrín

Tabla 9-3: Resultados TIR y VAN proyectado a cinco años y TIR del software

Tasa interna de retorno del software (%) del estiércol de cuy, aserrín de madera y agua	Tasa interna de retorno proyectado a cinco años (%) del estiércol de cuy, aserrín de madera y agua
22%	70%
Tasa interna de retorno del software (%) del estiércol de vaca, aserrín de madera y agua	Tasa interna de retorno proyectado a cinco años (%) del estiércol de vaca, aserrín de madera y agua
13%	40%
Valor actual neto proyectado a cinco años del estiércol de cuy, aserrín de madera y agua	Valor actual neto proyectado a cinco años del estiércol de vaca, aserrín de madera y agua
83571,311	44929,96

Elaborado por: Torres Ana, 2019

Al evaluar los resultados obtenidos del TIR que nos proporciona un porcentaje de 22 % al 70% del estiércol de cuy, aserrín de madera y/o del 13% al 40 % del estiércol de vaca con aserrín, tanto actual y en cinco años se dice que se va tener una rentabilidad a lo largo del tiempo si se mantiene las condiciones iniciales para la producción de metano, al igual para el VAN considerando que el valor actual no va hacer el mismo en el futuro, por estas razones se puede implementar este diseño del Biodigestor.

CONCLUSIONES

La recolección de aserrín de madera en siete días fue de 784,2 kg, suficiente materia prima de acuerdo a las necesidades de biomasa para el funcionamiento del biodigestor, considerando que solo se tomó los residuos de una aserrería de la parroquia Huambaló para el Diseño (“Muebles Mario”), al ser un residuo que no tiene utilidad dentro del sector maderero, puede ser usado en su totalidad, minimizando el impacto que tiene en el ambiente.

El proceso de deslignificación se llevó a cabo mediante el uso de sosa caustica al 68% en relación 1:1 en disolución en agua, con residuos previamente triturados con un diámetro máximo de 5 mm para la eliminación de la lignina, dicho proceso que descompone los componentes poliméricos a azúcares monoméricos así aumenta la transformación enzimática, la digestibilidad del residuo para bioconversión microbiana y así obtener un mayor rendimiento como biomasa para la obtención de metano.

Se calcularon las variables de acuerdo a las necesidades para el dimensionamiento: cantidad de agua en función del porcentaje de sólidos totales, tanto del (estiércol de cuy, estiércol de vaca, aserrín de madera y agua), además se definió la temperatura promedio de la parroquia Huambaló como punto de partida para el cálculo del tiempo de retención hidráulica, además se calculó el volumen requerido, volumen de seguridad, balance de masa, balance energético, que posteriormente serán comparados con los que nos proporcionara el software para dicho dimensionamiento.

Mediante el software BioDigestor-pro 3.0 realizaron dos corridas de mezclas de sustratos distintos como: (estiércol de cuy + aserrín de madera + agua) y la otra (estiércol de vaca + aserrín de madera + agua) con objetivo de llegar a las condiciones óptimas para el proceso; se obtuvo mayor producción de metano en la primera mezcla de estiércol de cuy, aserrín de madera, agua en comparación con la segunda mezcla de estiércol de vaca, aserrín de madera, agua, pero la alternativa más viable es la segunda mezcla ya que la cantidad de animales supera los mil para obtener 1568,4 kg de estiércol de cuy que necesitamos como sustratos en cambio en la segunda mezcla la cantidad de animales es 19 para generar 784,2 kg de estiércol de vaca.

RECOMENDACIONES

Se recomienda el uso del software BioDigestor-pro 3.0 ya que permite trabajar con distintos tipos de sustratos, de acuerdo en donde se realice el proyecto la materia prima, el mismo que usa desechos vegetales, lácteos, estiércoles de distintos animales, aceites, entre otros, el mismo software proporciona estos datos por defecto por la amplia gama de opciones que nos proporciona para generar energía limpia abarcando grandes volúmenes de desechos, de manera eficiente y transformándolos en metano.

Se recomienda la construcción del Biodigestor anaeróbica mediante el uso de residuos lignocelulósicos, una vez definidas las condiciones de los parámetros de entrada como: volumen de biomasa, tipo de animal, producción de estiércol, etc., de la misma manera si se va usar agua de tipo doméstico o residual, para tener la mayor eficiencia del equipo para la obtención de metano y/o bioabono aumentar su rentabilidad

Se recomiendo el uso del software para la evaluación del rendimiento de metano con los usos de aguas residuales y aguas de riego por la cantidad de lodos y materia orgánica que puede emplearse en la biodigestión y verificar la eficiencia del proceso con cada uno de ellos de acuerdo a las propiedades tanto física, químicas y biológicas de cada una de ellas para el proceso de digestión de microorganismos anaeróbicos.

Se recomienda actualizar los datos de los costos de materiales de acuerdo al mercado, ya que con ello se tendrá una mejor estimación del costo de construcción, mantenimiento, etc.

Se sugiere el uso de agua lluvia recolectada o el agua de recirculación como alternativa para la construcción, dándole un valor agregado al uso de este tipo de agua en lugar del agua potable.

BIBLIOGRAFÍA

ACEVEDO, Diofanor; R.et al. "Efecto de las variables de proceso sobre la cinética de acidificación, la viabilidad y la sinéresis del suero de leche". *SciELO*, vol. 21, n°2 (2010), (Colombia) pp. 29-36.

ALCUTÉN, Sabio A. "La historia ambiental como puente entre áreas de conocimiento". *Revista de agricultura e historia rural*, n° 26 (2002),(España) pp. 233-244.

ÁLVAREZ GODOY, Esther *Utilización racional de los residuos forestales* [blog]. [Consulta: 19 Agosto 2019]. Recuperado de: <http://www.fao.org/docrep/003/y1237s/y1237s10.htm>

AQUALIMPIA, *Dimensionamiento y diseño de biodigestores y plantas de biogás* [en línea]. Aqualimpia Beratende Ingenieure, 2008. [Consulta: 21 Agosto 2019]. Recuperado de: https://www.academia.edu/25534273/DIMENSIONAMIENTO_DISEÑO_Y_CONSTRUCCIÓN_DE_BIODIGESTORES_Y_PLANTAS_DE_BIOGÁS_MANUAL_PRÁCTICO_DE_DISEÑO

AQUALIMPIA. BioDigester-pro (Versión 3.0) Programa de ordenador. [En línea]. Alemania, 2019. [Consulta: 19 Agosto 2019]. Recuperado de: <https://www.aqualimpia.com/software-biodigestor/>

ARRIETA PALACIOS, Winston Juan Oscar. Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Piura, Perú. 2016. pp. 6-12. [Consulta: 19 Septiembre 2019]. Recuperado de: https://pirhua.udp.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf

BANCO CENTRAL DEL ECUADOR, Tasa de Interés. [En línea]. Quito, Ecuador, 2019. [Consulta: 1 Diciembre 2019]. Recuperado de: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>

CAMAC GOMEZ, Ronald Angel. Influencia de la mezcla de aserrín – cemento en las propiedades de absorción, hinchamiento y a la flexión estática de los tableros de viruela spp [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Centro de Perú, Facultad de Ciencias

Forestales y del Medio Ambiente . Huancayo, Perú 2012. pp . 11-12. [Consulta: 16 Julio 2019]..
Recuperado de: <http://repositorioo.uncp.edu.pbitstream/handle/UNCP/2613/C20Gomez.pdf&>

CHIRIBOGA NOVILLO, Omar Guillermo. Desarrollo del Proceso de Producción de Biogás y Fertilizante Orgánico a partir de Mezclas de Desechos de Procesadoras de frutas. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad San Francisco de Quito, Colegio de Ciencias e Ingeniería, El Politécnico, Quito, Ecuador. 2010. pp. 9. Recuperado de: <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/741/1/96311.pdf>

CONCEPCIÓN, R; et al. "Determinación de los potenciales de aserrín en la ciudad de Guayaquil como materia prima para la producción de diversos surtidos en la industria forestal" .*Holos*, [En línea], 2016, (Ecuador) 32(4), pp. 105-114. ISSN 1807-1600. Recuperado de: <http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/download/4359/1516>.

CORONEL AGUILAR, Julio Cèsar. Diseño y construcción de un reactor tipo batch para el Laboratorio de Operaciones.[En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Internacional SEK, Facultad de Ciencias Ambientales, Quito, Ecuador. 2014. pp. 19. Recuperado de: <http://repositorio.uisek.edu.ec/bitstream/123456789/1006/1/%E2%80%9CDise%C3%B1o%20y%20construcci%C3%B3n%20de%20un%20reactor%20tipo%20batch%2C%20Universidad%20Internacional%20SEK%E2%80%9D.pdf>

CORRALES, C; et al. "Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta.". *Scielo* [En línea], 2015, (Colombia) 13(23), pp. 55-81. [Consulta: 29 Noviembre 2019] .ISSN 1794-2470. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702015000200007

DURÁN GARCÍA, M. "Gasificación del aserrín de pino (*Pinus arizonica*) en un reactor de lecho fluidizado: Análisis de las variables del proceso". *Scielo* [En línea], 2016, (Venezuela) 18(4), pp. 633-650. ISSN 0718-221X. Recuperado de: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-221X2016000400012

FAO. Fuentes de combustibles leñosos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación [En línea]. Roma, Italia, 2011. [Consulta: 8 de Enero de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2007/1000669/index.html>

GADPRHUAMBALÓ, Historia Y Cultura. [blog]. Huambalò: 2015.[Consulta: 19 julio 2019]. Recuperado de: <http://www.huambalo.gob.ec/parroquia/historia-y-cultura.html>

GARRO ALFARO, A. "El Suelo y lo Abono Orgánicos". *Inta* [En línea], 2016, (Costa Rica) 106(4), pp. 1-113. ISBN 978-9968-586-26-9. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>

GONZÁLEZ ESCOBAR, David Mesías, & QUINATOYA CAYAMBE, Fredy Germán. Elaboración de un software para el diseño de biodigestores y validación mediante la construcción y pruebas de un prototipo para el laboratorio de térmicas de la facultad de mecánica - esPOCH. [En línea] (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Escuela de Ingeniería Mecánica, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 3-4. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3144/1/15T00562.pdf>

GRAMAJO MONZÓN, Juan & LÓPEZ ACOSTA, Catriel. Energías renovables: basura forestal convertida en gas metano. [En línea] (Trabajo de titulación). Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ingeniería. Chaco, Argentina. 2009. pp. 2-9. Recuperado de: http://argentinainvestiga.edu.ar/noticia.php?titulo=energias_renovables_basura_forestal_convertida_en_gas_metano&id=363

GUASCH, Nurian; et al. "Caracterización de aserrín de diferentes maderas". *SciELO*, vol.36 no.3 (2016), (Cuba) pp. 395-405.

GUTIERREZ SAAVEDRA, Alexis. *El biogás: alternativa energética emergente*. [blog]. Colombia: Traub Ramos Alfonso, 29 de octubre, 2007. [Consulta: 5 Noviembre 2019]. Recuperado de: <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/articulos/el-biogas-alternativa-energetica-emergente-2>

HILBERT, J. "Manual para la producción de biogás". *I.N.T.A.*, (2003), (Buenos Aires) pp. 30

INCROPERA, F. *Fundamentos de transferencia de calor*. Cuarta edición. México DF.: Prentice hall, 1999. [Consulta: 12 Diciembre 2019]. Recuperado de: https://www.academia.edu/37028342/Fundamentos_de_transferencia_de_calor_Frank_Incropera

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS. Boletín técnico Índices de precios al consumidor. [En línea]. Quito, Ecuador, 2019. [Consulta: 20 Diciembre 2019]. Recuperado de: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/webinec/Inflacion/2019/Noviembre2019/Boletin_tecnico_11-2019-IPC.pdf

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA. Red Hidrometeorológica de Tungurahua. [En línea]. Huambalò, Ecuador, 2019. [Consulta: 13 Julio 2019], Recuperado de: <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/red>

JAKYMEC, Miguel ;et al. "Cinética de la producción de ácido láctico por fermentación sumergida con lactosuero sustrato". *Serbiluz*, vol. 11, n° 1 (2001), (Venezuela) pp. 11.

JARABO, F. Digestión anaeróbica [En línea]. La Laguna, España, 2003. [Consulta: 12 Noviembre 2019]. Recuperado de: https://jarabo.webs.ull.es/Biomasa/Bio04/Bio04_42.htm

LAWRENCE, Ushñahua B.; & QUISPE, Wilfredo. "Desempeño de un biodigestor cargado con lodo séptico y excreta de cuy para la producción de biogas y biol". *U.N.M.S.M*, vol 14, n° 28 (2011), (Perú) pp. 1-12

LESME, Rene ;et al. "Coeficientes de residuos de la industria forestal. Universidad de Oriente", *Tecnología Química*, vol 26, n° 3 (2001), (Cuba) pp. 26-29

MACAS GAONA, Hernán Darío. Diseño e implementación de un biodigestor tipo salchicha en la finca la maravilla en la provincia de Sucumbios cantón Gonzalo Pizarro. [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad de las Américas. Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Quito, Ecuador. 2018. pp. 50. [Consulta: 13 Julio 2019]. Recuperado de: <http://dspace.udla.edu.ec/bitstream/33000/9384/1/UDLA-EC-TTCD-2018-13.pdf>

MAGO, María ;et al. "Propuesta de diseño de una planta de biogas para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor". *Ingeniería UC*, vol 21, n° 2 (2014), (Venezuela) pp. 60-65.

MARTINA, P ; et al. 2005. "Estudio de la producción de biogas en función de la cantidad de residuos de madera en un biodigestor del tipo de carga única o batch". *ASADES*, vol 9 (2005), (Argentina) pp. 23-27

MÉNDEZ MOYA, Patricio Fernando. Propuesta de Producción Limpia para un aserradero PyME de la comuna de Valdivia. [En línea] (Trabajo de Titulación). Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile. 2005. pp. 20. [Consulta: 13 Mayo 2019]. Recuperado de : <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/fifm538p/doc/fifm538p.pdf>

MOLINA, Katherine; et al. "La gestión de los residuos de madera en talleres artesanales de la zona centro andina de Ecuador: Estudio preliminar". *UNIB.E*, vol 15, n°23 (2004), (Ecuador) pp. 23-36

PETROECUADOR. Madera. *Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador* [En línea], Quito, Ecuador, 2016. [Consulta: 13 Enero 2019] Recuperado de: <http://www.petroecuador.gob.ec/compradores/>

POBLETE, Hernàn W. "Inclusion de aserrin en tableros de particulas". *Revistas Electrònicas UACH*, vol 3, n° 1 (1979), (Colombia) pp. 39-46

REYES MEJÌA, Josè Ivàn. Reacción asistida por microondas para la obtención de hidrocarburos a partir de aserrín de madera. [En línea] (Trabajo de titulaciòn). Universidad Central del Ecuador. Facultad de Ciencias Químicas, Quito, Ecuador. 2013. pp. 11. [Consulta: 10 Marzo 2019]. Recuperado de: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/1868/1/T-UCE-0008-02.pdf>

SALAZAR LOOR, Rodger Benjamin. Diseño y simulacion de un sistema de generación eléctrica mediante la utilización de biogas en el cantón quevedo de la provincia de los ríos para el depósito de desechos municipales en el año 2014. [En línea] (Trabajo de titulaciòn). Universidad Estatañ de Quevedo. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Mecànica, Quevedo, Ecuador. 2015. pp. 8-9. [Consulta: 10 Marzo 2019]. Recuperado de: <http://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/850/1/T-UTEQ-0002.pdf>

SENPLADES. Agenda zonal. *Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo* [En línea]. Quito, Ecuador, 2015. [Consulta: 28 Julio 2019]. Recuperado de: <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/>

SERRET, Nurian S; et al. "Caracterización de aserrín de diferentes maderas". *Scielo*, vol 36, n°3 (2016), (Cuba) pp. 395-405.

SEVERICHE, Carlos A.; & ACEVEDO, Rosa L. "Biogás a partir de residuos orgánicos y su apuesta como combustibles de segunda generación". *ResearchGate*, vol 14, n° 28 (2013), (Colombia) pp. 6-15

SOLARI, G. Proyecto de construcción de un sistema de digestión Batch de 10 m3 de capacidad para la producción de biogas utilizando los residuos vacunos del l Fundo agropecuario de la Universidad Alas Peruanas.(Trabajo de titulaciòn) Universidad Alas Peruanas, Facultad de Ciencias Agrarias. Lima, Perú. 2004, pp . 18

TÈLLEZ SATANA, Cristian Alberto. Diseño y seleccion de elementos para una planta de biogas. [En línea] (Trabajo de titulaciòn) Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil Mecànica. Valdivia, Chile. 2008. pp. 12. [Consulta: 29

Julio2019]Recuperadode:<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfci275d/sources/bmfci275d.pdf>

TELLO ARELLANO, Ana Aracely. Utilización de los desechos de la madera en el diseño de accesorios del vestuario femenino. [En línea] (Trabajo de titulación) Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Diseño, Arquitectura y artes. Ambato, Ecuador. 2014. pp. 5. [Consulta: 29 Diciembre 2018]. Recuperado de: <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8643/1/%E2%80%99UTILIZACI%C3%93N%20DE%20LOS%20DESECHOS%20DE%20LA%20MADERA%20EN%20EL%20DISE%C3%91O%20DE%20ACCESORIOS%20DEL%20VESTUARIO%20FEMENINO.%E2%80%9D.pdf>

TOALA MOREIRA, Edwin Eyner. Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogas a partir del estiércol de ganado en el Rancho Verónica. [En línea] (Trabajo de titulación) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, Riobamba, Ecuador. 2013. pp. 17. [Consulta: 29 Diciembre 2018]. Recuperado de: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/3406/1/236T0100.pdf>

VARNERO MORENO, M. "Manual de Biogas". *FAO* [En línea], 2011, (Chile) pp 28-43. [Consulta: 19 Julio 2019]. ISBN 978-95-306892-0. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>

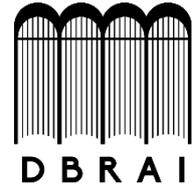
VEGA ARQUIÑO, Jhon Alexis. Diseño, construcción y evaluación de un biodigestor semicontinuo para la generación de biogas con la fermentación anaeróbica del estiércol de cuy y de conejo para la institución educativa privada Cristiana Bereshi. [En línea] (Trabajo de titulación) Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería en Energía, Chimbote, Perú. 2015. pp. 25-77. [Consulta: 5 Noviembre 2018]. Recuperado de: <http://repositorio.uns.edu.pe/bitstream/handle/UNS/2000/30744.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

WALDIR, Esteka E. "Efectos de la aireación en la producción de compuestos durante la fermentación láctea". *Science Direct*, vol 17, n° 1 (2014), (Perú) pp. 5-14.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN**



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 10/ 02 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Torres Pérez Ana Gabriela
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Ciencias
Carrera: Ingeniería Biotecnología Ambiental
Título a optar: Ingeniera Biotecnología Ambiental
f. Analista de Biblioteca responsable: