



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,
ELECTRÓNICA Y SISTEMAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA**



**“PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE BIODIGESTIÓN
PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DE RESIDUOS
ORGÁNICOS DEL RELLENO SANITARIO DE CHILLA –
JULIACA.”**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. RAMIRO MAMANI CONDORI

Bach. CRISTIAN OSCAR PACCO HUARACHI

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

PUNO – PERÚ

2021



DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a Dios por su guía y darnos la fortaleza de seguir adelante y haber Yo Ramiro Mamani Condori permitido lograr nuestros objetivos. A mis padres Jorge Mamani Huaricallo y Elsa Condori Apaza, y mis hermanos por el apoyo y la confianza en toda esta etapa de mi vida.

Ramiro Mamani Condori



DEDICATORIA

Dedico este proyecto de investigación a Dios, por darme la oportunidad de vivir, acompañarme en cada paso q doy y darme esa valentía de salir adelante, por poner en mi camino a esas personas q tanto aprecio. Mi Madre, (Sebastiana H. T.) a quien tanto amo y aprecio a la persona que debo todo mi éxito por su apoyo incondicional y ese amor incomparable por sus consejos y haber hecho posible la culminación de mi carrera todo esto te lo debo y se que aun guías mis pasos desde el cielo te amo madre.

Cristian Oscar Pacco Huarachi



AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad. A nuestros padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes hemos logrado llegar hasta aquí y convertirnos en lo que somos. Agradecemos a nuestros docentes de la Escuela de Ingeniería mecánica eléctrica de la Universidad Nacional del altiplano, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión, de manera especial, a nuestros docentes Ing. Vilca Callata, Leonidas, tutor de nuestro proyecto de investigación, Ing. Walter Oswaldo Paredes Pareja, Ing. Jhimmy Alberth Quisocala Herrera, Ing. José Antonio Vargas Maron quienes han guiado con su paciencia, y su rectitud.

Ramiro Mamani Condori

Cristian Oscar Pacco Huarachi



ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 13

ABSTRACT..... 14

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA..... 16

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA..... 17

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 17

1.3.1. Hipótesis general..... 17

1.3.2. Hipótesis específica..... 17

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN..... 18

1.4.1. Objetivo general..... 18

1.4.2. Objetivos específicos 18

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO. 19

2.1.1. Antecedentes regionales..... 19

2.1.2. Antecedentes nacionales. 20

2.1.3. Antecedentes internacionales..... 21

2.2. MARCO CONCEPTUAL. 24

2.2.1. Energías renovables a partir del biogás..... 24



2.2.2. Residuos Orgánicos.....	25
2.2.3. Composición física de los residuos sólidos en el Distrito de Juliaca.....	25
2.2.4. Disposición final de residuos.	26
2.2.5. Descomposición de Residuos Orgánicos.	27
2.2.6. Residuos Agropecuarios.	27
2.2.7. Tipos de residuos orgánicos.....	28
2.3. BIODIGESTORES.	29
2.4. BIODIGESTORES DE CLIMAS FRIOS.....	30
2.4.1. Clasificación de biodigestores.	31
2.4.2. Ventajas de los biodigestores.....	36
2.4.3. Componentes del Biodigestor.	37
2.4.4. Accesorios.....	37
2.4.5. Primeras Aplicaciones de los Biodigestores.	37
2.4.6. Biodigestores en Perú.....	38
2.5. BIOGÁS.	39
2.5.1. Acondicionamiento Del Biogás.	40
2.5.2. Fases de la Biodigestión Anaeróbica.	40
2.5.3. Bases técnicas de la Biodigestión.	42
2.6. PARAMETROS DEL PROCESO DE BIODIGESTIÓN.....	43
CAPÍTULO III	
MATERIALES Y MÉTODOS	
3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION.....	53
3.2. LUGAR DE ESTUDIO.....	53
3.3. POBLACION.....	53
3.4. MUESTRA.....	54
3.5. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS.....	56
3.5.1. Equipos electrónicos.....	56



3.5.2. Herramientas informáticas.....	56
3.6. METODOLOGIA DESARROLLADA.....	57
3.7. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.....	59
3.7.1. Propuesta de selección del biodigestor	59

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LA PLANTA DE BIODIGESTIÓN	60
4.1.1. Selección del biodigestor	61
4.1.2. Temperaturas promedio en Juliaca	62
4.1.3. Volumen disponible de residuos orgánicos en Juliaca (RSUT).....	63
4.1.4. Porcentaje de masa seca (MS)	63
4.1.5. Porcentaje de masa volátil (MV)	64
4.1.6. Temperatura de la biomasa	64
4.1.7. Tasa de dilución recomendada (porcentaje de agua)	65
4.1.8. Cálculo de contenido de masa seca (MS) en %	65
4.1.9. Cálculo de contenido de masa volátil (MV)	65
4.1.10. Cálculo de carga orgánica volumétrica de diseño.....	66
4.1.11. Cálculo de estimación de la cantidad de mezcla de agua (Ma)	67
4.1.12. Cálculo de volumen total del afluente al biodigestor (biomasa diaria)...	67
4.1.13. Cálculo de volumen requerido del biodigestor	68
4.1.14. Cálculo diámetro del biodigestor	69
4.1.15. Cálculo altura del tanque del biodigestor.....	70
4.1.16. Cúpula superior del biodigestor	70
4.1.17. Tanque de alimentación	70
4.1.18. Laguna de descarga.....	71
4.1.19. Lecho de secado de lodos.....	72



4.1.20. Cálculo del volumen de la cúpula	73
4.1.21. Calculo Tiempo de retención hidráulica (TRH)	73
4.1.22. Cálculo de producción de biogás y toneladas equivalentes CO ₂	74
4.1.23. Cálculo de dimensionamiento de generador a biogás	76
4.1.24. Cálculo de producción diaria de electricidad	78
4.1.25. Cálculo de Potencia Eléctrica Nominal del generador.....	78
4.1.26. Dimensionamiento de la planta mediante el software biodigestor pro ...	79
4.2. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR.....	83
4.2.1. Resultados de contenidos de masa seca, contenido de masa volátil tasa de dilución volumen de agua adicional volumen total del afluente y dimensionamientos de la planta.	83
4.3. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y ENERGÍA ELÉCTRICA	86
4.3.1. Resultados de la Producción de Biogás y Gas Metano	86
4.3.2. Resultados de la producción de energía eléctrica	87
4.3.3. Resultados de la producción de energía calorífica.....	87
4.3.4. Resultados de la producción específica de biogás y metano	88
4.3.5. Resultados de las capacidades de los equipos electromecánicos	89
4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	89
V. CONCLUSIONES.....	93
VI. RECOMENDACIONES.....	94
VII. REFERENCIAS.....	95
ANEXOS.....	99

Área : Energías Renovables.

Tema : Diseño de una planta de biodigestión

FECHA DE SUSTENTACION: 06 de septiembre del 2021



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Composición física de los residuos sólidos	26
Figura N° 2: Desechos agroindustriales	28
Figura N° 3: Flujo conceptual de biodigestor.....	30
Figura N° 4: Biodigestor para clima frio	31
Figura N° 5: Esquema de un biodigestor domo flotante	33
Figura N° 6: Esquema de un biodigestor tipo chino armado sobre tierra	34
Figura N° 7: Modelo de biodigestor horizontal de estructura flexible	35
Figura N° 8: Modelo de biodigestor plug Flow.....	36
Figura N° 9: Métodos de purificación del biogás.....	40
Figura N° 10: Fases de la fermentación anaerobia.....	42
Figura N° 11: Diagrama de tiempos de retención y temperatura	49
Figura N° 12: Ubicación de zonas aledañas al relleno sanitario de chilla.....	54
Figura N° 13: Proceso de la Metodología	58
Figura N° 14: Contenido de MV y MS y % de agua.....	66
Figura N° 16: Dimensionamiento de biodigestor	80
Figura N° 17: Porcentajes y eficiencias de degradación	80
Figura N° 18: Equivalencias energéticas de biogás	81
Figura N° 19: Geometría, diseño y dimensionamiento del biodigestor	82



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Residuos de origen animal y domésticos	29
Tabla N° 2: Composición del biogás.	40
Tabla N° 3: Contenido de agua en sustratos.	45
Tabla N° 4: Tiempo de fermentación según la temperatura.	50
Tabla N° 5: Proyección de residuos orgánicos en la ciudad de Juliaca (2017-2027)....	55
Tabla N° 6: Matriz de preselección para el diseño de domo flotante	61
Tabla N° 7: Matriz de preselección para el diseño de domo fijo.....	62
Tabla N° 8: Temperaturas promedio en Juliaca	63
Tabla N° 9: Contenido de agua en sustratos	64
Tabla N° 10: Porcentaje de parámetros que influyen en el diseño	64
Tabla N° 12: Características del biogás.....	76
Tabla N° 13: Resultados del porcentaje de contenidos de masa	83
Tabla N° 14: Tiempo de retención hidráulica y volúmenes requeridos	83
Tabla N° 15: Digestor y dimensionamiento	84
Tabla N° 16: Dimensionamientos del tanque de alimentación.....	84
Tabla N° 17: Resultados del dimensionamiento del tanque de descarga	85
Tabla N° 18: Resultados y dimensionamientos del lecho de secados	85
Tabla N° 19: Producción de biogás, metano y eficiencia de remoción	86
Tabla N° 20: Disponibilidad de energía neta para la unidad de generación.....	86
Tabla N° 21: Producción de energía eléctrica	87
Tabla N° 22: Producción de energía calorífica, potencia calorífica	88
Tabla N° 23: Producción específica de biogás	88
Tabla N° 24: Producción específica de CH ₄	88
Tabla N° 25: Capacidades de equipos electromecánicos	89



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RSU	Residuos Sólidos Urbanos
AGV	Ácidos Grasos Volátiles
C	Carbono
C/N	Relación Carbono - Nitrógeno
CH₄	Metano
CO₂	Dióxido de carbono
COV	Carga Orgánica Volumétrica
DQO	Demanda Química de Oxígeno
HDPE	Membrana de alta densidad
kg	Kilogramos
kg/m³.d	Kilogramo por metro cúbico por día
kgMV/m³	Kilogramo de Masa Volátil por metro cúbico
kW	Kilovatio
kWh	Kilovatios por hora
l/kg.d	Litros por kilogramo por día
m³	Metros cúbicos
m³/d	Metro cúbico por día
m³/kg	Metro cúbico por kilogramo
m³/m³*d	Metro cúbico por metro cúbico por día
m³/t	Metros cúbicos por toneladas
m³/t MH	Metros cúbicos por toneladas Masa Húmeda
m³/t	Metros cúbicos por toneladas
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio



mg	Miligramos
mg/kg	Miligramos por kilogramos
mg/l	Miligramos por litro
MJ	Mega Joule
MS	Masa Seca
MV	Masa Volátil
MW	Megavatios
N	Nitrógeno
NH3	Amoniaco
Pa	Pascal
pH	Potencial Hidrógeno (Acidez)
SO4	Sulfatos
ST	Sólidos Totales
STV(mg/l)	Sólidos Totales Volátiles por miligramos por litro
t/m³	Tonelada por metro cúbico
TBG	Tasa de Producción de Biogás
T°C	Temperatura en grados centígrados
t	Tonelada (1000 kg) - peso



RESUMEN

En la presente investigación se plantea una solución al problema del manejo inadecuado y disposición final no sanitaria de los residuos sólidos orgánicos en la localidad de Chilla – Juliaca. Por ello se tiene como objetivo la propuesta de diseño de una planta de biodigestión, para el aprovechamiento energético a partir de los residuos orgánicos generados en el relleno sanitario, se plantea una metodología de investigación de tipo descriptivo y cuantitativo, el proceso que se utilizó fue la cuantificación de residuos orgánicos disponibles al año base 2020, lo cual permitió la caracterización física, química de los residuos orgánicos, contenido de masa seca, contenido de masa volátil y el tiempo de retención de los residuos dentro del biodigestor, el proceso de diseño y dimensionamiento se realizó mediante el software Biodigestor Pro v3.0. Para la selección del tipo de biodigestor se realizó una matriz de preselección dando como resultado el modelo estructural tipo Chino siendo el mejor en ajustarse a las condiciones del lugar. Con respecto a la producción de energía eléctrica y biogás se concluye que la planta de biodigestión generaría 9,964.35 kW/h, al día y una producción de biogás de 6,039.00 Nm³/h por día, para la producción de energía eléctrica se seleccionó el motor cogenerador AQL genset modelo LSA 49.1 con una potencia eléctrica de 550 kW, y una potencia térmica de 670 kW además que permite la conexión a la red eléctrica, este estudio puede utilizarse como referencia para el diseño de biodigestores y aprovechamiento de otros tipos de biomasa en distintas regiones del Perú.

Palabras clave: Biodigestor, biogás, residuos orgánicos, energía.



ABSTRACT

In this research, a solution is proposed to the problem of inadequate handling and final unsanitary disposal of organic solid waste in the town of Chilla - Juliaca. For this reason, the objective of the design proposal of a biodigestion plant, for the energy use from the organic waste generated in the sanitary landfill, is proposed a descriptive and quantitative research methodology, the process that was used was the quantification of organic waste available to the base year 2020, which allowed the physical and chemical characterization of organic waste, dry mass content, volatile mass content and the retention time of the waste within the biodigester, the design process and sizing was done using Biodigester Pro v3.0 software. For the selection of the type of biodigester, a pre-selection matrix was made, resulting in the Chinese-type structural model being the best in adjusting to the conditions of the place. Regarding the production of electrical energy and biogas, it is concluded that the biodigestion plant would generate 9,964.35 kW / h, per day and a biogas production of 6,039.00 Nm³/h, per day for the production of electrical energy the cogenerator motor AQL genset model was selected LSA 49.1 with an electric power of 550 kW, and a thermal power of 670 kW that also allows connection to the electrical network, this study can be used as a reference for the design of biodigesters and use of other types of biomass in different regions of Peru.

Keywords: Biodigester, biogas, organic waste, energy.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El problema de la gestión integral y disposición final de los residuos sólidos urbanos en la provincia de San Román - Juliaca, se ha ido incrementando a través del consumo y desarrollo de actividades humanas, ya que el crecimiento de la población, y el aumento de los estándares de vida apresuran la generación de residuos sólidos urbanos en los países en vías de desarrollo así mismo, se debe tener en cuenta que la contaminación ambiental causada por una inadecuada gestión de (RSU) puede tener consecuencias permanentes a lo largo del tiempo, causando diversos problemas ambientales y de salud.

Existen distintas alternativas para alejar los (RSU) de su destino habitual que suelen ser los vertederos, tal como la incineración, el compostaje de residuos orgánicos y la recuperación de materiales a través del reciclaje, razón por la cual se desea indagar el impacto de los residuos orgánicos (RSU), mediante la técnica de digestión anaerobia.

En este contexto se obtiene la cantidad de residuos orgánicos generados en la ciudad de Juliaca como también los parámetros, la selección del biodigestor para su respectivo dimensionamiento, producción de biogás y energía eléctrica. En definitiva, lo que se quiere es aprovechar todos los residuos orgánicos y que de no ser así representan un constante peligro de contaminación ambiental. El aprovechamiento de la biomasa como fuente de energía ofrece varios beneficios ambientales tales como: poder contribuir a atenuar el cambio climático y el efecto invernadero.

Por lo tanto, este proyecto tiene como finalidad diseñar una planta de biodigestión anaerobio debido a la situación ambiental de la localidad de Chilla – Juliaca, para el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, el cual está estructurado en 6 capítulos, lo cuales son:



En el capítulo I, se presenta la introducción, el planteamiento del problema, objetivo general, objetivos específicos e hipótesis.

En el capítulo II, consta de la revisión de la literatura, donde se quiere aceptar una posición de análisis de los antecedentes, conceptos referentes al aprovechamiento de residuos orgánicos, diseño de biodigestores para climas fríos y producción de biogás y energía eléctrica.

En el capítulo III, se precisa los materiales y métodos, donde se detalla el lugar de estudio, la población y muestra de investigación, instrumentos de investigación y la metodología para el diseño del biodigestor, obtención de biogás y energía eléctrica.

En el capítulo IV, se presentan el análisis e interpretación de resultados, se muestra la investigación de forma más consolidada.

En el capítulo V y VI, se presentan las conclusiones del trabajo realizado y recomendaciones del mismo.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

¿Al proponer el diseño de una planta de biodigestión se aprovechará energéticamente los residuos orgánicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?

La región de Puno se ha caracterizado en estos últimos años por el desarrollo del comercio, ganadería y crecimiento de habitantes y con ello la investigación del aprovechamiento de residuos orgánicos no se queda atrás. El manejo inadecuado y una disposición final no sanitaria de los residuos sólidos en el Distrito de Juliaca configuran una problemática de tipo ambiental, social, de salud pública y de gestión de servicios urbanos, teniendo como factores determinantes la cantidad y calidad de los residuos sólidos (orgánicos) generados, la población, su distribución y las condiciones socioeconómicas y geográficas del Distrito.



La problemática de tipo ambiental se manifiesta en la generación de focos de contaminación producidos por el inadecuado manejo y disposición de residuos sólidos (orgánicos) lo cual afecta a un número cada vez mayor de habitantes, mermando sus condiciones de vida.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.

Este trabajo de investigación tiene como finalidad solucionar el problema del relleno sanitario no tratado y no gestionado, aprovechando las energías alternativas que están cobrando mayor importancia en las últimas décadas.

Debido al calentamiento global se ha impulsado la investigación en el uso de las energías renovables. El sol, viento, mareas son opciones principales para obtener energía eléctrica. Pero hay distintos métodos de usar estas energías, como por ejemplo los biodigestores a través de la descomposición anaeróbica para la producción de biogás.

Los biodigestores se muestran como una alternativa para la producción de la energía limpia se ha convertido en un tema de gran importancia en la actualidad que es la biomasa (biogás) a través de dicha transformación podemos obtener energía dichas materias pueden provenir de desechos municipales, desechos de agricultura, desperdicios de comida, etc. Entonces como producto final se obtiene una fuente de energía llamada biogás.

1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Hipótesis general.

Mediante el software biodigestor pro se diseñará la planta de biodigestión de acuerdo a la cantidad de residuos orgánicos generados en el año base 2020.

1.3.2. Hipótesis específica.

- Utilizando la matriz de preselección se obtendrá el biodigestor adecuado para aprovechar la mayor cantidad de residuos orgánicos.



- La obtención de la caracterización de los residuos orgánicos nos ayuda a dimensionar el biodigestor para la producción del biogás y energía eléctrica.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.4.1. Objetivo general.

Proponer el diseño de una planta de biodigestión para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos del relleno sanitario de Chilla – Juliaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar un biodigestor óptimo capaz de aprovechar la energía de los residuos orgánicos.
- Estimar la cantidad total de producción de biogás y energía eléctrica que generaría la planta de biodigestión.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DEL PROYECTO.

2.1.1. Antecedentes regionales.

1. La tesis de Ortiz Nuñez (2017), ha tenido como finalidad el diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el cerro de Cancharani - departamento de Puno y su posible reubicación de dicho vertedero. La cantidad de gas estimada a ser obtenida del Botadero de Cancharani, se calculó a partir de la, “Guía Técnica para la Medición, Estimación y Cálculo de las emisiones de Aire” - (HIOBE – Sociedad Pública de gestión Ambiental). Se calculo la producción de biogás del botadero de Cancharani, seleccionando, la planta eléctrica econogas a biogás de 65 kW de potencia, que, mediante un tablero de transferencia automática o manual, donde se pretende conectar a la red eléctrica de media tensión de Puno. Donde concluyen expresando que: En la gestión de los residuos sólidos urbanos puede ser un complemento al aprovechamiento social de la rentabilidad económica y ambiental de dichas actividades no solo generando biogás sino también reutilizando los envases de plástico de diferentes tipos y reutilizando varios de los materiales que no sirven para generar biogás, siendo una opción más aparte de la generación eléctrica a partir del biogás.

2. La tesis de Quispe (2019), ha tenido como finalidad la obtención de biogas mediante la digestión anaerobia utilizando aguas residuales en la provincia de llave – puno, para este proyecto se diseñó y construyo una incubadora a base de madera donde internamente se instaló un biodigestor de 16 litros de capacidad, con una temperatura termofílica, con un tiempo de retención de 28 días. Lo cual se determinó las características fisicoquímicas en las aguas residuales, cantidad de biogás de 11,68% Ch₄



obtenida mediante el digestor, así mismo se evaluó la calidad del bioabono generado mediante la digestión anaerobia.

3. La tesis de Mamani y Zapana (2021), tiene como objetivo diseñar un prototipo de un biodigestor para la producción de biogás a partir de residuos sólidos orgánicos. La investigación se realizó durante 30 días con residuos orgánicos de tipo alimenticios; para la obtención de los parámetros se implementó un controlador basado en programación de código abierto. Se determinó los datos de presión y temperatura en 720 muestras.

2.1.2. Antecedentes nacionales.

1. En la tesis Arrieta-palacios (2016), ha tenido por finalidad diseñar un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado. La finalidad de la presente investigación fue el diseño de una instalación de biogás a escala doméstica que permita aprovechar las excretas de ganado vacuno y/o porcino para satisfacer la demanda energética, para la iluminación y la cocción diaria de alimentos, de una familia de unos cinco o seis miembros. El diseño incluye el dimensionamiento del biodigestor, donde se produce la transformación de dichas excretas por medio de la digestión anaeróbica; de la zanja, donde se instala el biodigestor; del gasómetro, donde se almacena el biogás producido; y de las tuberías de transporte de gas desde el biodigestor hasta el gasómetro y desde éste hasta los puntos de consumo. Este dimensionamiento también se puede generalizar para diferentes demandas energéticas mediante la aplicación de las fórmulas expuestas en esta investigación. Donde concluyen expresando que: La aplicación de la digestión anaeróbica en biodigestores domésticos es una fuente de energía renovable (biogás), la cual puede reemplazar a combustibles fósiles como el gas natural o el GLP. Además, permite obtener un fertilizante orgánico de calidad (biol) y evita la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la



descomposición incontrolada de la materia orgánica, lo que cobra mayor importancia en la actualidad debido a los efectos que está causando el calentamiento global.

2. En la tesis de Tutacano (2017), tiene por finalidad diseñar un biodigestor para generar biogas a partir de desechos orgánicos de animales (vacuno, porcino, ovino). Se trato el problema de excretas de los animales para aprovechar y reducir la contaminación de gas metano a la atmosfera, se realizó un levantamiento de potencial de excreta, se seleccionó el biodigestor adecuado a las condiciones climáticas del lugar, se garantiza los parámetros de (presión constante, manejo fácil y buna digestión) se selecciona el biodigestor tipo Hindú. Teniendo como resultados la producción de biogás por medio del biorreactor para consumo doméstico, aprovechando los desechos orgánicos del ganado de cría a través de la recolección y la propuesta del aprovechamiento del producto residual como abono.

2.1.3. Antecedentes internacionales.

1. La tesis de Liliana (2018), ha tenido por finalidad la propuesta para diseñar una planta piloto que genere biogás y composta, con residuos de la central de abastos de Puebla, central que genera alrededor de 1,637,339 toneladas de basura, cuyo principal componente es materia orgánica. Donde se concluyó que: Para que este tipo de proyectos funcionen y se logre cumplir la producción constante de biogás y biol es necesario tener una disposición permanente de residuos orgánicos, contar con espacios adecuados para la instalación, además de asegurar un abasto adecuado de agua, que no comprometa al suministro de poblaciones aledañas. Es importante que los gobiernos gestionen centros de producción de biogás o permitan la inversión de empresas privadas para que estas comercialicen los productos y subproductos generados en plantas de biodigestión.

2. La tesis de Díaz de Basurto Burgos (2013), ha tenido por objetivo diseñar, construir y poner en marcha un biodigestor anaerobio con residuos orgánicos generados



en el mercado de Tiquipaya Bolivia, mediante la tecnología de digestión anaerobia de bajo coste, El principal objetivo fue implementar, poner en marcha y evaluar el biodigestor Natural S4 Loop y evaluar la idoneidad de este como opción para tratar los residuos sólidos orgánicos. Para ello, se describe el diseño, la construcción y puesta en marcha del digestor, así como un análisis económico del mismo. Donde se concluyó que: se llevó a cabo el diseño, construcción y puesta en marcha de un biodigestor novedoso, de nombre Natural S4 Loop, para tratar 100 Kg/día de residuo biodegradable proveniente del mercado de verduras y frutas de Tiquipaya (Cochabamba, Bolivia). Para ello se ha realizado una extensa recopilación de datos existente en la literatura. El objetivo principal es implementar un diseño para tratar la FORSU de bajo coste y que funcione de forma pasiva (sin energía eléctrica) para que sea realizable en países de medios y bajos recursos.

3. El proyecto de Aqualimpia (2013), en cooperación con Gipsa Ingenieria S.A. A a ejecutado el proyecto de la construcción de una planta de biodigestión de residuos urbanos orgánicos en la zana de Linares. Dicho proyecto fue diseñado para aprovechar 250 t/d de residuos orgánicos para su respectivo aprovechamiento energético y producción de biogás. El proyecto fue diseñado para 4 biodigestores de mezclado, lecho de secado de lodos, laguna de descarga, casa de máquinas para los generadores. El proyecto fue diseñado para producir una cantidad de energía de (0.8 MW de potencia) proyecto que será comercializada a la red pública de electricidad. dicho proyecto fue culminado en agosto de 2015.

4. El proyecto de Euides y Ramirez (2012), ha tenido por finalidad la Propuesta Para El Diseño De Un Biodigestor Para El Aprovechamiento De La Materia Orgánica Generada En Los Frigoríficos De Bogotá, Debido a las diferencias en ciertos parámetros físico químicos en las excretas generadas por estos animales, surgió la necesidad de llevar a cabo el tratamiento de las mismas de forma separada para evitar posibles alteraciones,



en cuanto a la eficiencia del tratamiento anaerobio (ausencia de oxígeno). Para el caso de los vacunos fue propuesto un biodigestor tipo plug flow, manteniendo un porcentaje de sólidos totales entre el 11-13%, generando aproximadamente una producción diaria de biogás de 1.801,71 m³ con principios y mecanismos de automatización debido al volumen de la carga orgánica, temperatura de 37.5°C y 20 días de retención. Para el tratamiento de las excretas porcinas se dimensiona un biodigestor tipo CIPAV, temperatura ambiente y 45 días de retención, con una producción diaria de biogás de 657,26 m³.

5. El proyecto de Guaman y Salazar (2013), tiene por finalidad el diseño de un biodigestor para la obtención de biogás en la quinta punzara de la Universidad Nacional de Loja. El mismo que se utilizó estiércol de ganado vacuno como materia prima, Cabe recalcar que la investigación estuvo enfocada en un principio tanto en el diseño como en la construcción de un sistema de biodigestor, como resultado Se ha diseñado un biodigestor tipo tubular de polietileno de flujo continuo; el mismo que trabajará con una temperatura media de 20°C, con un tiempo de retención de 45 días, con un pH neutro ya que solo tendrá un solo tipo de materia orgánica (reses) y a una presión aproximada de 26psi.

6. El proyecto de Páez (2016), tiene tuvo como objetivo un biodigestor anaerobio para el aprovechamiento energético de residuos orgánicos producidos en la localidad de Guayas, aprovechando los residuos orgánicos no procesados que se generan en el recinto donde tuvo resultados donde el biodigestor que mejor se adaptó a las condiciones de la zona es el tipo mixto de concreto armado y geomembrana de polietileno, por sus condiciones de eficiencia y costo. Mediante el sistema de biodigestión se trata la gran cantidad de materia prima con la que dispone en la zona, donde se producirán 11 157,46 m³ de biogás y 11 800,11 L de biol diarios.



7. Según la investigación de Mago et al. (2014), se propuso el diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor pro, 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, La metodología empleada se basó, en un análisis detallado de los desechos agropecuarios considerados como material de carga para la producción de biogás, como resultado obtuvo una masa seca de 10,234.00 kg/d, una masa volátil de 8,698.9, una producción de biogás de 2,056.77 Nm³/d, una producción de energía eléctrica de 3,649.31 Kw/h por día, se estimó una potencia eléctrica nominal para el generador de 152.05 Kwel y una potencia calorífica de 282.39 Kw.

2.2. MARCO CONCEPTUAL.

2.2.1. Energías renovables a partir del biogás.

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, a través de la acción de microorganismos y otros factores, en ausencia de oxígeno. Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita. La producción de biogás por descomposición anaeróbica es un modo considerado necesario para aprovechar residuos biodegradables, ya que produce un combustible de valor además de generar un efluente que puede aplicarse como acondicionador de suelo o abono genérico (Osinermin, 2017).

Por otro lado, Alrededor de un 80 % de las necesidades de energía en las sociedades industriales occidentales se centran en torno a la industria, la calefacción, la climatización de los edificios y el transporte (coches, trenes, aviones). Sin embargo, la mayoría de las aplicaciones a gran escala de la energía renovable se concentra en la producción de electricidad (Bautista & Aznar, 2010).



2.2.2. Residuos Orgánicos.

Durante anteriores años los residuos orgánicos han sido empleados para obtener abonos orgánicos, los cuales ayudan en la fertilización de los cultivos por ende se puede afirmar que: “los residuos orgánicos son los restos biodegradables de plantas y animales, los cuales pueden ser descompuestos por acción natural de organismos vivos como lombrices, hongos y bacterias principalmente (Páez, 2016).

2.2.3. Composición física de los residuos sólidos en el Distrito de Juliaca

Según Huamani Montesinos et al (2020), La caracterización de los residuos sólidos municipales en la ciudad de Juliaca, considera información del “Estudio de caracterización de residuos sólidos del Distrito de Juliaca” realizado por la Municipalidad Provincial de San Román-Juliaca en el año de 2015; en dicho estudio se estima que la generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Juliaca fue de 0.536 Kg/hab/día(se considera constante en los 10 años siguientes), con una tasa de crecimiento anual de la población urbana de 1.98%(INEI-Censo 1981- 1993-205-2007), se calcula una población urbana proyectada al año 2017 de 289,862 habitantes, y se obtiene una generación de residuos sólidos domiciliarios de 155.37 Tn/ día ó 56710.05 Tn/año. Resultados

En la Figura N° 1 se muestra la composición física de éstos residuos sólidos en la ciudad de Juliaca, muestra que el 42.39% son de origen orgánico, que pueden aprovecharse para producir abono orgánico ó compost; y el 29.78% son de procedencia no orgánico, como son papel, cartón, plásticos, vidrios, metales, maderas, etc., que pueden recuperarse y comercializarse como insumo en el mercado del reciclaje o su reciclaje; el 27.83% son residuos no reaprovechables, que deben ser dispuestos finalmente en un relleno sanitario por lo que se aplica la siguiente ecuación.

$$\frac{(\text{RSU orgánicos e inorgánicos}) \left(\frac{\text{tn}}{\text{d}}\right) \times (\text{RSUT orgánicos}) (\%) }{100} \dots\dots\dots (\text{Ec. 1})$$

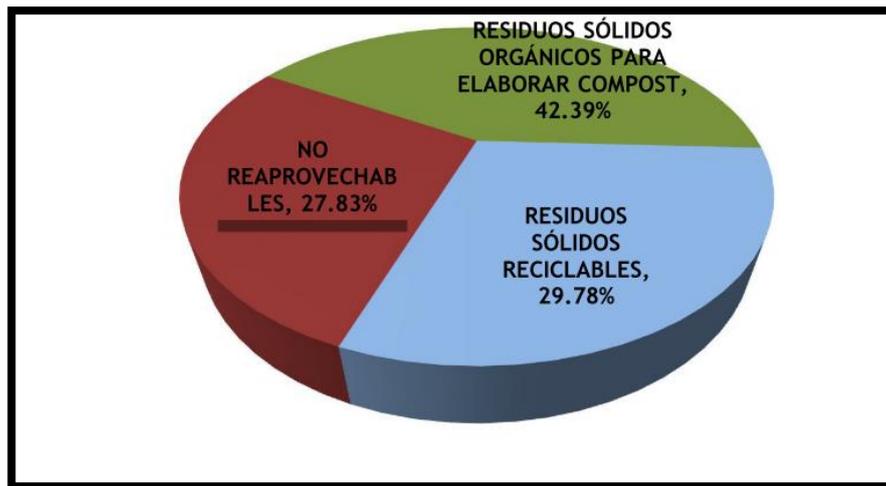


Figura N° 1: Composición física de los residuos sólidos

Fuente: ECRS Juliaca: (MINAM, 2017)

2.2.4. Disposición final de residuos.

Situación Actual del botadero Municipal

- El relleno sanitario en la actualidad se encuentra colmatado, las labores de vertido se efectúan de forma diaria sin embargo las labores de acomodo de los residuos, compactado y soterrado se realizan esporádicamente por maquinarias pesadas, por esa razón los residuos se encuentran a la intemperie. No se realiza tratamientos de los lixíviaños ni de los gases, ni mucho menos un aprovechamiento energético de los residuos.
- El relleno sanitario se encuentra dentro del complejo municipal, donde paralelamente se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales, vivero municipal y planta de compostaje. El área que se destinó para el relleno sanitario se encuentra cercado por un muro de adobes, según (Paucar & Argote, 2018), define que hay un grave problema por parte de las instituciones del estado, primordialmente de las municipalidades la inadecuada gestión de residuos contaminan nuestro ambiente.



2.2.5. Descomposición de Residuos Orgánicos.

Según Páez (2016), la descomposición de la materia orgánica es un proceso biológico que ocurre naturalmente. Su velocidad está determinada por tres factores principales:

- Composición de los organismos del suelo.
- Entorno físico (oxígeno, humedad y temperatura).
- Calidad y origen de la materia orgánica.

2.2.6. Residuos Agropecuarios.

El Ministerio de Energía y Minas del Perú en el Balance Nacional de Energía del año 2014, define a los residuos agropecuarios como aquella “materia orgánica no fósil de origen biológico que puede ser utilizada con fines energéticos para la producción de calor y algunas veces también de electricidad. Bajo este concepto se agrupan el bagazo, la bosta, la yareta y los residuos agrícolas”. Por origen biológico hace referencia tanto al origen animal como vegetal (Gonzales Guerra et al., 2017).

Según Moncayo (2015), define que En muchas ocasiones la biomasa se elimina por ser una molestia para la instalación que la produce o porque entorpece las labores agrarias o ganaderas que la generan. Cuando esto ocurre, se está desperdiciando una fuente de energía importante. Como ejemplo un kilogramo de biomasa permite obtener 3.500 Kcal de energía. Un litro de gasolina tiene aproximadamente 10.500 Kcal. Por lo tanto, por cada tres kilogramos que desperdiciamos de biomasa, se desaprovecha el equivalente a un litro de gasolina

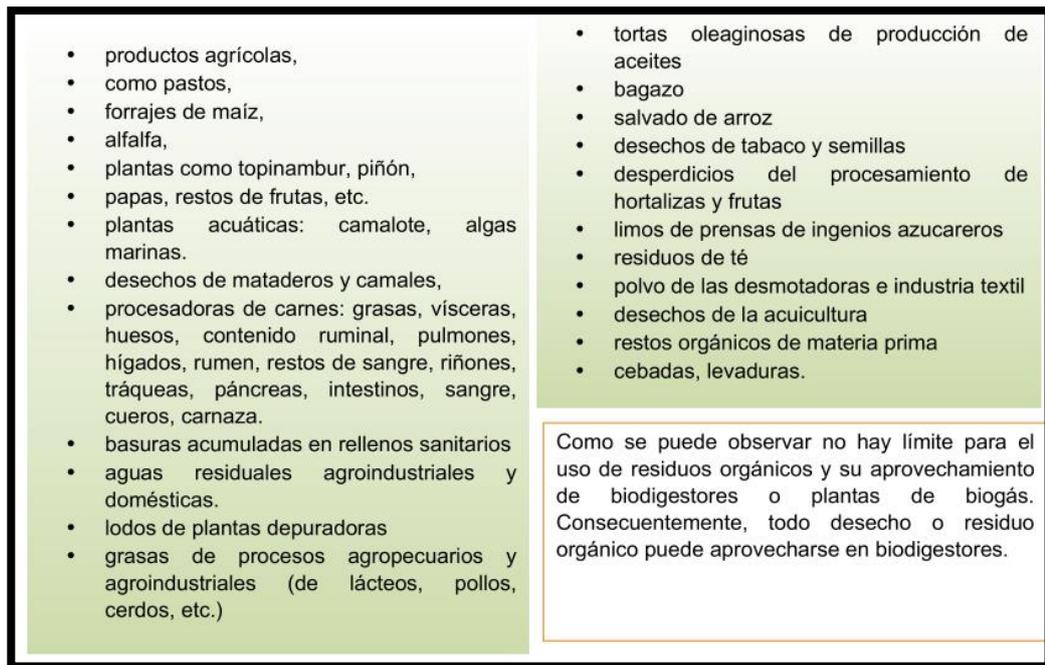


Figura N° 2: Desechos agroindustriales

Fuente: (Moncayo, 2015)

2.2.7. Tipos de residuos orgánicos

Son residuos naturales que se componen fácilmente en el ambiente. Entre estos se encuentran: ver Figura N° 2 restos de residuos vegetales y alimenticios, pasto, hojarasca, estiércoles, de la cría de animales domésticos, residuos de cosechas, aserrines puros o con mezclas de excretas de animales, líquidos biodegradables, madera y otros residuos que puedan ser fácilmente transformados en materia orgánica (Martinez & Gonzales, 2014).

Tabla N° 1: Residuos de origen animal y domésticos

Biomasa virgen o natural	biomasa terrestre	biomasa forestal pastos cultivos energéticos cosechas cultivadas
	biomasa acuática	algas plantas acuáticas
Biomasa de residuos	residuos municipales	desechos sólidos municipales biosólidos, aguas residuales gas, de relleno sanitario
	residuos agropecuarios	ganadería estiércoles residuos cultivos agrícolas
	residuos forestales	cortezas, hojas, residuos orgánicos del suelo
	residuos industriales	madera de demolición, aserrín aceite usado grasa

Fuente: (Gonzales Guerra et al., 2017)

2.3. BIODIGESTORES.

Un digester de desechos orgánicos o biodigestor es, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etcétera) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (Perez, 2010).

Según Euides y Ramirez (2012), nos define que los biodigestores trabajan en condiciones anaerobias, (ausencia de oxígeno) se optimiza naturalmente el crecimiento y proliferación de un grupo de bacterias que descomponen los residuos ingresados y como resultado de este proceso que se muestra en la Figura N° 3 según Moncayo (2015), por otro lado se obtiene un gas combustible o biogás que posee metano y dióxido de carbono, el cual puede ser utilizado y convertido en forma de energía para sustentar algún requerimiento como calefacción, generación de energía entre otros. Adicionalmente el efluente generado es un compuesto rico en nutrientes y un fertilizante de importantes propiedades para el suelo, Por consiguiente los biodigestores son sistemas diseñados para

optimizar la producción de biogás a partir de los desechos mencionados anteriormente (Rivas Solano et al., 2010).

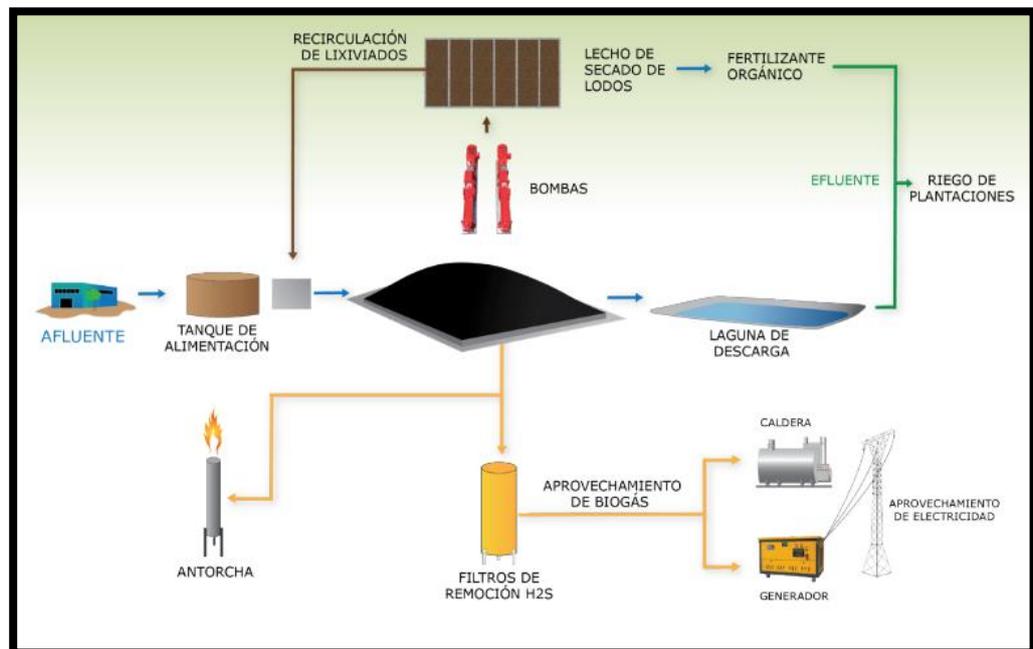


Figura N° 3: Flujo conceptual de biodigestor

Fuente: (Moncayo, 2015)

2.4. BIODIGESTORES DE CLIMAS FRIOS

Los diseños y construcciones de biodigestores que se realizan en países de clima frío y con próspero desarrollo industrial no deben replicarse en países tropicales con bajo desarrollo económico e industrial. Según Moncayo (2015), En los países tropicales rigen altas temperaturas ambientales con un promedio de 25 – 32 °C durante casi todo el año, lo que no ocurre en países de clima frío. En el caso de Alemania, el clima predominante es frío y rige durante 250 – 300 días al año. Las temperaturas máximas sobre los 30 °C se alcanzan escasamente durante un máximo de 45 - 60 días al año. Las temperaturas mínimas pueden bajar a -30°C y en promedio anual no sobrepasan los 9 °C con una amplitud térmica de entre 15 y 20 °C.

Por esta razón los biodigestores que se construyen en lugares de climas fríos, son de hormigón armado o acero inoxidable, calefaccionado y aislado para conservar el calor.

Estos biodigestores se construyen sobre tierra con alturas de hasta 10 m de alto y con poca área superficial para así evitar las pérdidas de calor.



Figura N° 4: Biodigestor para clima frío

Fuente: (Gabriel, 2017)

2.4.1. Clasificación de biodigestores.

Gonzales Guerra et al (2017), define que actualmente, existen varios tipos de biodigestores que podemos implementar, ya sean tradicionales o industriales, pero todos estos tipos tienen el mismo principio de funcionamiento: está basado en el uso de los desechos orgánicos sin embargo Euides & Ramirez (2012), menciona que con el avance de la tecnología respecto a la degradación de residuos orgánicos, y con la diversidad de tipos de digestores y Con el avance de la tecnología respecto a la degradación de residuos orgánicos, y con la diversidad de tipos de digestores y parámetros que afectaban su funcionamiento surgió la clasificación de los mismos. Los digestores se clasifican por dos aspectos básicos, su método o régimen de carga y según su método de construcción, al mismo tiempo Tutacano (2017), resalta que, más del 80 % de las plantas de biogás difundidas en el mundo pertenecen a dos tipos de diseño, cuyos nombres derivan de los



países en los cuales se realizaron los primeros modelos y posteriormente se les dio una difusión masiva. Estos modelos son el tipo chino o de cúpula fija y el hindú o de campana flotante.

Flujo por lote.

Se carga en una sola vez, lo cual no permiten extraer o añadir más sustratos hasta que finalice el proceso completo de biodegradación y producción de biogás. Es decir, el proceso finaliza cuando no se produce más biogás (Euides & Ramirez, 2012). este sistema a su vez es aplicable en situaciones particulares, como de materia orgánica a procesar está disponible en forma intermitente. En estos casos normalmente se usa varios digestores cargados en diferentes tiempos para mantener la continuidad del suministro de gas (Bautista & Aznar, 2010).

Régimen semicontinuo.

Este tipo de digestor se carga por gravedad una vez al día, donde el volumen de la mezcla depende directamente del tiempo de retención. Cuya producción de biogás es constante en el día (Euides & Ramirez, 2012).

Régimen continuo.

Son de mayor proporción, y necesitan mayor inversión tecnológica, porque es indispensable el control, automatización y seguimiento permanente para su rápida degradación. Por estas razones son grandes consumidoras de energía. El diseño inicial del digestor fue para tratamiento de aguas negras, dado que requiere entrada permanente de sustrato, más aún en la actualidad se contempla para otro tipo de residuo degradable (Euides & Ramirez, 2012).

Biodigestor tipo hindú (domo móvil).

Este digestor se caracteriza por tener una campana flotante, al igual que la gran mayoría de digestores se carga por gravedad una sola vez al día, en este digestor el

volumen de alfuente depende del tiempo de retención, esto lo transforma en un digestor que se carga por lotes y la producción de gas es de manera constante siendo esta su principal característica (Euides y Ramirez, 2012), de esta manera estos digestores en la parte superior poseen una campana móvil, que sube como consecuencia del aumento de la producción de gas y baja debido al consumo, manteniendo una presión interna constante, por otro lado Tutacano (2017), en su estudio de comparación realizado este tipo de biodigestor que trabaja a presión constante, su tiempo de vida útil es aproximadamente 15 años, los costos de construcción son elevados y los mantenimientos son periódicos.

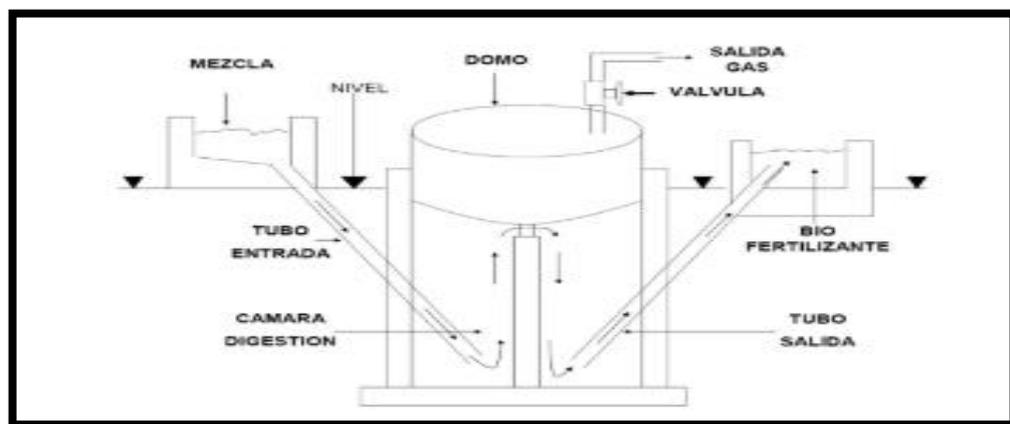


Figura N° 5: Esquema de un biodigestor domo flotante

Fuente: (Gonzales Guerra et al., 2017)

Biodigestor tipo chino (domo fijo).

Según Euides y Ramirez (2012), Es un biodigestor semicontinuo, de campana fija, fabricado de diversos materiales y el biogás es almacenado en un contenedor fijo. La característica de este biodigestor es que trabaja a presión variable. En la campana fija se almacena el gas generado por la degradación y al ser inmóvil la presión que ejerce sobre la carga hacia un tanque adyacente que compensa la presión ejercida ver Figura N° 6 Esto quiere decir que la presión y alivio entre el gas y el tanque de compensación sirve de sistema de seguridad ya que al ser consumido el gas la presión dentro de la cámara de fermentación disminuye y el sustrato ingresa nuevamente, paralelamente Bautista y

Aznar (2010), define que estos biodigestores tienen como ventaja su elevada vida útil. Pueden llegar como promedio a 20 años de vida útil siempre y cuando se realice su mantenimiento sistemático.

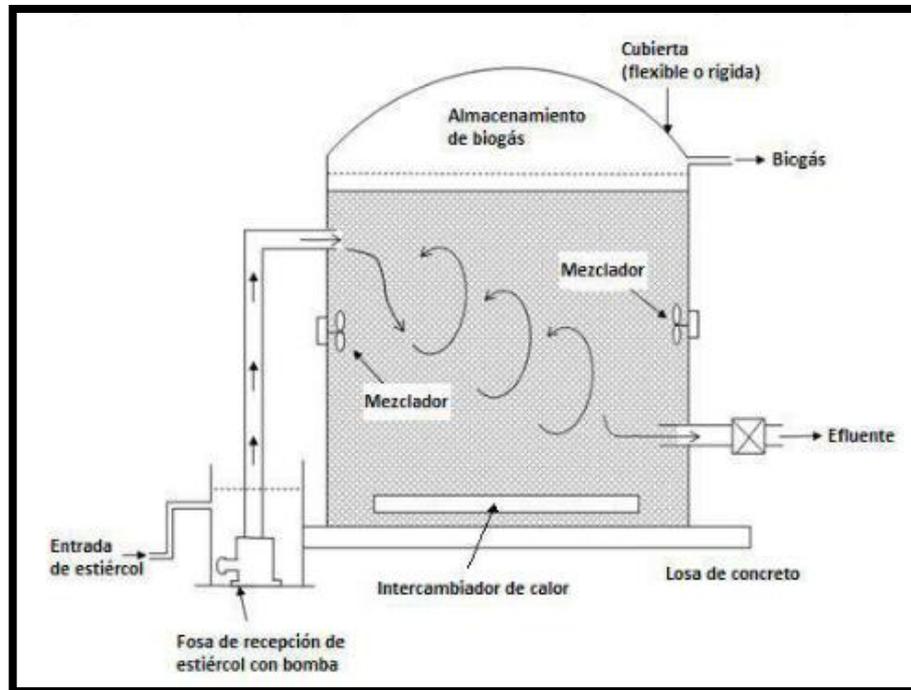


Figura N° 6: Esquema de un biodigestor tipo chino armado sobre tierra
Fuente: (Arrieta-palacios, 2016)

Biodigestor horizontal.

Se construye bajo tierra, su sección es cuadrada o en forma de “V”, la relación largo / ancho varía entre 5:1 hasta 8:1 y está provisto de paredes divisoras, de esta manera se evita que el sustrato salga antes de terminar el tiempo de retención (Euides & Ramirez, 2012). Por otro lado su uso es generalmente para el saneamiento de descargas cloacales, ya que su formación alargada garantiza que el afluente salga del tanque de digestión, debido al flujo pistón y al tiempo de retención, estos generalmente llevan en la parte superior una cúpula metálica desmontable para la boca de visita, y a su vez requiere gasómetro adicional debido a la poca capacidad de almacenamiento de la cúpula y el cuerpo del digestor (Taipe, 2019).

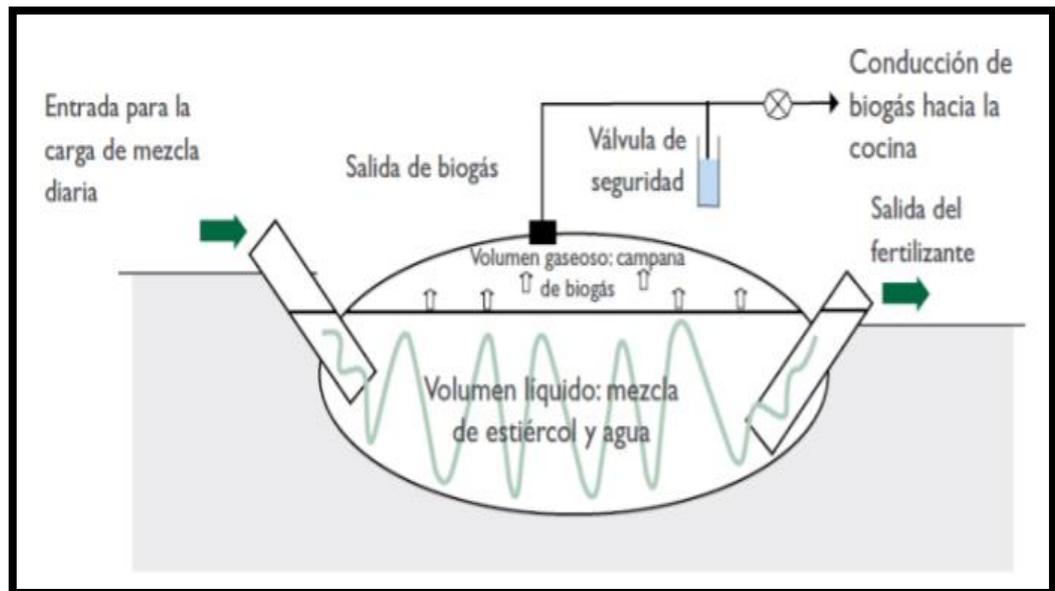


Figura N° 7: Modelo de biodigestor horizontal de estructura flexible
Fuente: (Taípe, 2019)

Biodigestor horizontal (Plug Flow).

Esta clase de digestor tiene la ventaja de no necesita un sistema de agitación, ni ninguna parte móvil. Su construcción tanto en la cámara de digestión como en el almacenamiento de biogás puede ser en concreto en forma de globo, teniendo en cuenta que va herméticamente cerrado donde el gas al igual que los digestores anteriores se ubica en la parte superior de la materia orgánica digerida y dicho espacio superior corresponde del 25 – 30 % del volumen del digestor (Euides & Ramirez, 2012).

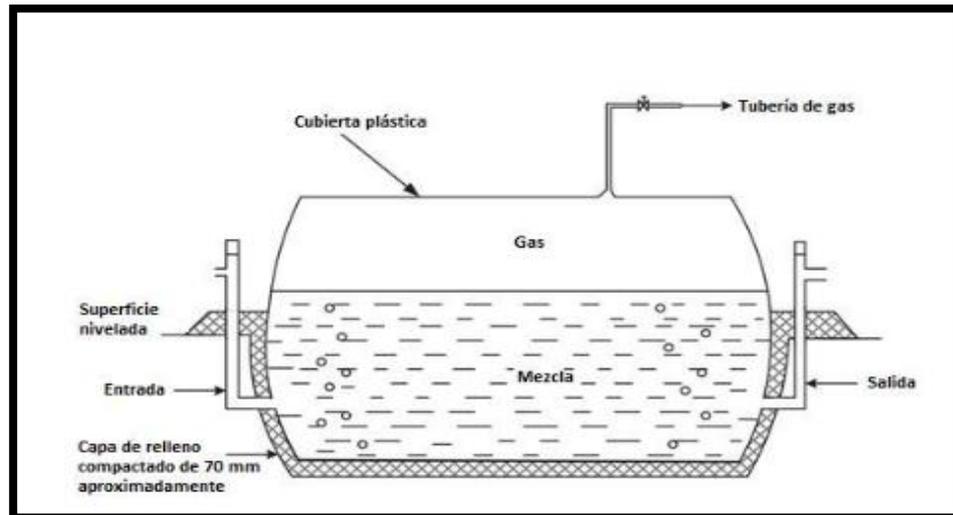


Figura N° 8: Modelo de biodigestor plug Flow

Fuente: (Arrieta-palacios, 2016)

2.4.2. Ventajas de los biodigestores.

- Se optimiza el material orgánico utilizado, ya que se captan todos los productos y subproductos (gases y líquidos con sólidos disueltos) generados en la degradación, por lo cual existe poca pérdida de elementos nutritivos, cosa que no sucede en la biodegradación aerobia.
- Los residuos orgánicos obtenidos después de la biodegradación anaerobia (efluente) tienen mayor riqueza nutricional que los obtenidos en la biodegradación aerobia.
- Permite disminuir la tala de los bosques al no ser necesario el uso de la leña para cocinar.
- Diversidad de usos (alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, otros).
- Produce biogás naturalmente el cual puede sustituir al GLP.
- Produce biofertilizante rico en nitrógeno, fósforo y potasio, capaz de competir con los fertilizantes químicos, que son más caros y dañan el medio ambiente.



- Elimina los desechos orgánicos, por ejemplo, la excreta animal, contaminante del medio ambiente y fuente de enfermedades para el hombre y los animales.
- Promueve la agroecología.

2.4.3. Componentes del Biodigestor.

- Tanque de homogenización o carga
- Una bomba (opcional)
- Tanque de biodigestión
- Mezclador o agitador
- Tuberías de captación de biogás
- Recipiente para almacenar biogás (puede estar integrado en el mismo biodigestor)
- Tanque de descarga
- Tuberías y válvulas de seguridad, cierre y desagües
- Filtro de remoción de H₂S
- Quemadores de biogás
- Generadores de energía eléctrica o calor

2.4.4. Accesorios

- Filtro De Biogás
- Gasómetro
- Calefacción
- Trampas De Agua
- Válvulas
- Manómetros

2.4.5. Primeras Aplicaciones de los Biodigestores.

El tratamiento de biodigestión anaeróbica ha sido conocido y aplicado desde la antigüedad, así por ejemplo se utilizaba para la de etanol, ácidos orgánicos como el



láctico, pero era comprendido en razón de sus productos finales y no en función de sus procesos. En 1884, Louis Pasteur concluyó que la fermentación de estiércoles podría ser una fuente de energía para la calefacción e iluminación. En tanto que, en Inglaterra en el año de 1896, Donald Camerón perfeccionó el tanque séptico y utilizó el gas que se origina en el proceso como fuente de energía. Para el año de 1900 es puesto en funcionamiento el primer biodigestor en Bombai-La India, Charles James utilizó el gas producido en el proceso para el funcionamiento de un motor.

Sin embargo, la biodigestión anaeróbica que inicialmente se había empleado para satisfacer la demanda de energía, en los últimos años ha venido demostrando su potencialidad para el tratamiento de los residuos y excretas de origen doméstico y agropecuario, principales contaminantes del ambiente. Países como China, India, Australia, Inglaterra, entre otros; han encontrado en la fermentación anaeróbica una técnica aliada en la lucha contra la contaminación ambiental, especialmente en el área rural en donde los efluentes urbanos y agropecuarios son transformados en sustancias inofensivas al ecosistema circundante, mejorando la calidad de vida de sus habitantes (Páez, 2016).

2.4.6. Biodigestores en Perú.

En el año 2015 se instaló la planta de biodigestión para el aprovechamiento energético de aguas residuales ubicada en Tocache, San Martín. Planta que generaría 1.900 kW, tal proyecto que se ejecutó por la empresa peruana Grupo Palmas, empresa agroindustrial sostenible dedicada al cultivo de la palma aceitera y cacao en el oriente peruano, puso en arranque la primera planta de generación eléctrica a partir del biogás de la Amazonía.

La energía que produce la planta de generación eléctrica es destinada al Complejo Industrial de Palmawasi, ubicado en Tocache, San Martín, con una potencia efectiva de



1.900 kW, elevando los niveles de autogeneración. La planta se construyó en casi dos años, demandando una inversión de US\$ 2.9 millones. (Palmas del espino, 2015).

2.5. BIOGÁS.

Según Allen (2010), el biogás una mezcla de dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) y gases en menor proporción como el ácido sulfhídrico (H_2S), hidrogeno (H_2), amoníaco (NH_3), etc. A partir de eso según Mago & , José L. Sosa, Blanca Flores (2014), el biogás posee un buen potencial energético alcanzando alrededor de 5000 kcal/m³, paralelamente (Moncayo, 2015), define que el biogás tiene un poder calorífico de 4.700 a 5.500 Kcal/m³ o 5 - 7 kW/m³ dependiendo del contenido de gas metano CH_4 que puede generar en promedio una cantidad de calor equivalente a 22.000 Btu/m³ o 21,5 MJ/m³, valor que puede variar entre 19,7 y 23 MJ/m³. Su temperatura de autoignición es similar a la del metano puro y varía de 650 - 750 °C.

Cabe mencionar también que el biogás contiene un 65 % de metano en término medio. Un kg de metano tiene un poder calorífico equivalente a 47.390 BTU, 50 MJ o 13,89 kW. por otro lado según Guaman y Salazar (2013), nos menciona que un metro cubico de biogás totalmente combustionado es suficiente para generar 1 motor de 1 Hp durante dos horas.

En la Tabla N° 2 se muestra los porcentajes de las composiciones que tiene el biogás.

Tabla N° 2: Composición del biogás.

Componentes	Porcentaje
Metano (CH ₄)	50 - 70
Dióxido de carbono (CO ₂)	30 - 50
Ácido sulfhídrico (H ₂ S)	0 - 3
Monóxido de carbono (CO)	0 - 1
Vapor de agua	0 - 1,5

Fuente: (Euides & Ramirez, 2012)

2.5.1. Acondicionamiento Del Biogás.

La purificación del biogás es elemental por dos razones siguientes: Para aumentar el poder calorífico del biogás y Cumplir los requerimientos de algunas aplicaciones de gas (motores, calderas, celdas de combustible, vehículos, etc.), como se puede apreciar en la Figura N° 9.

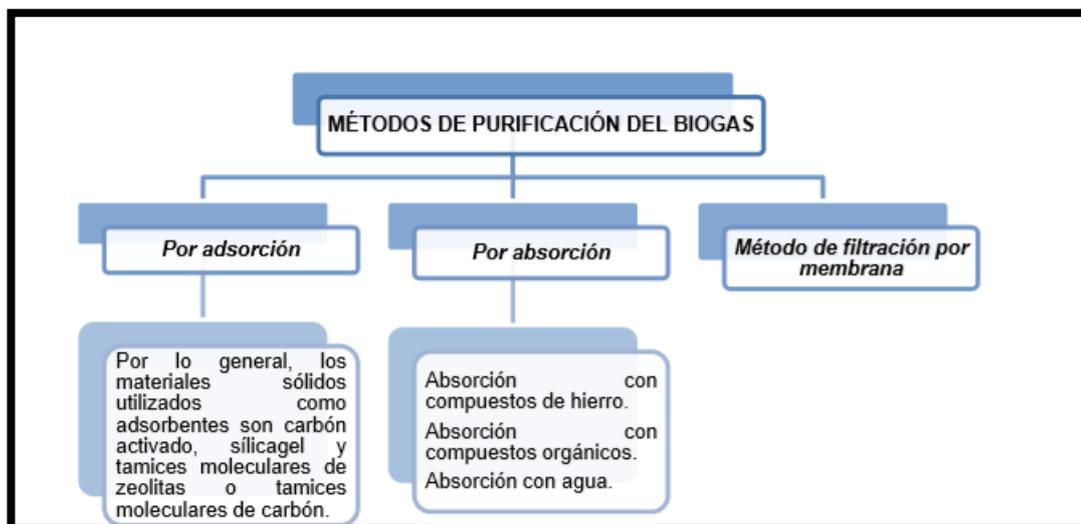


Figura N° 9: Métodos de purificación del biogás.

Fuente: (Páez, 2016)

2.5.2. Fases de la Biodigestión Anaeróbica.

Etapa de hidrólisis.

En esta primera etapa los compuestos orgánicos complejos se disocian en monómeros más sencillos, tales como azúcares, aminoácidos, ácidos grasos volátiles de



bajo peso y alcoholes. Así, se permite que las bacterias puedan asimilar la materia orgánica como fuente de nutrientes (Allen, 2010).

Etapas acidogénica

En esta segunda etapa, los compuestos solubles son fermentados a ácidos grasos volátiles (acético, propiónico, butírico), alcoholes hidrogeno y CO₂. Esta etapa se da a entender también como fermentativa. Vale decir, es un tiempo de producción intensiva de ácidos, que se inicia con los alimentos y compuestos de más sencilla descomposición, como las grasas, donde hay una alta producción de dióxido de carbono (CO₂), ácido sulfhídrico (H₂S), ácidos orgánicos y bicarbonatos (Wahid et al., 2017).

Etapas acetogénica

En esta tercera etapa, la gran mayoría de las bacterias anaeróbicas han removido todo el alimento de la biomasa y, como resultado de su metabolismo, eliminan sus propios productos de desecho de sus células. Estos productos, ácidos volátiles sencillos, son los que van a utilizar como sustrato las bacterias metanogénicas (Páez, 2016).

Etapas metanogénica

Esta etapa es la final del proceso de generación de biogás, donde convierte el ácido, el hidrogeno y el dióxido de carbono en metanos por medio de microorganismos metanogénicos específicamente anaeróbicos (Gutierrez & Rodriguez, 2018), por otro lado las tasas de desarrollo de las bacterias metanogénicas son cinco veces menores que las acetogénicas, además de presentar mayor sensibilidad a las variaciones de la temperatura (Arrieta-palacios, 2016), en la Figura N° 10 se muestra las etapas de las fases de la biodigestión anaerobia.

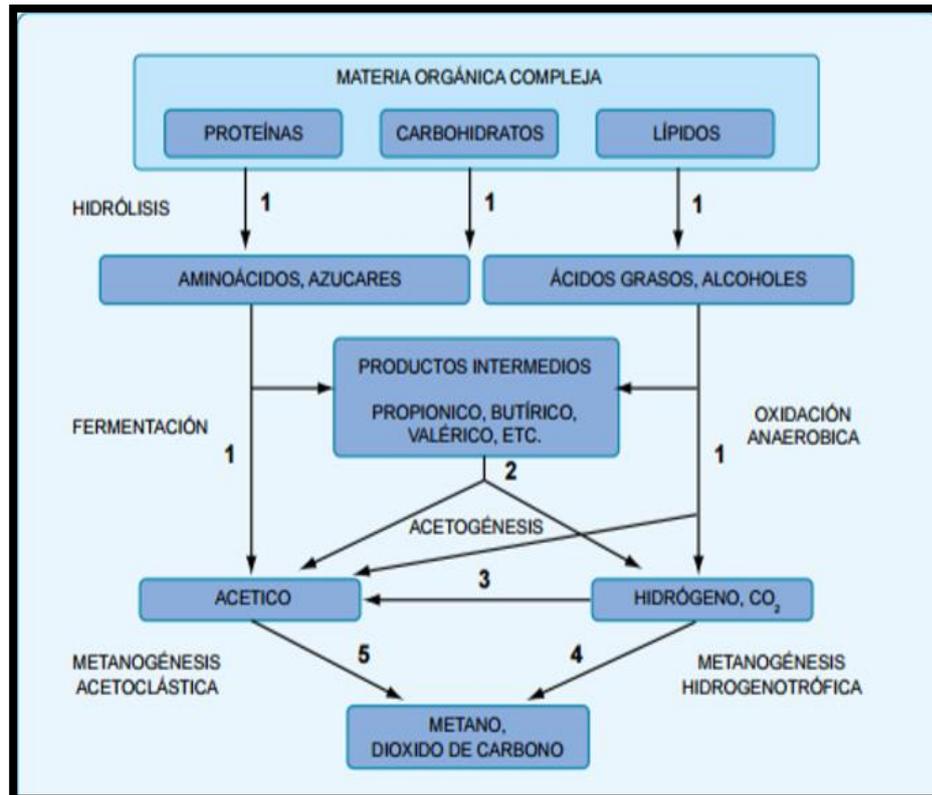


Figura N° 10: Fases de la fermentación anaerobia.

Fuente:(Páez, 2016)

2.5.3. Bases técnicas de la Biodigestión.

Según Verdezoto Carvajal (2014), La digestión anaeróbica, es un proceso natural microbiano que ocurre en forma involuntaria en la biomasa por falta de oxígeno. Es un sistema ecológico delicadamente balanceado donde, cada microorganismo tiene un rol importante, que es producir una mezcla de gases con alto contenido de metano (CH₄) llamado biogás, sumamente eficiente si se emplea como combustible.

Sin embargo, el término biomasa o sustrato, se refiere al material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etcétera) en determinada mezcla de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (Perez, 2010).

Se debe considerar que todos los todos los desechos orgánicos que pueden ser aprovechados en energía; o los provenientes de la agricultura (residuos de maíz, arroz,



papas, banano, tomate, cebolla, vegetales, etc.) y de los residuos urbanos (aguas residuales, residuos orgánicos y otros).

De tal modo que, los biodigestores, se pueden precisar como recipientes o tanques cerrados herméticamente, que permiten la carga (afluente) de sustratos (biomasa) y descarga (efluente) de bioabono-biol y, poseen un sistema de acumulación y almacenamiento de biogás para su aprovechamiento energético.(Moncayo, 2015)

Por consiguiente la planta de biodigestión además del propio biodigestor o reactor, en función de su tamaño y nivel de sofisticación, puede contar con un tanque de pretratamiento y uno de mezclado del material orgánico con agua, un sistema de alimentación y descarga del digestor (conformado por tuberías de captación y conducción de biogás, válvulas de seguridad, en el sistema de purificación y medición, los tanques de almacenamiento y las antorchas de biogás (Arrieta-palacios, 2016).

2.6. PARAMETROS DEL PROCESO DE BIODIGESTIÓN

Según Guaman y Salazar (2013), la digestión anaeróbica, su principio básico de funcionamiento es el mismo que tienen todos los animales, al transformar los alimentos en compuestos más simples para su absorción mediante bacterias alojadas en el intestino mediante condiciones controladas como, humedad, temperatura y niveles de acidez. Por esta razón, las bacterias al dentro del biodigestor reaccionan negativamente cuando se cometen errores con la alimentación de biomasa.(Moncayo, 2015)

La descomposición anaeróbica (ausencia de oxígeno) se realiza en un tanque cerrado llamado “biodigestor” se constituye el método más común para la producción de biogás. La mezcla que contiene el biodigestor es, biomasa con agua (Baculima Pintado & Rocano Tenezaca, 2015).



De tal manera que al estar enmarcado en el ciclo anaerobio del carbono es posible transformar la biomasa, en ausencia de oxígeno, en compuestos volátiles como el CH₄, CO₂, NH₃, H₂S, N₂, y otros gases menores.

Entonces siendo la digestión un proceso bacteriano bioquímico complejo, es importante conservar las condiciones óptimas que permitan el desarrollo tanto de las reacciones químicas dentro de la matriz líquida del reactor, como las reacciones bioquímicas intracelulares que dan vida a los organismos en juego (Bautista & Aznar, 2010).

En las cuales, daremos a conocer los parámetros más importantes para poder hacer un correcto dimensionamiento y operar un biodigestor.

Temperatura (T)

Según Gonzales Guerra et al (2017), la temperatura es un factor determinante en el proceso de metanogénesis. Ya que la rapidez de reacción de los procesos biológicos está en función de la velocidad de crecimiento de los microorganismos, así mismo (Allen, 2010) refiere que a mayor temperatura mayor será la función de las bacterias y, por lo tanto, se reducirá el tiempo necesario que deba permanecer el residuo orgánico dentro del digestor o viceversa, por otro lado Guaman y Salazar (2013), menciona que en ambientes de 30 °C se requieren unos 10 días, a 20 °C unos 25 días, en altiplano con invernadero la temperatura de trabajo es de unos 10 °C promedio, y se requieren 55 días de tiempo de retención.

Masa seca (MS)

La masa seca (MS), se define como la cantidad de sólidos que contiene la biomasa. Es el contenido de biomasa orgánica más la masa inorgánica que contiene un sustrato. Entonces el contenido total de masa seca se obtiene con el volumen diario disponible por el porcentaje de la masa seca (Gabriel, 2017).

$$MS\left(\frac{\text{kg}}{\text{día}}\right) = VD(t/d) \times MS(\%) \quad \dots\text{Ec. 2}$$

Donde:

MS = contenido de masa seca

VD = volumen diario disponible

MS = porcentaje de masa seca

Por otro lado según Gonzales Guerra et al (2017), en su investigación experimental se ha demostrado que, en los digestores de tipo hindú, la carga debe contener en 8 % y 12 % de sólidos totales para así asegurar el correcto funcionamiento del proceso, sin embargo Gabriel (2017), ha generalizado utilizar un porcentaje de dilución del 10 %. Qué Se logra esta dilución mezclando la biomasa con agua o recirculando biol o bioabono en la Tabla N° 3, se indican los contenidos de agua de varios tipos de biomasa.

Tabla N° 3: Contenido de agua en sustratos.

sustrato	contenido de agua
Vinazas	90 - 94
Cereales	12 - 15
Estiércol de cerdo	85 - 95
Gallinaza	65 - 85
Forraje de maíz	65 - 80
Estiércol de ganado	85 - 95
Frutas y verduras	82 - 95

Fuente: (Moncayo, 2015)

Masa volátil (MV)

Según Moncayo (2015), La masa volátil o sólidos volátiles es el contenido de masa orgánica que tiene la biomasa. La masa volátil (MV) es el factor que se volatiliza, para la obtención de estos sólidos volátiles según Guaman y Salazar (2013), se obtiene incinerando los sólidos orgánicos hasta que solo quede la ceniza. Entonces la relación de la cantidad de ceniza respecto a la cantidad es la masa volátil.



El porcentaje de sólidos volátiles respecto al de los sólidos totales (% de sólidos volátiles o (MV) suele variar entre el 70 - 95 %. Los residuos que tienen un porcentaje inferior al 60 % no suelen considerarse “buenos” sustratos para la digestión anaeróbica.

Entonces 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. Solo este contenido de (MV) es el que produce biogás durante la digestión anaeróbica en el biodigestor por consiguiente la cantidad de masa volátil se obtiene a partir de la cantidad de masa seca. El total del contenido de la masa volátil es estimado como un 90 % del total de la masa seca (ms).

$$MV \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = MS(\text{kg}/\text{d}) \times 90(\%) \quad \dots (\text{Ec.3})$$

Donde:

MV = contenido de masa volátil

MS = porcentaje de masa seca

90 % = porcentaje de masa volátil

Carga Orgánica Volumétrica (COV)

Según Díaz de Basurto Burgos (2013), refiere que la COV como la cantidad de materia orgánica alimentada por volumen de biodigestor en un determinado periodo de tiempo. Sin embargo Arrieta-palacios (2016), define que si la COV incrementa puede provocar un reducción de gas por un unidad de materia orgánica introducida, para determinado TRH, sin embargo a menor temperatura y mayor TRH, mayor puede ser la COV. Por lo tanto, más masa orgánica puede ser alimentada al biodigestor. La COV, puede aumentarse hasta un valor máximo determinado, la COV debe alcanzar valores entre 2 - 3 Kg.MV/m³ de biodigestor y por día (Kg.MV/m³ d).

Existen básicamente dos criterios para dimensionar un digestor en base a la COV. No se puede elegir una COV demasiada baja porque, a pesar de que el rendimiento del



estiércol es bueno (altos volúmenes de metano por kg SV), la cantidad de SV (Kg de estiércol) que se introducirían al día sería demasiado baja para tener un volumen considerable diario de biogás. Tampoco se puede elegir una COV demasiado elevada porque se estaría causando el efecto contrario. Según Ferrer et al. (2011) una pobre COV ($< 0.75 \text{ Kg SV/m}^3 \text{ día}$), debida a un TRH excesivamente elevado y un sustrato muy diluido, lo que demandaría de grandes cantidades de agua y de un gran volumen de digestor, resultará en una insuficiente producción de biogás; en cambio una alta COV traería consigo una mayor acumulación de sólidos en el reactor acortando su vida útil.

$$COV(kg.MV/m^3.d) = \frac{MV}{V} \quad \dots \text{ (Ec.4)}$$

Donde:

COV = carga orgánica volumétrica

MV = contenido de masa volátil

V = volumen total de biodigestor

Mescla de agua

La cantidad de mezcla de agua es calculada a partir de los residuos orgánicos totales generados (RSU), el porcentaje de masa seca (MS) (%) es de 12 % y la mezcla de agua se estima con un 10 % del solido total según Wahid et al (2017), que en realidad está definido como la suma del total del residuo orgánico y la cantidad de mezcla de agua.

$$TD(\%) = \frac{MS(kg.d)}{((RSUT(kg.d)+Ma(kg.d))} \quad \dots \text{ (Ec.5)}$$

donde:

TD = tasa de dilución

MS = contenido de masa seca

RSUT = residuos orgánicos totales



Ma = mezcla de agua

Afluente

Son los materiales de carga en este caso los residuos orgánicos, que ingresara a los biodigestores, tiene como máximo 8% de solidos totales la entrada del afluente genera un volumen equivalente al efluente o material de descarga según Gabriel (2017), para obtener el afluente se debe utilizar la siguiente ecuación.

$$VA = RSUT(kg/d) + Ma(kg/d) \quad \dots (Ec.6)$$

Donde:

RSUT = residuos orgánicos totales

Ma = mezcla de agua

VA = volumen total del afluente

Volumen de biodigestor

Según Verdezoto Carvajal (2014), una COV que aplica por metro cubico de biodigestor debe de estar en el rango de 1.5-3 kg/m³ de biodigestor por día para obtener el volumen requerido se aplicara la ecuación (Ec.7), donde mv = masa volátil y cov = carga orgánica volumétrica por lo que este volumen no tiene un margen de seguridad entonces según Liliana (2018), este margen de seguridad sirve para eventuales variaciones en la cantidad de biomasa disponible diariamente, en su estudio estima una margen de 2% y por consiguiente esto se obtiene a partir de la (Ec.8). donde vr = volumen requerido.

$$V(m^3) = \frac{MV(kg)}{COV(\frac{kg}{m^3})} \quad \dots (Ec.7)$$

$$V(m^3) = VR + 2 \% \quad \dots (Ec.8)$$

Tiempo de Retención Hidráulica (THR)

según Díaz de Basurto Burgos (2013), el tiempo de retención es la medida que explica el tiempo promedio de una sustancia que reside en el reactor. Al incrementar el

TRH, aumenta el grado de materia orgánica degradada, así como la producción del metano, por consiguiente, para la obtención del TRH se necesita el volumen requerido del biodigestor entre el volumen total del afluente.

$$TRH = \frac{V(m^3)}{VA(m^3.d)} \quad \dots (Ec.17)$$

Donde:

TRH = tiempo de retención hidráulica

V = volumen del biodigestor

VA = Volumen total del afluente

en la Figura N° 2.11 nos muestra el diagrama de tiempo de retención hidráulica versus la temperatura y el tipo de fermentación en función de ambas.

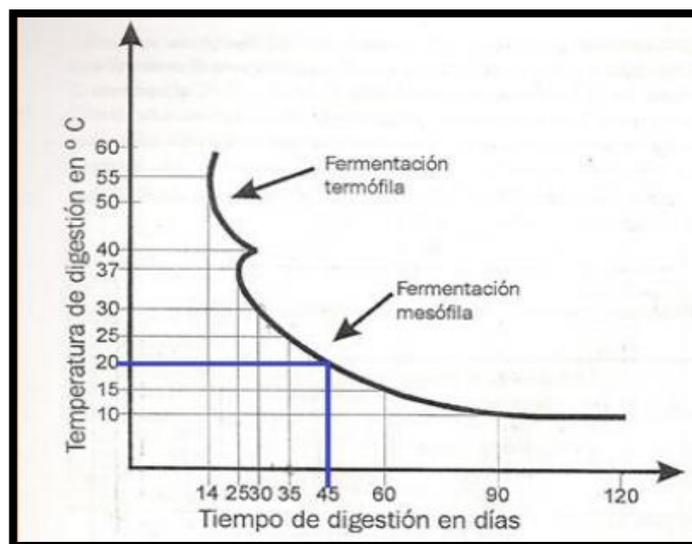


Figura N° 11: Diagrama de tiempos de retención y temperatura
Fuente: (Guaman & Salazar, 2013)

- Las bacterias necesitan de un cierto tiempo para degradar la materia orgánica. La velocidad de degradación depende en gran parte de la temperatura; mientras mayor sea la temperatura, menor es el tiempo de retención o fermentación esto para obtener una buena producción de biogás (Páez, 2016).

En la Tabla N° 4 se muestra los rangos de temperatura y su vínculo con el tiempo de retención de la siguiente manera:

Tabla N° 4: Tiempo de fermentación según la temperatura.

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

Fuente: (Páez, 2016)

Acidez

- El Ph es uno de los parámetros de control más importantes en la operación de los biodigestores debido a que los microorganismos metano génicos muestran una gran sensibilidad a las variaciones del mismo.(Moncayo, 2015).
- Según Gutierrez y Rodriguez (2018), El valor de pH es de los principales problemas que ocurren en el proceso, debido a la aparición de acidez del medio en que se realiza la obtención de gas, para lo cual el rango óptimo de pH debe ser de 6.6 a 7.6 y por debajo de 6.2 la acidez la acidez de biodigestor inhibe la actividad de las bacterias metanogénicas, y la mejor manera de corregir el Ph según Gabriel (2017), es dejar de alimentar al biodigestor con biomasa y aumentado más agua.

Alcalinidad

- Guaman y Salazar (2013), define que la alcalinidad actúa en el proceso debido a su acción sobre el microorganismo. En general los hongos toleran un margen de pH entre 5-8, mientras que las bacterias tienen menor capacidad de tolerancia (6 – 7,5). El rango de Ph óptimo es de 6,6 a 7,6. Los ácidos grasos volátiles (AGV) y el acetato tienden a disminuir el pH del sustrato. Si las bacterias metanogénicas no alcanzan a convertir rápidamente los AGV a medida que lo producen las bacterias acetogénicas,



Porcentaje de degradación

- Este parámetro indica el porcentaje de la masa orgánica que se degrada durante el tiempo de retención y se transforma en biogás Gabriel (2017), así mismo la degradación no es constante, primero empieza de forma acelerada luego de forma lenta según AQUALIMPIA (2013), en la práctica se logra un porcentaje de degradación de 65 al 75 % si se trata de biodigestores que se alimentan con cultivos energéticos como el maíz pasto, trigo, etc., se logra un porcentaje de 80 % por otro lado Moncayo (2015), menciona que los biodigestores agitados producen más biogás que biodigestores sin agitación.

Generadores a biogás

Según Aqualimpia (2013), Para dimensionar un generador hay que considerar el grado de eficiencia de todas las unidades que componen el generador y las pérdidas de energía por el movimiento mecánico del motor y alternador de manera muy simple y para efectos de una rápida estimación, se puede asumir que 1 m³ de biogás con el 65 % de metano puede producir un estimado de 2,2 Kw/h de electricidad. donde la eficiencia del módulo de generación es del 85%. En este caso se debe de calcular el valor promedio de % de metano en la mezcla de biogás. El porcentaje, se calcula considerando el volumen de biogás que produce cada biomasa y su respectivo % de metano. El % de metano en el biogás, es de aproximadamente 55 - 75 %. Por lo tanto, para obtener la potencia se requiere la producción de metano mediante la (Ec.18) y la producción de energía mediante la (Ec.18)

$$PB (Nm^3/d) = 1.05(m^3/d)xV(m^3) \quad \dots (Ec.18)$$

$$PE(kwh) = PCH_4 \left(\frac{Nm^3}{d} \right) x (10kwhm^3) x (\%eficiencia) \quad \dots (Ec.19)$$



Según Gabriel (2017), para el cálculo de potencia nominal se requiere de la siguiente ecuación donde p = potencia nominal entre las 24h, porque le recomienda también darle un margen del 20% mayor que la potencia nominal.

$$P = PE(kwh/dia)/24h \quad \dots \text{(Ec.20)}$$



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACION.

El enfoque de la presente investigación es de tipo cuantitativo, porque se realizará la recolección de datos de la cantidad de materia orgánica que genera la ciudad de Juliaca en base a la proyección del crecimiento de la población en el año base 2020.

El tipo de investigación del presente proyecto es descriptivo y analítico, porque se quiere detallar y hacer un análisis del funcionamiento del biodigestor, y a su vez proporcionar conceptos de generación de energía en base al aprovechamiento energético de residuos orgánicos, a partir de datos obtenidos en la zona de estudio.

3.2. LUGAR DE ESTUDIO

El presente trabajo de investigación se ubica en la región de Puno, Provincia de San Román distrito de Juliaca, cuyo relleno sanitario se ubica en localidad de Chilla, relleno que actualmente está bajo la supervisión de la municipalidad de San Román – Juliaca.

3.3. POBLACION

La población del presente proyecto de investigación está representada por los biodigestores orientadas a las familias que radican en la provincia de San Román

Considerando que estos biodigestores funcionan con una determinada cantidad de residuos orgánicos, adicionando de igual manera agua para su mezcla.

Ubicación donde se realizó las muestras se detalla a continuación.

- Región : Puno
- Provincia : San Román
- Distrito : Juliaca
- Latitud Sur : 15°29'24" S

- Longitud Oeste : $70^{\circ}80'00''$ O
- Altitud media : 3824 msnm

En la Figura N° 12 se observa la ubicación del relleno sanitario de la localidad de chilla, las zonas aledañas del relleno y la laguna de oxidación mediante el software Google Earth Pro.

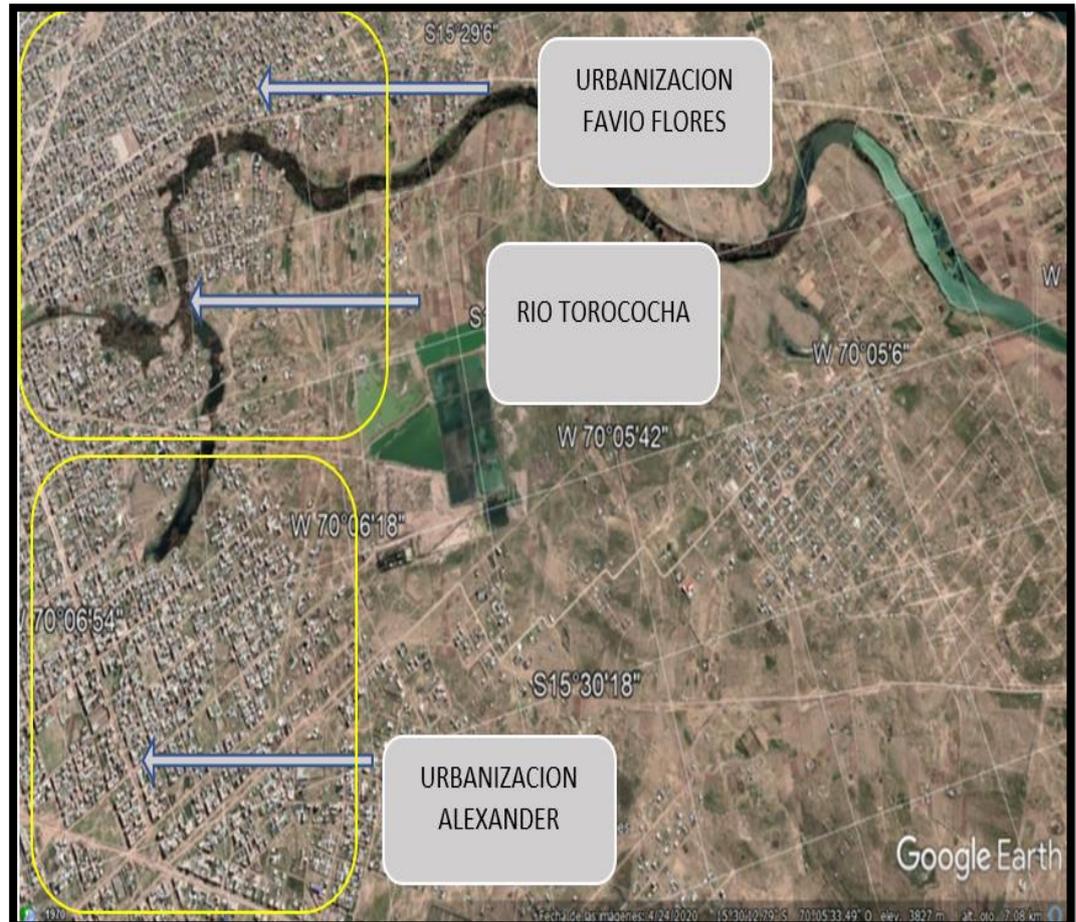


Figura N° 12: Ubicación de zonas aledañas al relleno sanitario de chilla
Fuente: (Google Earth, 2020)

3.4. MUESTRA

En el presente estudio se utiliza como muestra la proyección de residuos orgánicos al año base 2020 en función del crecimiento de la población mostrado en la Tabla N° 5, en el cual se resalta las siguientes características:

- Año

- Población
- Generación de RRSS Municipales t/año
- Generación de RRSS orgánicos t/año
- RRSS en planta para compost t/año
- Producción de compost kg.

Tabla N° 5: Proyección de residuos orgánicos en la ciudad de Juliaca (2017-2027)

AÑO	Población	Generación de RRSS Municipales t/año	Generación de RRSS orgánicos t/año	RRSS en planta para compost t/año	Producción de compost kg.
2017	289,962.00	75701,68	32089,94		
2018	295,703.00	77972,58	33052,58	4957,89	1239472
2019	301,558.00	79516,44	33707,02	5056,05	1264013
2020	307,529.00	81090,87	34374,42	6874,88	1,718,721.00
2021	313,618.00	82696,47	35055,03	7011,01	1,752,752.00
2022	319,828.00	84333,86	35749,12	14299,65	3,574,912.00
2023	326,160.00	86003,67	36456,95	14582,78	3,645,695.00
2024	332,618.00	87706,54	37178,80	22307,28	5,576,820.00
2025	339,204.00	89443,13	37914,94	22748,97	5,687,241.00
2026	345,920.00	91214,10	38665,66	38665,66	9,666,414.00
2027	352,770.00	93020,14	39431,24	39431,24	9857809

Fuente: (Huamani Montesinos et al., 2020)

En la presente Tabla N° 5 se proyecta la generación de residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Juliaca en base al año 2020. Se tiene que la generación per-cápita (GPC) de residuos urbanos al año base es de 0.53615 kg/hab/día, usando la tasa de crecimiento de la población urbana 1.98% anual, se tiene que la población proyectada al año base 2020 es de 307,529 habitantes y una generación de residuos sólidos domiciliarios para el año base de 166.48 t/día, según Huamani Montesinos et al., (2020).



3.5. EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

3.5.1. Equipos electrónicos

Para proceso del presente estudio de investigación se empleará un procesador personal que cuenta con un microprocesador Intel® Core™ i5-8300H CPU @ 2.30GHz Memoria (RAM) 8,00 GB (7,88 GB utilizable), sistema operativo de 64 bits.

3.5.2. Herramientas informáticas.

Virtual box versión 6.1

Es un software que sirve para llevar a cabo máquinas virtuales para instalar distintos tipos de sistemas operativos esto quiere decir que, si se tiene un sistema operativo actual como Windows 10, entonces con este software se puede crear una máquina virtual con un sistema operativo anterior como por ejemplo Windows xp.

Windows xp

Es una versión de Windows anterior, fue el primer sistema operativo de Microsoft, facilita la instalación de programas que requieren o están elaborados para este tipo de sistemas operativos, en este caso el software Biodigestor Pro versión 3.5.

Biodigestor Pro versión 3.5

Es una herramienta creada por la empresa alemana Aqualimpia, que permite el ingreso de varios tipos de biomasa, ayuda a obtener la producción de biogás, energía eléctrica, potencia a instalar(kw), ayuda a dimensionar los tanques de biodigestión y las eficiencias de remoción etc.

Google Earth

Es un software informático que nos permite la visualización del globo terráqueo y a su vez permite observar la múltiple cartografía, basado en imágenes satelitales.



Microsoft Exel

Es un programa informático creada por la empresa Microsoft. Programa que nos permite trabajar con datos numéricos. Tales que podemos desarrollar cálculos aritméticos, funciones, funciones estadísticas, tablas dinámicas, etc.

Excel facilita en gran medida el trabajo con números y que nos permite analizarlos de manera sencilla para así generar reportes con herramientas como los gráficos y tablas.

AutoCAD

Es un software asistido por computadora para diseñar y dibujar planos modelados en 2d, 3d, que hace posible el dibujo digital de planos edificios o recreaciones de imágenes.

3.6. METODOLOGIA DESARROLLADA

Para realizar el análisis y el estudio del biodigestor y los parámetros que se requiere obtener básicamente para la generación de biogás a base de los residuos orgánicos que no se aprovechan en la ciudad de Juliaca y que elementos componen la planta de biodigestión, para lo cual se requerirá la siguiente información:

Estos datos serán usados para dimensionar el biodigestor propuesto mediante los cálculos y el programa de dimensionamiento Biodigestor Pro versión 3.0, con el cual se determinarán las dimensiones del biodigestor, tanque de alimentación, tanque de descarga, lecho de secados y así mismo las estimaciones de los equipos electromecánicos que se requerirán en dicho proyecto, estos procesos se muestran en la Figura N° 13.

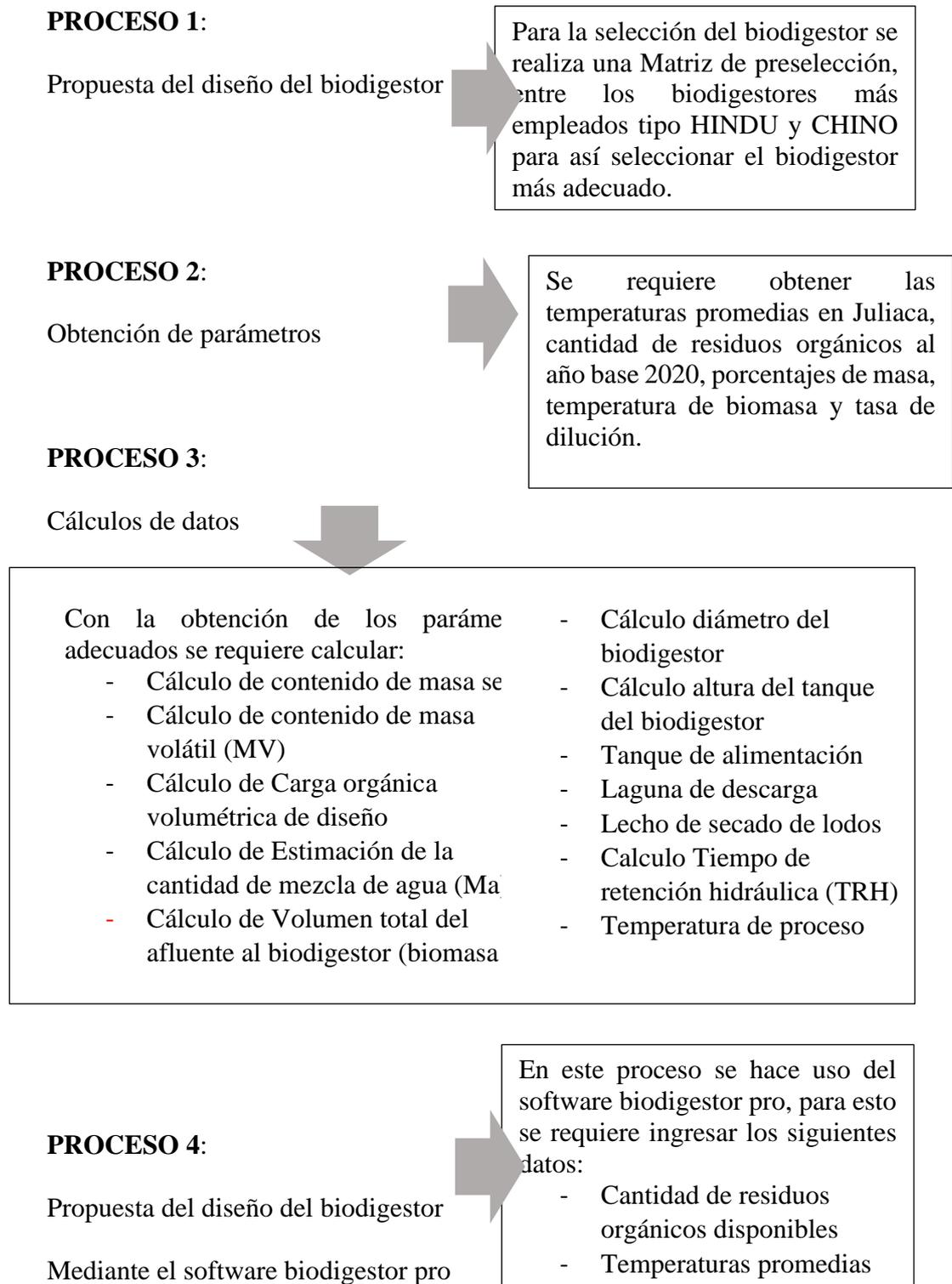


Figura N° 13: Proceso de la Metodología



3.7. DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

Para el diseño de la planta de biodigestión, se necesitó obtener una alta producción de biogás y una elevada reducción de la materia orgánica por unidad de volumen del biodigestor, el proyecto fue diseñado en función de la materia orgánica disponible y en base a los requerimientos de biogás, para la producción de energía eléctrica requerida se determinó la cantidad de biogás producida.

El volumen requerido del biodigestor está en función de la temperatura de operación del sistema de agitación y de la carga volumétrica aplicada, el parámetro más predominante para el cálculo del volumen del biodigestor fue la correcta selección de la carga orgánica volumétrica este parámetro se seleccionó cuidadosamente.

3.7.1. Propuesta de selección del biodigestor

Para la selección de biodigestor se consideró aspectos físicos viables, facilidad, factibilidad de construcción y la cantidad de materia prima con la que se dispuso, en la Tabla N° 6 y 7 se puede apreciar los aspectos a evaluar del biodigestor tipo Chino y/o Hindú circular sobre tierra con un tanque de alimentación y mezcla por cada biodigestor de régimen combinado y aislado para conservar el calor tablas en las que fueron adaptadas al diseño propuesto según Arrieta-palacios (2016).



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE LA PLANTA DE BIODIGESTIÓN

De acuerdo a los parámetros obtenidos para la producción de biogás y para luego obtener el dimensionamiento se logró proponer el diseño de un biodigestor tipo campana fija con la finalidad de aprovechar la biomasa que no se genera en la ciudad de Juliaca.

Este proyecto presenta una propuesta con una gama más alta de residuos, ya que se puede ver que están formados por residuos orgánicos, todas procedentes de mercados, restaurantes de la ciudad de Juliaca, cabe señalar que al interior de los residuos orgánicos tiene una variedad de otros residuos orgánicos ya sea, plantas, paja, excretas, etc. Por lo cual la materia que alimentara a los biodigestores tipo campana fija que se proponen en este proyecto tuvo una mayor diversidad.

El diseño propuesto de la planta va dirigidos a ciudades donde tiene mayor concentración de generación de residuos en general, al sector ganadero y agricultura ya que a su vez se aprovecha las excretas y vegetales. Con los datos del residuo o masa es suficiente para diseñar nuestra planta de biodigestión para aprovechar cualquier tipo de residuo orgánico, en este caso se hizo colaboración con el programa biodigestor pro versión 3.4 para un mejor modelamiento y percepción de la planta.

La construcción del biodigestor se propuso que fuese de concreto armado La cubierta para el biodigestor de membrana EPDM la cantidad, porcentajes y característica del residuo se detallará en la Tabla N° 4.6, los volúmenes requeridos y tiempos de fermentación se detallara en la Tabla N° 4.8, el dimensionamiento del biodigestor, tanque de alimentación, tanque de descarga, lecho de secados se detallaran en las tablas 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13 la producción de biogás, energía y energía para la unidad de generación

se detalla en las tablas 4.14, 4.16 la producción específica de biogás y metano se detallara en las tablas 1.18.

El diseño de la planta de biodigestión consta de 4 biodigestores cada uno consta de los siguientes elementos:

1 tanque de alimentación

1 tanque de digestor

1 cúpula fija

1 agitador por digestor

1 tanque de descarga

1 tanque de lecho de secados

Tuberías de alimentación, descarga y válvulas.

4.1.1. Selección del biodigestor

Se realizó la comparación de los biodigestores más empleados en el mercado.

**Tabla N° 6: Matriz de preselección para el diseño de domo flotante
BIODIGESTOR TIPO HINDU O DOMO FLOTANTE**

	A	B	C	D	E
ITEM	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACION	C/5	D*A
1.0	5.00	Tipo de materia Prima	5.00	1.00	5.00
2.0	15.00	Vida útil	3.00	0.60	9.00
3.0	5.00	Requerimiento de área	5.00	1.00	5.00
4.0	20.00	Costos	3.00	0.60	12.00
5.0	15.00	Construcción	5.00	1.00	15.00
6.0	15.00	Operación y mantenimiento	5.00	1.00	15.00
7.0	25.00	rendimiento	3.00	0.60	15.00
TOTAL					76.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Este tipo de biodigestor tiene características a favor como es el tipo de materia prima, el área para su construcción y su mantenimiento, pero presenta la desventaja que

su tiempo de vida útil no es muy bueno debido a que su campana flotante está hecha de metal y esta se oxida y se corroe por lo que presentó un 76 % de aceptación.

Tabla N° 7: Matriz de preselección para el diseño de domo fijo

BIODIGESTOR TIPO CHINO DOMO FIJO					
	A	B	C	D	E
ITEM	%	ASPECTO EVALUADO	CALIFICACION	C/6	D*A
8.0	5.00	Tipo de materia prima	5.00	1.00	5.00
9.0	15.00	Vida útil	5.00	1.00	15.00
10.0	5.00	Requerimiento de área	5.00	1.00	5.00
11.0	20.00	Costos	3.00	0.60	12.00
12.0	15.00	Construcción	3.00	0.60	9.00
(Continuación...)					
13.0	15.00	Operación y mantenimiento	3.00	0.60	9.00
14.0	25.00	Rendimiento	5.00	1.00	25.00
TOTAL					80.00

Elaborado por el equipo de trabajo

El biodigestor tipo chino o domo fijo tuvo una aceptación del 80 % gracias a sus aspectos a favor como es el tipo de materia prima, la vida útil, su operación y mantenimiento, y por su rendimiento que a través de los años se ha comprobado su alta eficiencia, razones por las cuales elegimos para el diseño de la planta en el relleno sanitario de chilla Juliaca.

4.1.2. Temperaturas promedio en Juliaca

Para calcular el volumen del biodigestor es necesario conocer ciertos parámetros que son muy importantes según Gabriel (2017), se consideró la temperatura mínima promedio, temperatura media, temperatura máxima y temperatura de la biomasa como se puede apreciar en la Tabla N° 8.

Tabla N° 8: Temperaturas promedio en Juliaca

temperatura promedio en Juliaca			
	Temperatura mínima promedio	Temperatura media	Temperatura máxima
°C	5 °C	10 °C	18 °C
días/año	45.00	150.00	170.00

Fuente: (SENAMHI, 2020)

4.1.3. Volumen disponible de residuos orgánicos en Juliaca (RSUT)

Según Huamani Montesinos et al (2020), la ciudad de Juliaca genera 222 toneladas de residuos orgánicos e inorgánicos y que el 42.39 % son de origen orgánico como se puede apreciar en la Figura N° 1.

$$\frac{(\text{RSU orgánicos e inorgánicos}) \left(\frac{\text{tn}}{\text{d}}\right) \times (\text{RSUT orgánicos}) (\%)}{100} \dots\dots\dots (\text{Ec. 1})$$

$$RSUT = \frac{222 \times 42.39}{100} = \frac{9,410}{100}$$

$$RSUT = 94.1$$

$$RSUT = 94,000(\text{kg/d})$$

El distrito de Juliaca llega a generar (RSUT)= 94 Tn/día

4.1.4. Porcentaje de masa seca (MS)

El óptimo porcentaje en la mezcla que se alimenta al biodigestor tuvo un 12 % en residuos orgánicos según Gonzales Guerra et al (2017), y mezclas de biomasa con porcentajes de masa seca > al 13 % son deficientes ya que necesitan sistemas de agitación y sistemas de bombeo en la Tabla N° 9 se observa los porcentajes de mezcla que requiere ciertos sustratos.

Tabla N° 9: Contenido de agua en sustratos

sustrato	contenido de agua (%)
Vinazas	90 - 94
Cereales	12 - 15
Estiércol de cerdo	85 - 95
Gallinaza	65 - 85
Forraje de maíz	65 - 80
Estiércol de ganado	85 - 95
Frutas y verduras	84 - 95

Fuente: (Gabriel, 2017)

4.1.5. Porcentaje de masa volátil (MV)

El porcentaje de la masa volátil (MV) respecto al de los sólidos totales (% de sólidos volátiles o MV) se consideró 90 % como se puede ver en la Tabla N° 10, según Guaman y Salazar (2013). Los residuos que tienen porcentajes menores al 60 % no suelen considerarse bueno para la digestión anaerobia (Gabriel, 2017).

El contenido de la MV es importante ya que solo este porcentaje es el contenido de masa real orgánica en la biomasa. El resto es humedad, o trazas inorgánicas y otras materias que no producen biogás según Moncayo (2015).

4.1.6. Temperatura de la biomasa

Es un estudio realizado por Romero (2018), sobre la temperatura de residuos orgánicos vegetales en puno obtuvo como resultado una temperatura mesofílica promedio entre 12 °C ver anexo 5 de la Figura N° 5.1 la temperatura inicial de la biomasa en residuos orgánicos vegetales generalmente es la temperatura de ambiente, en la Tabla N° 10 se puede apreciar el resumen de los parámetros que influyen en el diseño.

Tabla N° 10: Porcentaje de parámetros que influyen en el diseño

	Volumen diario disponible (t/d)	temperatura de biomasa (°C)	Porcentaje de masa seca (MS) (%)	Porcentaje de masa volátil (MV) (%)
Desechos agroindustriales, mercados, rutas, verduras etc.	94.00	10.00	12.00	90.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Como se puede observar en la Tabla N° 10 se obtuvo el volumen diario disponible 94(T/d) una temperatura de biomasa de 10 °C, un porcentaje de biomasa de 12 % y un porcentaje de masa volátil de 90 %.

4.1.7. Tasa de dilución recomendada (porcentaje de agua)

Esta tasa corresponde al porcentaje de masa que tuvo la mezcla. Entonces se recomienda valores de ≤ 10 %. Ya que porcentajes mayores de dilución pueden inhibir el proceso según Bautista y Aznar (2010).

4.1.8. Cálculo de contenido de masa seca (MS) en %

La cantidad de masa seca es calculada a partir del volumen total (vd). El porcentaje de masa seca (ms) es estimado con un 12 % del total de residuo diario consiguiente se calculó a partir de la (Ec.2).

$$MS\left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}}\right) = VD(t/d) \times MS(\%)$$

MS = contenido de masa seca

VD = volumen diario disponible

MS = porcentaje de masa seca

$$MS\left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}}\right) = 94(t/d) \times 12(\%)$$

$$MS\left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}}\right) = 94,000(kg/d) \times 12(\%)$$

$$MS = 11,280 \text{ kg/d}$$

4.1.9. Cálculo de contenido de masa volátil (MV)

La cantidad de masa volátil se obtiene a partir de la cantidad de masa seca según Guaman & Salazar (2013), se estimó que el contenido de masa volátil es el 90 % del total de la masa seca como se puede ver en la Tabla N° 10, por consiguiente se utilizó la (Ec.3).

$$MV\left(\frac{\text{kg}}{\text{dia}}\right) = MS(kg/d) \times 90(\%)$$

Donde:

MV = contenido de masa volátil

MS = porcentaje de masa seca

90 % = porcentaje de masa volátil

$$MV \left(\frac{\text{kg}}{\text{día}} \right) = 11,280(\text{kg}/\text{d}) \times (90 \%)$$

$$MV = 10,152 \text{ kg}/\text{d}$$

En la Figura N° 14 se muestra de manera gráfica los porcentajes de la cantidad de masa seca, masa volátil y el porcentaje de cantidad de agua que tiene los residuos orgánicos, se puede apreciar que se tiene un 84% de agua respectivamente.

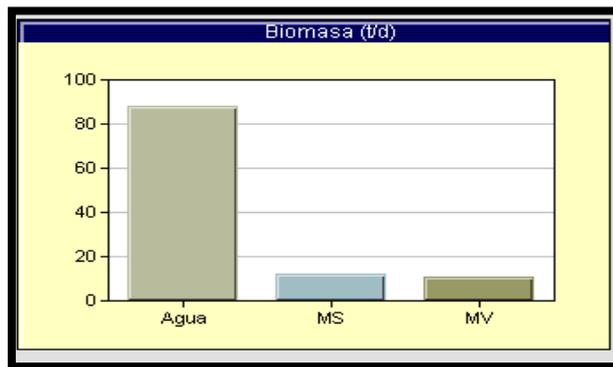


Figura N° 14: Contenido de MV y MS y % de agua
Elaborado por el equipo de trabajo

4.1.10. Cálculo de carga orgánica volumétrica de diseño

Para el cálculo de la carga orgánica con la que se alimenta al biodigestor se utilizó la ecuación (Ec.4).

$$COV(\text{kg. MV} / \text{m}^3 \cdot \text{d}) = \frac{MV}{V}$$

$$COV = \frac{10,152(\text{kg. d})}{5,640(\text{m}^3)}$$

$$COV = 1.80 (\text{kg. MV} / \text{m}^3 \cdot \text{d})$$



Se obtuvo una COV de $1.80 \text{ kg. MV} / \text{m}^3 \cdot \text{d}$ lo cual se encuentra del rango de 1-3 $\text{kg. MV} / \text{m}^3$ de biodigestor/día según Moncayo (2015).

4.1.11. Cálculo de estimación de la cantidad de mezcla de agua (Ma)

Se obtuvo la cantidad de mezcla de agua en base a la ecuación (Ec.5), se calculó a partir de los residuos orgánicos totales generados (RSU), considerando que la masa seca (MS) (%) es de 12 %, como se puede apreciar en la Tabla N° 10.

Se entiende que la tasa de dilución es el 10 % del sólido total según Moncayo (2015), entonces haciendo el respectivo despeje:

$$TD(\%) = \frac{MS(\text{kg. d})}{((RSUT(\text{kg. d}) + Ma(\text{kg. d})))}$$

donde:

TD = tasa de dilución

MS = contenido de masa seca

RSUT = residuos orgánicos totales

Ma = mezcla de agua

$$10\% = \frac{11,280(\text{kg. d})}{(94,000(\text{kg. d}) + (Ma))}$$

$$Ma = \frac{-18800(\text{kg. d})}{-0.1(\text{kg. d})}$$

$$Ma = 18,800(\text{kg/d})$$

Entonces la cantidad requerida de agua para la mezcla es de 18.80m³.

4.1.12. Cálculo de volumen total del afluente al biodigestor (biomasa diaria)

Mediante la (Ec.6) se calculó el volumen total de afluente que ingresa diariamente al biodigestor, el total de RSUT y la mezcla diaria.

$$VA = RSUT(\text{kg/d}) + Ma(\text{kg/d})$$

Donde:



RSUT = residuos orgánicos totales

Ma = mezcla de agua

VA = volumen total del afluyente

$$VA(m^3 \cdot d) = 94,000 + 18,800$$

$$VA = 112,800(kg \cdot d)$$

$$VA = 112,80(m^3 \cdot d)$$

Se obtuvo un afluyente total de $112,80(m^3 \cdot d)$.

4.1.13. Cálculo de volumen requerido del biodigestor

Según el cálculo realizado el contenido de MV:

$$MV = 10,152 \text{ kg/d}$$

En la ecuación 4.1 se calculó una COV que aplica por metro cubico de biodigestor debe de estar en el rango de 1.5-3 kg/m³ de biodigestor por día en la ecuación (Ec.4) se calculó una COV de 1.80 (Kg/m³.d) lo cual se encuentra dentro del rango mencionado por Verdezoto Carvajal (2014), en base al valor obtenido se calculó el volumen del biodigestor mediante la (Ec.7).

$$V(m^3) = \frac{MV(kg)}{COV\left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$

Donde:

V = volumen del biodigestor

MV = contenido de masa volátil

COV = carga orgánica volumétrica

Remplazando datos:

$$V(m^3) = \frac{10,152(kg)}{1,80\left(\frac{kg}{m^3}\right)}$$



$$V = 5,640(m^3)$$

Por lo tanto, para la selección final del biodigestor se aplica (Ec.8),

$$V(m^3) = 5,640 + 2 \%$$

$$V(m^3) = 5,752$$

Se considero un margen del 2 % según Liliana (2018), este margen de seguridad sirve para eventuales variaciones en la cantidad de biomasa disponible diariamente.

4.1.14. Cálculo diámetro del biodigestor

Para determinar el diámetro del biodigestor se utiliza la (Ec.9)

$$V(m^3) = \frac{\pi \emptyset^2}{4} * H \%$$

Donde:

V: Volumen seleccionado del tanque de biodigestor

\emptyset : Diámetro del biodigestor

H: Profundidad del biodigestor

Despejando y dejando en función \emptyset , se obtiene:

$$V(m^3) = \frac{\pi \emptyset^2}{4} * H$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{V * 4}{\pi}}$$

$$\emptyset = \sqrt[3]{\frac{1438 * 4}{\pi}}$$

$$\emptyset = 12.23 \text{ m}$$

Se considero una relación largo ancho de 1.50 el diámetro interno del biodigestor es de 12.23 m por la relación se tendría 18.34 m entonces al aumentarle 0.50 ocupado por el material a cada lado, se calcula un diámetro exterior de 19.34 m.



4.1.15. Cálculo altura del tanque del biodigestor

Teniendo en cuenta el resultado de la (Ec.9) se obtuvo la altura real mediante la (Ec.10).

$$H = \frac{V * 4}{\pi * \emptyset^2} * H$$
$$H = \frac{1076 * 4}{(\pi * (19.34)^2)}$$
$$H = 4m$$

Por lo tanto, se tiene una altura de 4m por lo que a esa altura se le debe sumar 0.40m de base según Moncayo (2015), por consiguiente se tendría una altura final de 4.40 m.

4.1.16. Cúpula superior del biodigestor

Se obtuvo el cálculo de la cúpula superior mediante la (Ec.11), según Verdezoto Carvajal (2014).

$$f1 = \frac{1}{8} * \emptyset$$

Donde f1 = altura de la cúpula superior

$$f1 = \frac{1}{8} * 19.34$$
$$f1 = 2.41$$

La altura en la parte superior de la cúpula es de 2.41m y un diámetro de 19.34m

4.1.17. Tanque de alimentación

El tanque de alimentación se calculó mediante la (Ec.12) de acuerdo al biodigestor que seleccionamos en este caso de tipo “chino” su figura geométrica será de forma cuadrada debido a que su mezcla es continua según Gonzales Guerra et al (2017), y se dimensiono en base a la carga diaria o afluyente según Gabriel (2017).

$$LLCE = \sqrt[3]{VA(m^3 \cdot d)}$$



Donde:

LLCE = Longitud de los lados del tanque de alimentación.

VA = Volumen del afluente

$$LLCE = \sqrt[3]{112(m^3 \cdot d)}$$

$$LLCE = 4.82m$$

Por lo tanto se dimensiono el tanque de alimentación con 4.82 m de longitud: pero dada a las condiciones del mezclado diario, se dimensiono más el 5 % a sus longitudes esto según Verdezoto Carvajal (2014) para la altura es recomendable de 1.40 según Gabriel (2017).

$$TA = 5.06 * 5.06 * 140$$

$$TA = 35.84m^3$$

$$TA = (5.06 - 0.20) * (5.06 - 0.20) * (140 - 0.20)$$

$$TA = 28.34m^3$$

entonces se obtuvo las medidas de 5.06 m de largo y 5.06 m de ancho y su altura de 1.40 dando como resultado el tanque de alimentación de 35.84 m^3 restando de longitud 0.20 m de ancho, largo y altura de hormigón y teniendo en cuenta que son 4 tanques de alimentación para cada biodigestor por lo tanto el volumen fue 28.34 m^3 diseño que se puede apreciar en el Anexo 1 plano 8.

4.1.18. Laguna de descarga

Para el cálculo de laguna de descarga se aplicó la (Ec.14), en este caso el biodigestor fue diseñado en base a la COV, por lo que está en la capacidad de degradar un 75 % de la carga orgánica según Moncayo (2015), considerando que se tomó 1.500 mg/l de carga contaminante en aguas superficiales ver anexo 5 Figura N° 5.2 de la tabla descargas en aguas superficiales de sólidos disueltos de la clase B según Secretaria de estado de medio ambiente y recursos naturales (2001).



$$V_{cc} = Q(m^3) \times 1.500\left(\frac{mg}{l}\right)$$

Donde:

Q = caudal del afluente

1.500 mg/l = Carga contaminante

V_{cc} = Volumen de carga contaminante

$$V_{cc} = 112(m^3) \times 1.500\left(\frac{mg}{l}\right)$$

$$V_{cc} = 168kg/dia$$

Se tiene entonces el volumen de carga contaminante de 168 kg/día las cargas orgánicas máximas permisibles en lagunas aeróbicas con alturas de 1 – 2 metros son de 0.50 kg.DQO m³.d según Gabriel (2017), entonces $V_{cc} = 126 kg/dia / 0.50 kg.DQO m^3.d$ como resultado se obtuvo una laguna de descarga de 336m³ de volumen para los 4 biodigestores, diseño que se aprecia en el Anexo 1 plano 10.

4.1.19. Lecho de secado de lodos

Se dimensiono en base a la cantidad de lodos que se extraen al día en kg/m² de área mediante la ecuación (Ec.15), esto también depende a la tasa de aplicación de lodos se considero 25 kg/m² para temperaturas menores a 21 °C según Moncayo (2015), para este caso considera que el 70 % de MV se transforma en biogás el resto son los lodos que se descargara en lecho.

$$Mvd = PB \left(\frac{Nm^3}{d} \right) * 1.25kg/m^3 \frac{mg}{l}$$

Donde:

Mvd = masa volátil degrada

1.25 kg/m³ = peso específico del biogás

PB = producción de biogás



$$Mvd = 4.499 \left(\frac{Nm^3}{d} \right) * 1.25kg/m^3$$

$$Mvd = 4.723 \left(\frac{kg}{d} \right)$$

Restando el peso específico por el vapor de agua se obtuvo un peso específico de $1.05 kg/m^3$ lo cual se obtuvo una masa volátil degradada de $6,343 \left(\frac{kg}{d} \right)$ si se considera que para $25 kg$ se necesita $1 m^2$ de área del lecho para entonces para $6,343 \left(\frac{kg}{d} \right)$ se requirió $253 m^3$ ver Anexo 1 del plano 12.

4.1.20. Cálculo del volumen de la cúpula

La cúpula o campana es parte de una esfera y su volumen VC está en el rango de 20 % del volumen del biodigestor según Liliana (2018). Dicho volumen se obtuvo mediante la (Ec.16).

$$VC(m^3) = V(m^3) x 0.20(m^3)$$

Donde:

VC = volumen de cúpula o campana

V = volumen requerido de biodigestor

0.20 = rango del volumen del V.

$$VC(m^3) = 5,640(m^3) x 0.20(m^3)$$

$$VC = 1,128(m^3)$$

Por lo tanto, se obtuvo un volumen general de cúpula de $1,128(m^3)$, entonces el volumen para cada biodigestor fue de $282(m^3)$.

4.1.21. Calculo Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Se obtuvo el tiempo de retención mediante la (Ec.17), esto depende también de la temperatura de proceso y del medio ambiente a mayor THR mayor es el volumen del



biodigestor entonces actualmente tenemos un tanque con un volumen de $4,200(m^3)$ y un caudal de $84 (m^3 \cdot d)$.

$$TRH = \frac{V(m^3)}{VA (m^3 \cdot d)}$$

Donde:

TRH = tiempo de retención hidráulica

V = volumen del biodigestor

VA = Volumen total del afluente

$$TRH = \frac{5,640(m^3)}{112 (m^3 \cdot d)}$$

$$TRH = 50 d$$

El tiempo de retención del afluente dentro del biodigestor es de 50 días

4.1.22. Cálculo de producción de biogás y toneladas equivalentes CO₂

la cantidad de biogás promedio que se genera según Moncayo (2015), oscila entre 0.75 y $1.15 m^3$ biogás por m^3 de biodigestor, en la Tabla N° 11 podemos observar la cantidad de biogás que se obtiene de diferentes residuos orgánicos en base a su contenido de MS.

Tabla N° 11: Producción de biogás y metano de diferentes sustratos

Sustrato	MS (%)	MV (%)	Producción de biogás m ³ /kg MV	Metano m ³ ch ₄ /kg MV	Metano
Panes viejos	90.00	97.00	0.80	0.60	75.00
Vinazas de manzana	3.00	95.00	0.53	0.33	62.00
Mostos de manzana	25.00	86.00	0.70	0.33	47.00
Mostos de cervezas	25.00	66.00	0.70	0.38	54.00
Desechos Domiciliarios	68.00	50.00	0.65	0.40	62.00
Grasas de Separadores	50.00	96.00	1.00	0.70	70.00
Lodos de Depuradoras	18.00	92.00	1.00	0.70	70.00
Desechos de verduras	15.00	84.00	0.60	0.40	67.00
Cereales	88.00	97.00	0.65 - 0.72	0.38	53.00

Fuente: (Moncayo, 2015)

La cantidad de biogás que obtuvo a continuación se expresan en relación a la masa volátil $m^3/\text{kg.MV}$, como $\frac{m^3}{\text{kg}} \cdot DQO$ o en litros por kilogramo de MS $\frac{1}{\text{kg}} \cdot MS$ o metros cúbicos por tonelada de masa húmeda $\frac{m^3}{t}$, MH

Como se mencionó anteriormente la producción de biogás oscila entre 0.75 y 1.15 m^3 biogás por m^3 de biodigestor para este caso se tomará en cuenta el valor medio 1.05 m^3/d de biogás por cada metro cubico de biodigestor, entonces:

$$PB (Nm^3/h) = 1.05(m^3/d) \times V(m^3) \quad \dots \text{(Ec.18)}$$

Donde:

PB = producción de biogás por día

1.05 = producción específica de biogás por m^3/h al día

V = volumen requerido del biodigestor

$$PB (Nm^3/d) = 1.05 \left(\frac{m^3}{d} \right) \times 5,752(m^3)$$

$$PB = 6,039(Nm^3/h) \text{ por día}$$

$$PB = 2,204,454(Nm^3/h) \text{ por año}$$

Para garantizar la alta producción de biogás y mantener una buena eficiencia de degradación durante todo el proceso de biodigestión por medio de la medición diaria PH, redox, temperatura, FOS/TAC y la producción de biogás.

4.1.23. Cálculo de dimensionamiento de generador a biogás

Tal como se indicó anteriormente el biogás tiene un poder calorífico $6,25 \text{ kw/m}^3$. Para dimensionar un generador se consideró el grado de eficiencia de todas las unidades que componen el generador y las pérdidas de energía por el movimiento mecánico del motor y alternador.

De manera muy simple y para efectos de una rápida estimación, se asumió que 1m^3 de biogás con el 65 % de metano puede producir un estimado de 2,2 kW de electricidad.

Tabla N° 12: Características del biogás

	Unidad	Biogás	GN	Propano	CH4	H
Poder calorífico	kW/m ³	6.00	10.00	26.00	10.00	3.00
Densidad	kg/m ³	1,2	0,7	2.01	0.72	0.09
Densidad con relación a aire		0,9	0.54	1.51	0.55	0.07
Temperatura de encendido	°C	700.00	650.00	470.00	595.00	585.00
Velocidad de expansión en el aire	m/s	0.25	0.39	0.42	0.47	0.43
Límites para explosión	Vol. %	6 - 22	4,4 - 15	1,7 - 10,9	4,4 - 16.5	4 - 77
Requerimientos de aire para combustión	m ³ /m ³	5,7	9,5	23,9	9,5	2,4

Fuente: (Moncayo, 2015)

Para el cálculo siguiente se quiere de los siguientes datos:

Producción de biogás en los biodigestores.

Este valor debe indicar la producción real que va a obtener el biodigestor



Eficiencia total del módulo de generación.

Esto nos indica la eficiencia del motor y alternador, por lo general este porcentaje es de 85 %.

Porcentaje de metano contenido en el biogás.

En este caso se calculó el valor promedio de % de metano en la mezcla de biogás. El porcentaje, se estimó considerando el volumen de biogás que produce cada biomasa y su respectivo % de metano. El % de metano en el biogás, es de aproximadamente 55 - 75 %.

Grado de eficiencia eléctrica del generador

Este valor es de aproximadamente de 30 – 38 %

Grado de eficiencia eléctrica del generador

Este valor está en el orden del 65 - 75 %

Datos:

Producción de biogás por día

$$PB = 6,039(Nm^3/h)$$

% de metano contenido en el biogás

$$\%CH_4 = 55 \%$$

Producción de metano (CH₄) por día $\frac{m^3}{h}$

$$PCH_4 = 6,039(Nm^3/h)/55(\%)$$

$$PCH_4 = 3,321.45(m^3/h)$$

Por lo tanto, se obtuvo una producción de biogás de $6,039(Nm^3/h)$ y un gas metano de $3,321.45(Nm^3/h)$ y el % de eficiencia de producción de energía del motor y alternador = 30 %

4.1.24. Cálculo de producción diaria de electricidad

Teniendo en cuenta que el poder calorífico del gas metano por $m^3 = 10 \text{ kW/m}^3$ cómo se puede apreciar en la Tabla N° 12, la producción de electricidad se efectuó mediante la (Ec.19).

Donde:

PE = producción diaria de electricidad

PCH4 = producción de metano

10 kW = poder calorífico de gas metano por m^3

0.30 eficiencia motor y alternador

$$PE(kwh) = PCH4 \left(\frac{Nm^3}{h} \right) x (10kwhm^3) x (\%eficiencia) \quad \dots (Ec.19)$$

$$PE = 3,321.45 \left(\frac{Nm^3}{h} \right) x (10kwhm^3) x (0.30)$$

$$PE = x 9,964.35(kwh/dia)$$

4.1.25. Cálculo de Potencia Eléctrica Nominal del generador

Se estimo mediante la (Ec.20),

$$P = PE(kwh/d)/24h \quad \dots (Ec.20)$$

$$P = 9,964.35(kwh/d)/24h$$

$$P = 415(kw)$$

Se considero que se instale una unidad de generación con una unidad de 20 % mayor que la nominal según Aqualimpia (2013).

$$P = 498(kw)$$

Por lo tanto, la potencia calculada fue de 498(kw) esto para evitar problemas futuros como sobrecargas o mayor producción de biogás.

4.1.26. Dimensionamiento de la planta mediante el software biodigestor pro

Este es un programa que nos permitió el ingreso de hasta 5 tipos de residuos combinados con otros tipos de biomasa y aguas residuales. Programa que te dimensiono y diseño el biodigestor, este programa nos permitió el dimensionamiento de las estructuras (tanque de alimentación, biodigestor, laguna de descarga, lecho de secados, tuberías. Nos brindó también la producción de biogás, potencia a instalar en kW (Aqualimpia, 2013), a continuación se mostrara el desarrollo del programa.

En la Figura N° 15 se muestra el primer panel donde se ingresaron los datos de biomasa, en este caso se seleccionó un tipo de biomasa (mercados, restaurantes), posteriormente se ingresó la cantidad de masa orgánica 94tn/d, la temperatura promedio de la biomasa es de 10°C, el porcentaje de masa seca es de 12%, el porcentaje de masa volátil de 90% y como resultado de los contenidos de masa seca y masa volátil se obtuvo una MS de 11,280 kg/d y una MV de 10,152 kg/d.

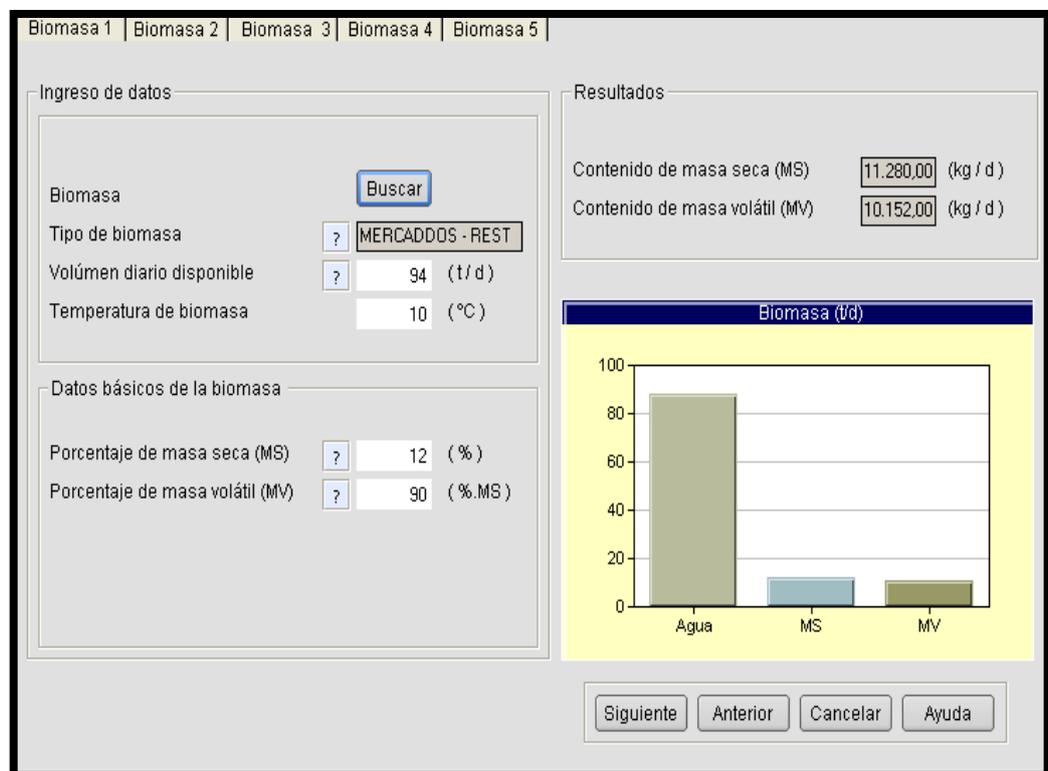


Figura N° 15: Datos ingresados al biodigestor pro versión 3.5
Elaborado por el equipo de trabajo

Se muestra en la Figura N° 15 los parámetros importantes que requirió la planta de biodigestión como la tasa de dilución recomendada de 10 % que tiene la planta, el volumen de agua adicional para la mezcla 18.80 m³, el volumen total del afluente al biodigestor 112m³/d tiempo de retención hidráulica 50 d, volumen requerido del biodigestor 5,640 m³, margen de seguridad 2%, volumen seleccionado del biodigestor 5,752 m³, temperatura de proceso para clima frio 35°C y la carga orgánica volumétrica de 1,76 kg/m³/d.

Dimensionamiento de biodigestor		
Volúmen total de biomasa	94,00	(t/día)
Masa seca de la mezcla (MS)	11.280,00	(kg /día)
Masa volátil de la mezcla (MV)	10.152,00	(kg /día)
Tasa de dilución recomendada	? 10	(%)
Volúmen de agua adicional para mezcla	? 18,80	(m ³)
Volúmen total de afluente al digestor	? 112,80	(m ³ /día)
Tiempo de retención hidráulica (TRH)	? 50	(días)
Volúmen requerido de biodigestor	? 5.640,00	(m ³)
Margen de seguridad	? 2	(%)
Volúmen seleccionado de biodigestor	5.752,80	(m ³)
Temperatura de proceso	? 35,00	(°C)
Carga orgánica volumétrica	? 1,76	(kg/m ³ .d)

Figura N° 16: Dimensionamiento de biodigestor

Elaborado por el equipo de trabajo

Masa seca	11.280,00	(kg/día)
Masa volátil	10.152,00	(kg/día)
Porcentaje de MV resistente a degradación	? 3	(% de MV)
Coefficiente de decaimiento k	? 0,06	(/día)
Concentración de masa volátil en efluente	? 24,53	(kgMV/m ³)
Masa volátil en efluente	? 2.766,98	(kgMV/día)
Eficiencia de conversión de sólidos volátiles	? 72,74	(%)
Eficiencia biodegradabilidad sólidos volátiles	? 74,99	(%)

Figura N° 17: Porcentajes y eficiencias de degradación

Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura N° 17 se observa el porcentaje de masa volátil resistente a la degradación 3% porcentaje que no se puede degradar debido a contaminantes inhibidores,

coeficiente de decaimiento k 0.06 /d esto indica la tasa de decaimiento que podría tener la producción de biogás, la concentración de masa volátil en el afluente 24.53 kgMV/m³ y la masa volátil en el afluente de 2,766.98 kgMV/d, la eficiencia de conversión de sólidos volátiles de 72,74% capacidad de convertir los residuos orgánicos a biogás y una eficiencia de biodegradabilidad de 74.99 %.

En la Figura N° 4.5 se observa las equivalencias energéticas del biogás por día y año.

Equivalencias energéticas biogás		
	(Por día)	(Por año)
Biogás (Nm ³)	4.499	1.642.241
BTU	87.390.852	31.897.661.035
Mega Joule	92.202	33.653.814
M.cal	22.022	8.038.083
MWhe	7	2.671
HP.h	34.406	12.558.134
BHP	2.611	952.880
Ton TNT	22	8.050

Figura N° 18: Equivalencias energéticas de biogás
Elaborado por el equipo de trabajo

Una vez obtenido los parámetros como se puede ver en la Figura N° 16 y 19 para la implantación del biodigestor, primeramente, se seleccionó el tipo de construcción del biodigestor en este caso tipo chino sobre tierra y de hormigón armado, el volumen útil que requiere cada biodigestor es de 1438m³, el número de biodigestores recomendado debe estar entre (4) para un volumen total requerido en los rangos de 3000 a 5000m³.

Figura N° 19: Geometría, diseño y dimensionamiento del biodigestor
Elaborado por el equipo de trabajo

En la Figura N° 20 se muestra los tipos de aislamiento para el biodigestor, coeficientes de transmisión de calor w/m^2k , espesor para este caso se seleccionó la espuma flex (poliestireno) con un coeficiente de $0.02 w/m^2k$, espesor de $0,05$ y un requerimiento de energía del calefactor y agitador de 13.7 o 46.77 Btu/h.

Tipo de aislante	Coefficiente transmisión de calor (k) (w/m ² k)	Espesor (cm)
<input type="radio"/> Sin aislante		
<input type="radio"/> Tablero de madera prensada	0,10	0,05
<input type="radio"/> Plancha de corcho	0,09	0,05
<input type="radio"/> Plancha de estopa de coco	0,05	0,05
<input type="radio"/> Plancha de celulosa	0,045	0,05
<input type="radio"/> Plancha de lana natural	0,04	0,05
<input type="radio"/> Plancha de lana de oveja	0,037	0,05
<input type="radio"/> Lana de vidrio	0,035	0,05
<input type="radio"/> Styrodur (Bayer)	0,034	0,05
<input checked="" type="radio"/> Espuma flex (poliestireno)	0,02	0,05

Figura N° 20: Requerimientos de energía para calefacción y agitación
Elaborado por el equipo de trabajo

4.2. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL BIODIGESTOR

4.2.1. Resultados de contenidos de masa seca, contenido de masa volátil tasa de dilución volumen de agua adicional volumen total del afluente y dimensionamientos de la planta.

Tabla N° 13: Resultados del porcentaje de contenidos de masa

Porcentajes De Masas			
ITEM	unidad	Calculo	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Volumen total de Biomasa	(t/día)	94.00	94.00
Contenido de masa Seca	(kg/día)	11,280.00	11,280.00
Contenido de masa volátil	(kg/día)	10,152.00	10,152.00
Tasa de dilución	(%)	10.00	10.00
Volumen de agua adicional para mezcla	(m3)	18.80	18.80
Volumen total del afluente al digestor	(m3)	112.00	112.00

Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla N° 13 se observa los resultados obtenidos a partir de la cantidad de residuos orgánicos generados en el año 2020 en la ciudad de Juliaca ver Tabla N° 5.

Tabla N° 14: Tiempo de retención hidráulica y volúmenes requeridos

Volúmenes Requeridos De Biodigestor y TRH			
ITEM	unidad	CALCULO	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Tiempo de retención hidráulica	(día)	50.00	50.00
Volumen requerido de biodigestor	(m3)	5,640.00	5,640.00
Margen de seguridad	(%)	2.00	2.00
Volumen seleccionado de biodigestor	(m3)	5,752.00	5,752.00
Temperatura de proceso	(°C)	35.00	35.00
Carga orgánica volumétrica	(kg/m3.d)	1.80	1.76

Elaborado por el equipo de trabajo



En la Tabla N° 14 se resumen los cálculos realizados del TRH volumen requerido y seleccionado de biodigestor, temperatura de proceso que se requiere en el interior del biodigestor, temperatura que fue asumida por el software biodigestor pro, al igual que la carga orgánica volumétrica y el tiempo de retención hidráulica mediante la (Ec.17).

Tabla N° 15: Digestor y dimensionamiento
Cantidades y dimensiones del biodigestor

ITEM	unidad	CALCULO	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Numero de biodigestores	(uní)	4.00	4.00
Volumen máximo de cada biodigestor	(m3)	1,438.00	1,438.00
Altura de biodigestor	(m)	4.00	4.50
Borde libre	(m)	0.40	0.50
Diámetro de biodigestor	(m)	19.34	20.17
Espesor de hormigón armado	(m)	0.50	0.50
Altura total	(m)	4.40	4.50

Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla N° 15 se observa el resumen de las dimensiones y espesores con los cálculos realizados mediante las ecuaciones (Ec.8), (Ec.9), (Ec.10) y (Ec.11), paralelamente se hace los cálculos mediante el software biodigestor pro.

Tabla N° 16: Dimensionamientos del tanque de alimentación
Cantidades y dimensiones del tanque de alimentación

ITEM	unidad	CALCULO	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Numero de tanques de alimentación	(uni)	4.00	4.00
Volumen máximo de cada tanque	(m3)	23.02	28.20
Altura de tanque de alimentación	(m)	1.20	1.20
Borde libre	(m)	0.20	0.20
Altura total	(m)	1.40	1.40
Largo	(m)	4.82	5.94
Ancho	(m)	4.82	3.96

Elaborado por el equipo de trabajo

Resultado del número de tanques de alimentación que se requiere para el aprovechamiento de 70 Tn de residuos orgánicos, volumen máximo de cada tanque de alimentación calculados mediante las ecuaciones, (Ec.12), (Ec.13).

Tabla N° 17: Resultados del dimensionamiento del tanque de descarga
Cantidades y dimensiones del tanque de descarga

ITEM	unidad	CALCULO	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Numero de tanques de descarga	(uni)	1.00	1.00
Volumen máximo de cada tanque de descarga	(m3)	336.00	338.00
Altura de tanque de descarga	(m)	1.20	1.20
Borde libre	(m)	0.20	0.20
Altura total	(m)	1.40	1.40
Largo	(m)	20.57	20.57
Ancho	(m)	13.71	13.71

Elaborado por el equipo de trabajo

Resultados del tanque de descarga, en este caso un solo tanque de descarga para la planta, dimensiones obtenidas a través de las ecuaciones (Ec.14).

Tabla N° 18: Resultados y dimensionamientos del lecho de secados
Cantidades y dimensiones del lecho de secados

ITEM	unidad	CALCULO	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Numero de tanques de lecho de lecho de secado	(uni)	1.00	1.00
Volumen máximo de cada lecho de secado	(m3)	253.00	425.68
Altura de tanque de Lecho de secado	(m)	1.20	0.50
Borde libre	(m)	0.20	0.20
Altura total		1.40	0.70
Largo		15.42	17.87
Ancho	(m)	15.42	11.91

Elaborado por el equipo de trabajo

Resultados obtenidos a través de la ecuación (Ec.15).

4.3. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS Y ENERGÍA ELÉCTRICA

4.3.1. Resultados de la Producción de Biogás y Gas Metano

Resultados obtenidos a partir de la ecuación ... (Ec.18), y porcentajes de remoción y metano en el biogás obtenidos a través del software biodigestor pro ver anexo 2 Figura N° 2.6.

Tabla N° 19: Producción de biogás, metano y eficiencia de remoción
Producción de biogás

ITEM	unidad	CALCULO	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Eficiencia de remoción MV	(%)		72.74
Producción de metano	(m3)	3,321.45	3,323.05
Porcentaje de metano en biogás	(%)	55.00	55.00
Producción de biogás por día	(Nm3/h)	6,039.00	6,041.91
Producción de metano CH4	(t/d)		2.38
Toneladas Equivalentes c02	(t/d)		18,249.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 20: Disponibilidad de energía neta para la unidad de generación
Energía disponible para la unidad de generación

ITEM	unidad	CALCULO	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Producción de biogás por día	(Nm3/h)	6,039.00	6,041.91
Grado total de eficiencia unidad de generación	(%)		85.00
Producción de energía bruta	(kW/d)		28,076.00

Elaborado por el equipo de trabajo

4.3.2. Resultados de la producción de energía eléctrica

Resumen de resultados de la posible generación de energía eléctrica por día, horas de operación del generador y la potencia necesaria del generador.

Tabla N° 21: Producción de energía eléctrica
Producción de energía eléctrica

ITEM	unidad	CALCULO	BIODIGESTOR PRO
		cantidad	cantidad
Eficiencia eléctrica de sistema de generación	(%)	30.00	35.00
Energía eléctrica por día	(kW/h)	9,964.35	9,827.00
Generación de energía eléctrica por mes	(kW/h)	298,930.5	298,892.00
Generación de energía eléctrica por año	(kW/h)	3,636,987.75	3,586,709.00
Horas de operación por día	(h)	24.00	24.00
Potencia eléctrica nominal de generador	(kW)	415.00	409.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Resumen de resultados de la producción de energía mediante el software y las ecuaciones (Ec.19), (Ec.20),

4.3.3. Resultados de la producción de energía calorífica

Resultados de la eficiencia calorífica del sistema de generación, la producción de energía calorífica y la potencia calorífica

Tabla N° 22: Producción de energía calorífica, potencia calorífica

Producción de energía calorífica			
		CALCULO	BIODIGESTOR PRO
ITEM	unidad	cantidad	cantidad
Eficiencia calorífica sistema de generación	(%)		65.00
Producción de energía calorífica	(kW/h) día		18.249
Potencia calorífica	(kW)		760.00

Elaborado por el equipo de trabajo

4.3.4. Resultados de la producción específica de biogás y metano

Resultados de la producción específica de biogás por m³ de biodigestor.**Tabla N° 23: Producción específica de biogás**

Producción específica de biogás (Nm³)			
		CALCULO	BIODIGESTOR PRO
ITEM	Unidad	cantidad	cantidad
Por m ³ de biodigestor	(Nm ³ /h)		1.05
Por m ³ de biomasa	(Nm ³ /m ³)		64.28
Por kg de masa seca	(m ³ /kg.ms)		0.54
Por kg de masa volátil	(m ³ /kg.mv)		0.60

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 24: Producción específica de CH₄

Producción específica de ch₄ (Nm³)			
		CALCULO	BIODIGESTOR PRO
ITEM	unidad	cantidad	cantidad
Por m ³ de biodigestor	(Nm ³ /h)		0.58
Por m ³ de biomasa	(Nm ³ /m ³)		35.35
Por kg de masa seca	(m ³ /kg.ms)		0.29
Por kg de masa volátil	(m ³ /kg.mv)		0.33

Elaborado por el equipo de trabajo

4.3.5. Resultados de las capacidades de los equipos electromecánicos

Tabla N° 25: Capacidades de equipos electromecánicos
Equipos electromecánicos

BIODIGESTOR PRO			
ITEM	unidad	cantidad/biodigestor pro	capacidad
Filtro de remoción h ₂ s	(m ³ /h)	1.00	252.00
generador	(kW)	1.00	409.00
Quemador de biogás	(m ³ /h)	1.00	252.00
Agitadores por biodigestión	(kW)	1.00	14.4.70
Sistema de calefacción sin aislamiento	(kW)	4.00	18.01
Sistema de calefacción con aislamiento (espuma flex - poliestireno) espesor de 0.05	(kW)	4.00	13.7
Mezclador de tanque de alimentación	(kW)	4.00	0.50

Elaborado por el equipo de trabajo

En la Tabla N° 25 se pueden apreciar las capacidades de los equipos electromecánicos que se requiere para la planta, en el caso del sistema de calefacción se consideró dos propuestas, sin aislamiento y con aislamiento, esto para no tener muchas pérdidas de calor a través de las paredes de los biodigestores, para el aislamiento se propone el material de espuma flex poliestireno con un espesor de 0.05 cm y un coeficiente de calor de 0.02 (Wm²k) según Gabriel (2017), es el coeficiente con mayor eficiencia, entonces una vez obtenido se desarrolla en el software biodigestor pro para el requerimiento de potencia termina que necesita el sistema de calefacción con aislamiento que es de 13.07 kW.

4.4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Se analizan y explican el resultado del diseño y dimensionamiento, y se comparan con los conocimientos previos que en seguida se describe:



Basado en los resultados obtenidos, podemos decir que la presente propuesta de diseño es dable ya que permite aprovechar los residuos orgánicos de manera óptima y la generación de biogás y energía ya que se determinó los parámetros básicos para el cálculo y dimensionamiento, a partir de los hallazgos encontrados.

Por consiguiente Según Guaman & Salazar (2013), en su estudio propuesto del diseño biodigestor; teniendo en cuenta la condiciones propias del lugar, como es el caso de su temperatura ambiente de 10°C, ya que su temperatura es similar a la de Juliaca se puede afirmar que diseñar un biodigestor en temperaturas bajas es aceptable, pero dicho estudio no cuenta con un sistema de calefacción por ende su TRH es mucho mayor a nuestro estudio realizado entonces según Gabriel (2017), en su proyecto realizado afirma que si se tiene un sistema de calefacción en un biodigestor mejoras el proceso anaeróbico y mejora la obtención de biogás.

Según objetivo específico, “Diseñar un biodigestor Eficiente capaz de aprovechar la energía de los residuos orgánicos”, para la selección del tipo de biodigestor se realizó una matriz de preselección que se generó en las tablas 6 y 7, donde se determinó el tipo Chino de campana fija, en la Tabla N° 15 nos muestra las cantidades y dimensiones del biodigestor así mismo en la Tabla N° 16 las dimensiones del tanque de alimentación, en la table 17 dimensiones del tanque de descarga, en la Tabla N° 18 dimensiones del lecho de secados.

Viendo estos resultados, según Verdezoto Carvajal (2014), en su estudio también selecciono el tipo de biodigestor modelo Chino campana fija concluyendo que tiene una aceptación del 80%. Así mismo Aqualimpia (2013), en su proyecto de biodigestores Linares – México de igual manera diseño 4 biodigestores tipo Chino sobre tierra respectivamente con un tanque de alimentación, laguna de descarga, lecho de secados y casa de máquinas. Por otro lado Mago et al. (2014), diseño una planta de biodigestión que



aprovecho 70tn de residuos, donde selecciono el biodigestor tipo laguna por las condiciones de zona en este caso tropical.

Por ello se concluye que el modelo de biodigestor tipo chino es más aceptable si se quiere aprovechar grandes cantidades de materia orgánica en zonas frías, ya que su construcción es de concreto armado aislado y adaptable a un sistema de calefacción como se puede apreciar en la Figura N° 4 en cuanto al diseño de biodigestor tipo laguna solo es favorable en zonas cálidas ya que su diseño de construcción es básico,

Según objetivo específico, “Estimar la cantidad total de producción de biogás y energía eléctrica que generaría la planta de biodigestión”, para la generación de biogás se aprecia la cantidad estimada de biogás, en la Tabla N° 19 se muestra la producción de biogás por día, en la Tabla N° 21 se aprecia la producción de energía eléctrica por día, se puede afirmar que la producción de biogás y energía eléctrica es dable para el objetivo anteriormente mencionado. Resultados que al ser confrontados según Mago et al. (2014), en su estudio menciona que con la carga de residuos ganaderos con un peso total de estiércol 73100 Kg por día con la construcción de dos biodigestores utilizada en esta investigación, se puede suministrar electricidad a todo el Estado Guárico (Estado ubicado en el medio de Venezuela), dado que la producción de electricidad es de 1.331.996,87 kW/h en un año y una producción de biogás de 2056.77 Nm³/h por día, así mismo según Aqualimpia (2013), en su proyecto de biodigestores Linares – México obtuvo la generación eléctrica que se produce 800 Kw de (potencia instalada) aprovechando 85tn/d de residuos orgánicos domiciliarios.

Entonces comparando los resultados de producción de biogás y energía según Mago et al. (2014), su producción de biogás y energía es la tercera parte de nuestros resultados de producción, como se puede apreciar en la Tabla N° 19 y 21, su estudio aprovecho 73tn/día teniendo una diferencia de 21tn/día con nuestro estudio, la diferencia



de producción de energía es notoria sin importar las ventajas del clima (cálido), vale decir que si un biodigestor tiene un sistema de calefacción y agitación habrá mayor productividad de biogás y energía.



V. CONCLUSIONES

PRIMERO:

Se concluye que la propuesta de diseño del biodigestor es aceptable ya que permite aprovechar energéticamente los residuos orgánicos generados en el relleno sanitario de Chilla – Juliaca, mediante los parámetros obtenidos para el cálculo y dimensionamiento de la planta de biodigestión y su generación de biogás y energía eléctrica.

SEGUNDO:

El modelo aceptable para diseño y dimensionamiento de planta de biodigestión es el modelo tipo “Chino” de campana fija, sobre tierra, obteniéndose como resultado 4 biodigestores de 1,438 m³, altura de 4.00 m, borde libre 0.50m, diámetro de digestor 19.34 m, espesor de las paredes 0.50m, un tanque de alimentación de 28.34 m³ para cada digestor con una altura de 1.40, largo de 5.06, ancho 5.06 m. Un tanque de descarga de 336 m³, altura de 1.40 m, largo de 20.57 m, ancho de 13.71 m, Un lecho de secados de 253 m³.

TERCERO:

Se estimo una producción de gas metano de 3,321.45 m³ por día, producción de biogás de 6,039.00 Nm³/h por día, una generación de energía eléctrica por día de 9,964.35 kW/h, la potencia del generador de 498 kW, para la producción de energía eléctrica y agua caliente se seleccionó el motor cogenerador AQL genset modelo LSA 49.1 con una potencia eléctrica de 550 kW, y una potencia térmica de 670 kW además que permite la conexión a la red eléctrica.



VI. RECOMENDACIONES

PRIMERO:

Se recomienda usar en futuras investigaciones el presente estudio como base para la selección de biodigestores adecuados para climas de baja temperatura como implementar un sistema de calefacción adecuado que eleve la temperatura para acelerar la producción continua de biogás.

SEGUNDO:

En futuras gestiones se sugiere implantar un vertedero controlado y gestionado ya que es una necesidad medioambiental para la más fácil clasificación de residuos orgánicos y así mejorar la producción continua de biogás y así mismo capacitar a la población sobre el manejo adecuado de residuos orgánicos.

TERCERO:

Estudiar en futuras investigaciones otros tipos de residuos orgánicos por ejemplo las aguas residuales que se encuentra ubicado en el mismo relleno sanitario esto sería una alternativa muy conveniente para el aprovechamiento energético de estas aguas, para su posterior generación de biogás.



VII. REFERENCIAS

- Allen, D. (2010). Diseño y construcción de un digestor anaerobio de flujo pistón que trate los residuos generados en un explotación ganadera de la localidad de Loja, Ecuador utilizando las tecnologías Apropriadas. 54. http://www.gessa-ex.es/documentos/publicaciones/guia_odt.pdf
- Aqualimpia, G. (2013). Control de proceso en biodigestores. 10. <https://www.aqualimpia.com/descargas/proyectos/>
- Arrieta-palacios, W. (2016). Diseño de un Biodigestor Domestico Para Aprovechamiento Energetico del Estiercol de Ganado.
- Baculima Pintado, M. V., & Rocano Tenezaca, G. C. (2015). Estudio para la determinación de la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues. 107. <http://www.dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7907/1/UPS-CT004750.pdf>
- Bautista, A., & Aznar, A. (2010). Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. In UNIVERSIDAD Carlos III de Madrid. UNIVERSIDAD Carlos III de Madrid.
- Díaz de Basurto Burgos, A. (2013). Diseño, Construcción Y Puesta En Marcha De Un Biodigestor Anaerobio Con Residuos Orgánicos Generados En El Mercado De Tiquipaya (Bolivia). 800.
- Enginnering, A. (2020). No Title. <https://www.aqualimpia.com/equipos-biodigestores/>
- Euides, B., & Ramirez, E. (2012). Propuesta Para El Diseño De Un Biodigestor Para El Aprovechamiento De La Materia Orgánica Generada En Los Frigoríficos De Bogotá. August, 93.
- Gabriel, M. (2017). Estudio Del Biogas En Biodigestores. 11.
- Gonzales Guerra, E. F., Castillo Chanava, F., Correa Correa, S. del S., & Retto Saavedra, C. R. (2017). Sistema de aprovechamiento de residuos orgánicos de ganado vacuno y su aplicación en la agropecuaria campos del Chira E.I.R.L. In Universidad de



- Piura.
https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3223/PYT_Informe_Final_Proyecto_Biogas.pdf?sequence=1
- Google Earth. (2020). No Title. <https://www.google.com/maps>
- Guaman, N., & Salazar, J. (2013). Diseño De Un Biodigestor Para La Obtención De Biogás En La Quinta Punzara De La Universidad Nacional De Loja. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 214. <https://doi.org/10.1128/AAC.03728-14>
- Gutierrez, P., & Rodriguez, C. (2018). Propuesta De Mejora Del Proceso De Producción De Biogás En Jerusalén (Cundinamarca). In *Journal of Chemical Information and Modeling*. FUNDACION UNIVERSIDAD DE AMERICA.
- Huamani Montesinos, C., Tudela Mamani, J. W., & Huamaní Peralta, A. (2020). Gestión de residuos sólidos de la ciudad de Juliaca - Puno -Perú. *Journal of High Andean Research*, 22(1), 49–56. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.541>
- Liliana, V. (2018). “Propuesta para diseñar una planta piloto que genere biogás y composta, con residuos de la central de abastos de Puebla.”
- Mago, M. G., & , José L. Sosa, Blanca Flores, L. T. (2014). Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor Proposed design of a biogas plant for the generation of electric power in Venezuela in animal areas thro. *Ingeniería Uc*, 21(2), 60–65.
- Mamani, A., & Zapana, R. (2021). Prototipo de un biodigestor anaeróbico para la producción de biogás a partir de los residuos sólidos y orgánicos, en el centro poblado de Chilla - Juliaca 2019. In *Tesis. Universidad Nacional Del Altiplano - Puno*.
- Martinez, N., & Gonzales, P. (2014). Guia Tecnica Para el Aprovechamiento de Residuos Organicos. http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
- MINAM. (2017). Ampliación y mejoramiento de la gestión integral de residuos sólidos municipales en la ciudad de juliaca y adecuada disposición final en las ciudades de



- Cabana , Cabanillas y Caracoto en la provincia de San Roman. 260.
- Moncayo, G. (2015). Estudio De Dimensionamiento Y Diseño De Biodigestores Industriales Para Clima Tropical. 1–229.
- Ortiz Nuñez, J. P. (2017). Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica Puno, en el cerro de Cancharani - departamento de Puno. Universidad Nacional Del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5777>
- Osinergmin. (2017). La Energia Renovable En El Peru (Vol. 53, Issue 9).
- Páez, J. (2016). Diseño de un biodigestor para el manejo de residuos orgánicos producidos en el enbalse Daule-Peripa. 54.
- Palmas del espinoso, S. A. (2015). Energías Renovables y Biocombustibles.
- Paucar, E., & Argote, M. (2018). Acciones Antrópicas E Impacto Socioambiental Del Botadero De Basura En El Centro Poblado De Chilla-Juliaca. In Universidad Nacional del Altiplano.
- Perez, J. (2010). Estudio y Diseño de un Biodigestor Para Aplicacion en Pequeños Ganaderos y Lecheros. 76.
- Quispe, J. (2019). Obtención de biogás mediante digestión anaerobia termofílica utilizando lodos residuales de la laguna de estabilización de aguas servidas de la ciudad de Ilave - Puno. In Tesis. Universidad Nacional del Altiplano - Puno.
- Rivas Solano, O., Faith Vargas, M., & Guillén Watson, R. (2010). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. Tecnología En Marcha, 23(1), 39–46.
- Romero, L. (2018). Evaluación de Temperatura, PH, Humedad, Residuos Sólidos Orgánicos (Frutas y Verduras) y Digesta de Animales de Camal en el Proceso de Compostaje. UNAP.
- Secretaria de estado de medio ambiente y recursos naturales. (2001). Normas sobre calidad del agua. <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/dom60779.pdf>
- SENAMHI. (2020). INFORMACION DEL TIEMPO Y CLIMA.



<https://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-detalle-turistico&localidad=0020>

Taipe, J. (2019). Diseño de un biodigestor para mejorar la obtención de biogás y biol. In Repositorio de la Universidad Nacional Del Centro Del Peru. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5492>

Tutacano, E. (2017). Diseño de un Bioreactor Para Generar Biogás a Partir de Desechos Orgánicos De Animales en la Irrigación de Majes – Caylloma. UNSA.

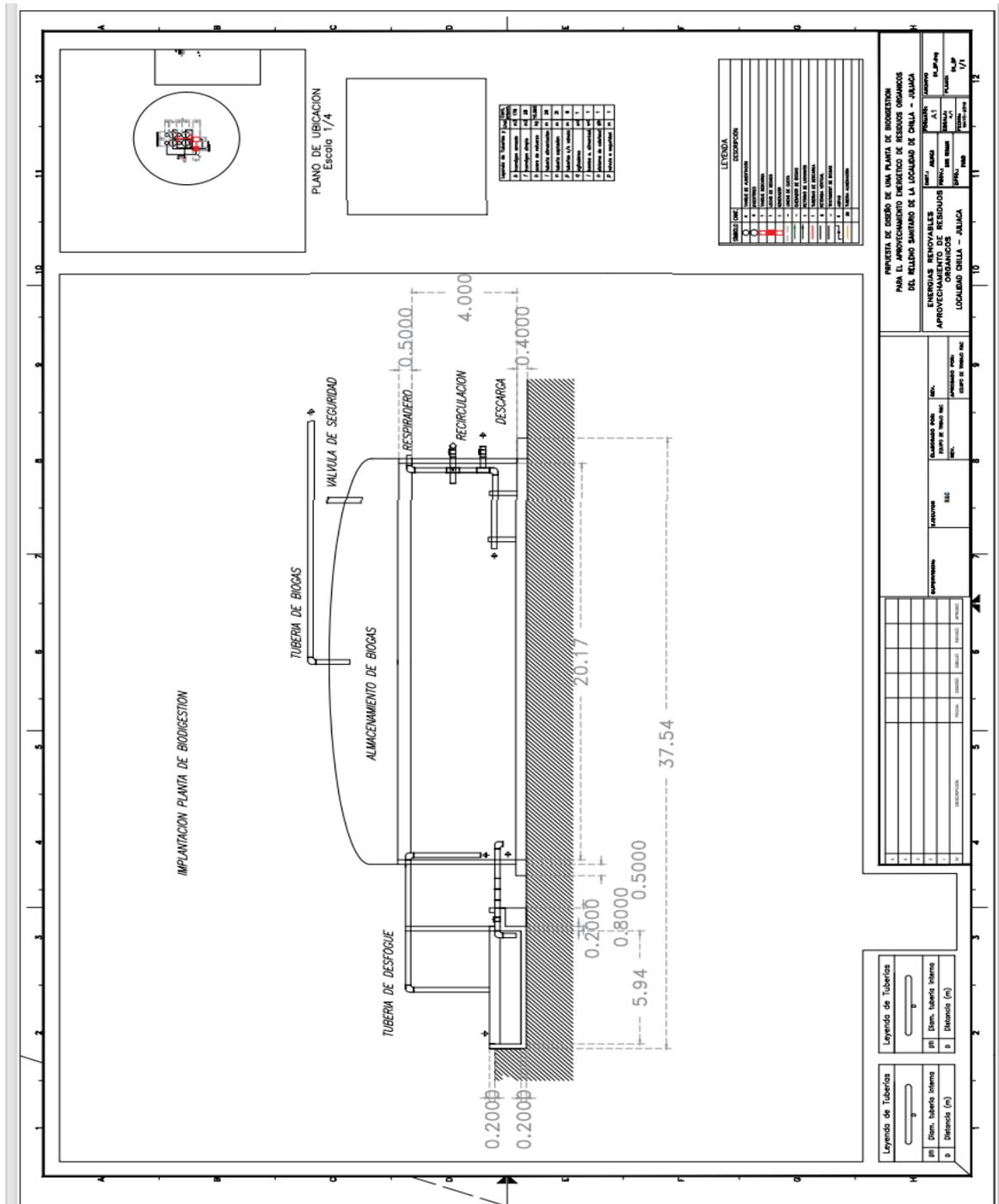
Verdezoto Carvajal, D. E. (2014). Diseño de un biodigestor anaerobio para la producción de biogás a partir de las excretas de ganado vacuno, en la finca Los Laureles en la comunidad Flor del Manduro. In Escuela Superior Politécnica De Chimborazo: Vol. Bachelor.

Wahid, H., Ahmad, S., Nor, M. A. M., & Rashid, M. A. (2017). Fundamentos Para El Diseño De Biodigestores Módulo Para La Asignatura De Construcciones Agrícolas. Jurnal Ekonomi Malaysia, 51(2), 39–54. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

ANEXOS

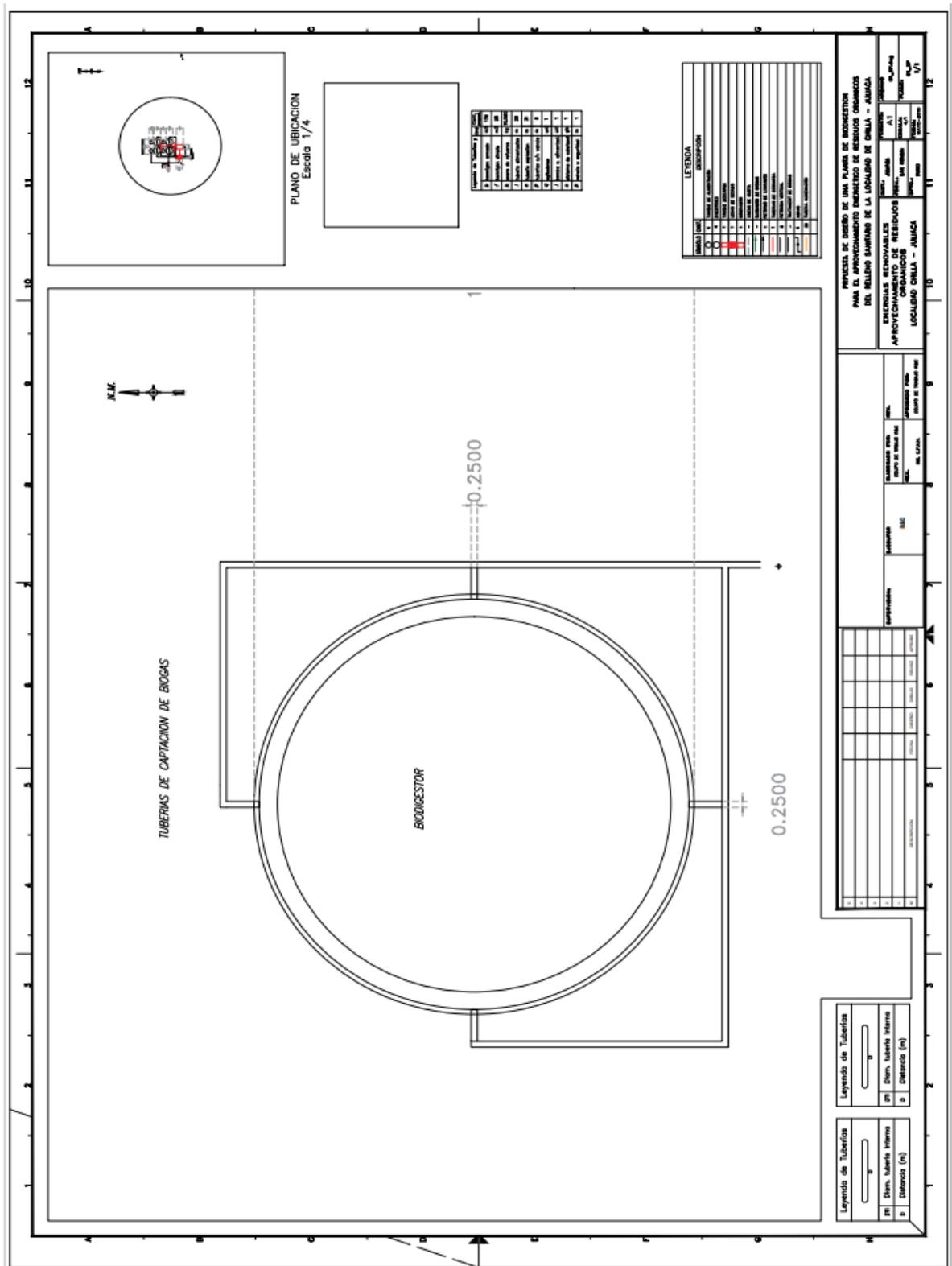
ANEXO 1: Planos de diseño y dimensionamiento de la planta de biodigestión

Plano 1: Plano de vista frontal de la planta de biodigestión.



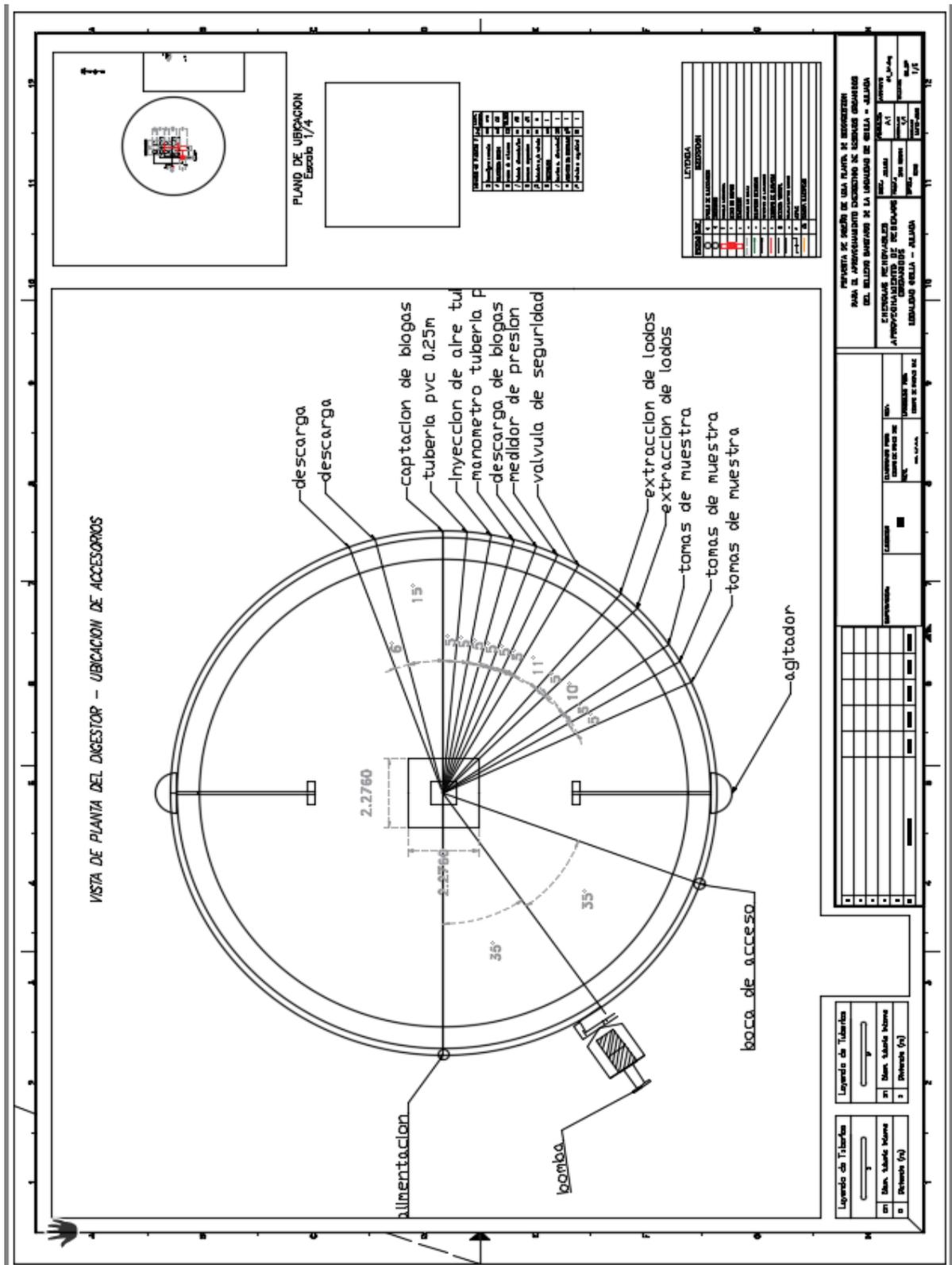
Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 4: Tuberías de captación de biogás.



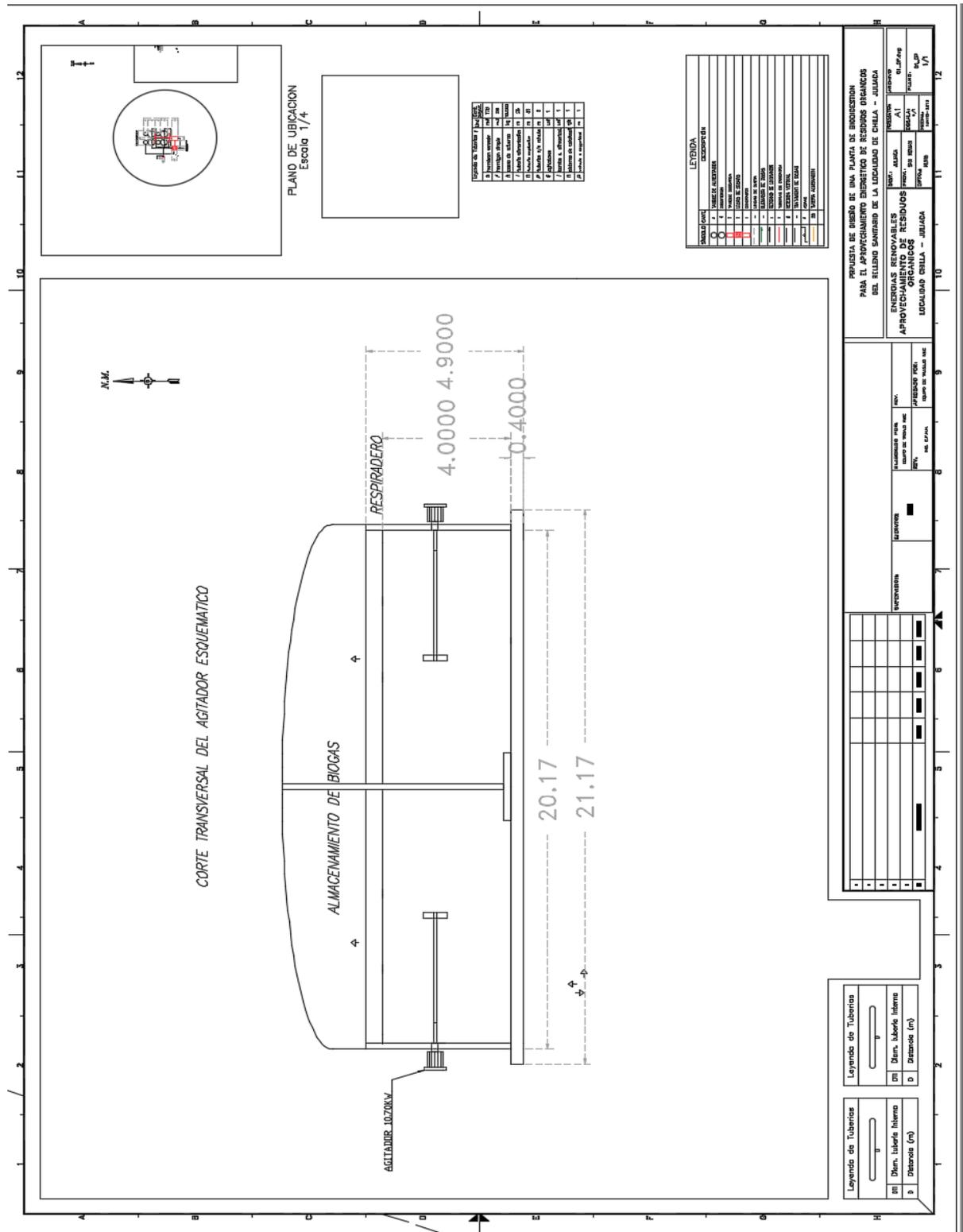
Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 6: Vista de planta, captación, circulación del biogás y accesorios.



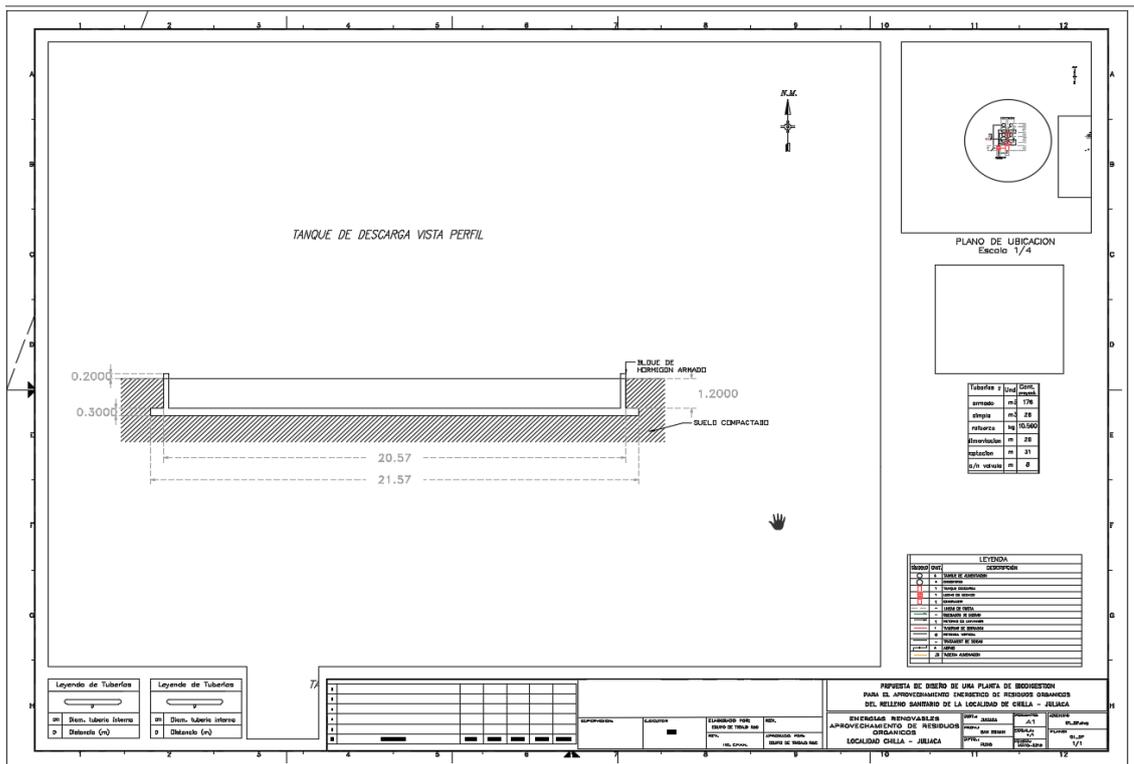
Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 7: Corte transversal del agitador esquemático.



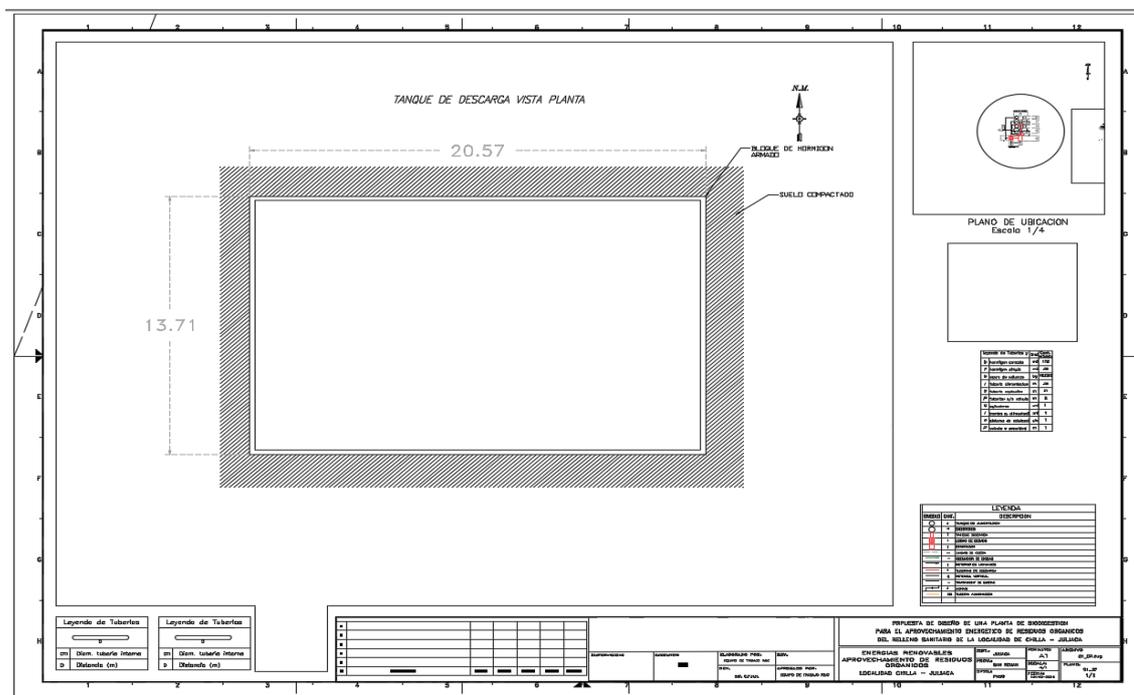
Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 10: Vista perfil del tanque de descarga.



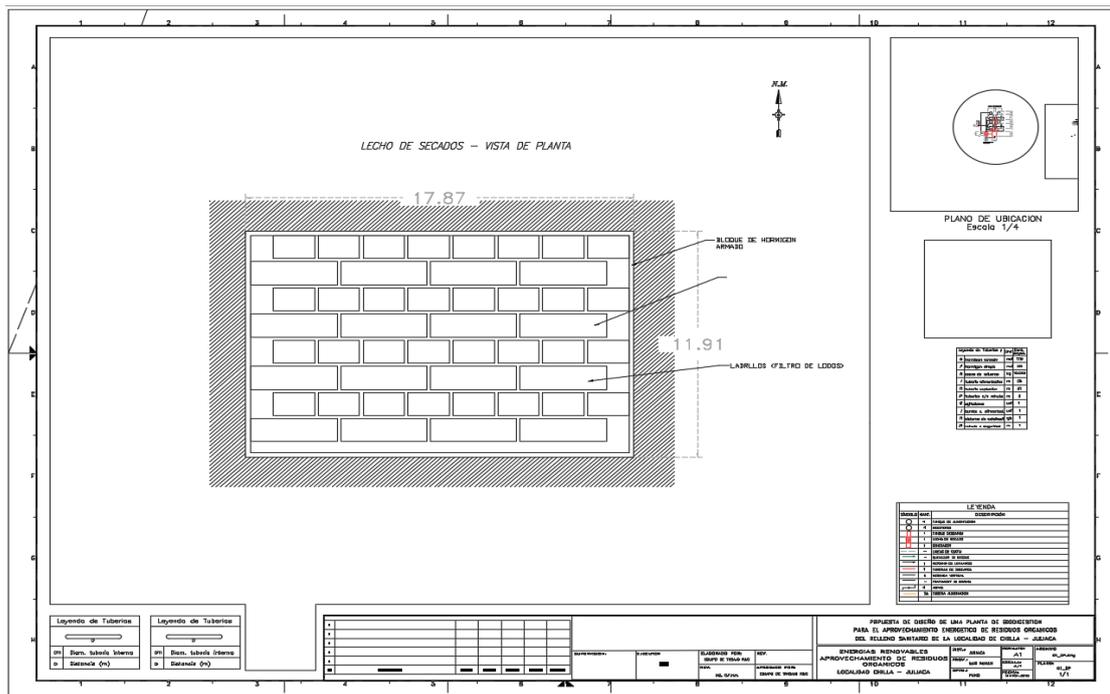
Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 11: Vista de planta del tanque de descarga.



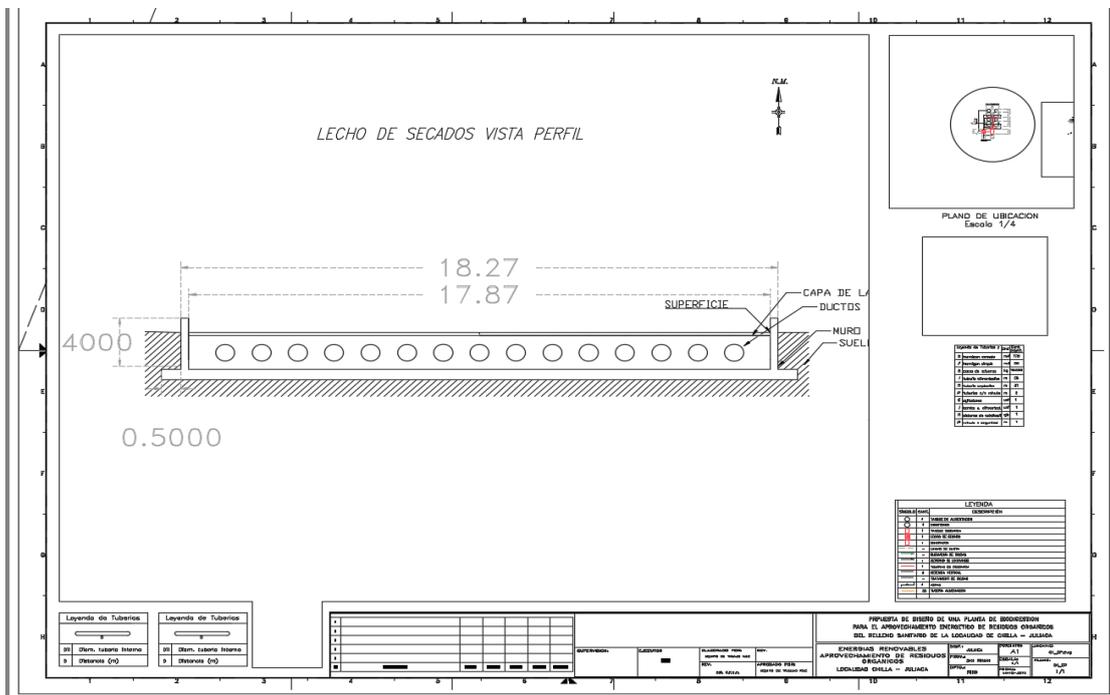
Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 12: Vista de planta del lecho de secados.



Elaborado por el equipo de trabajo

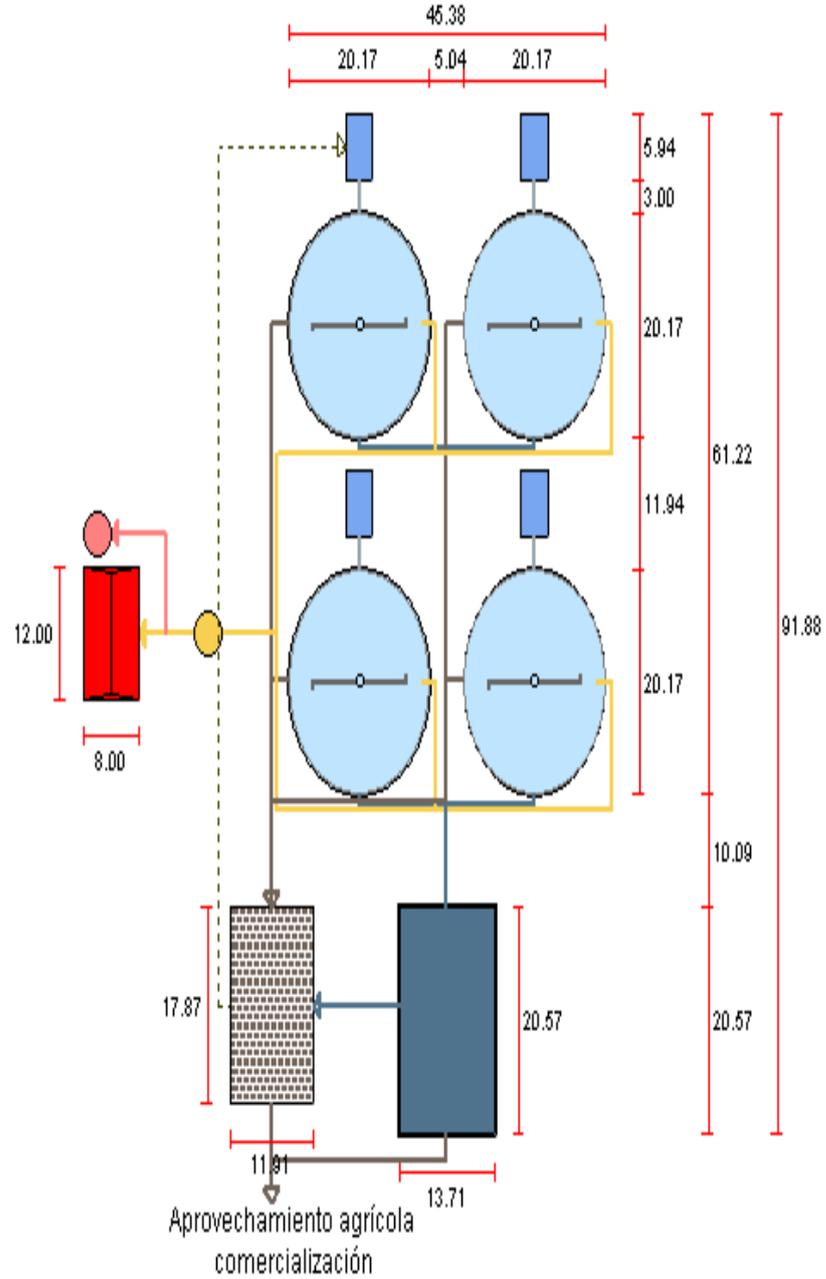
Plano 13: Vista perfil del lecho de secados.



Elaborado por el equipo de trabajo

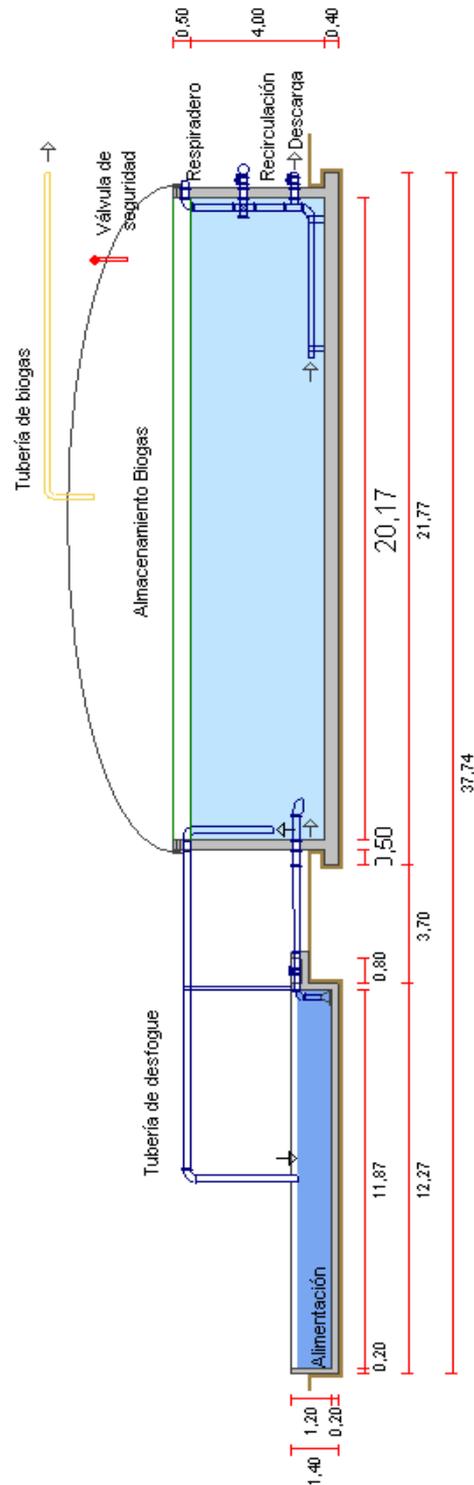
Plano 14: Implantación de biodigestor y estructuras auxiliares

IMPLANTACION PLANTA DE BIOGAS



Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 15: Corte longitudinal esquemático.

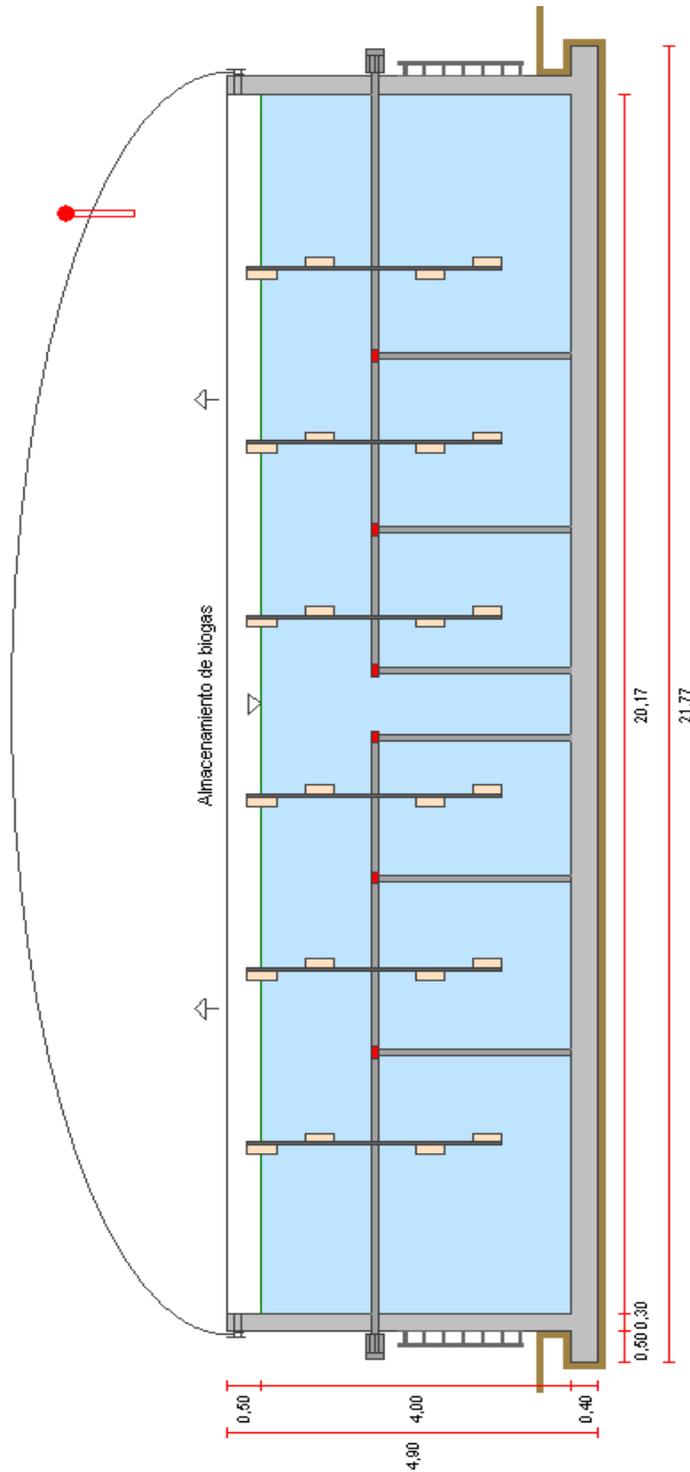


Diámetro de tuberías externas (m)

Diámetro de tuberías internas (m)

Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 16: Corte transversal del agitador esquemático

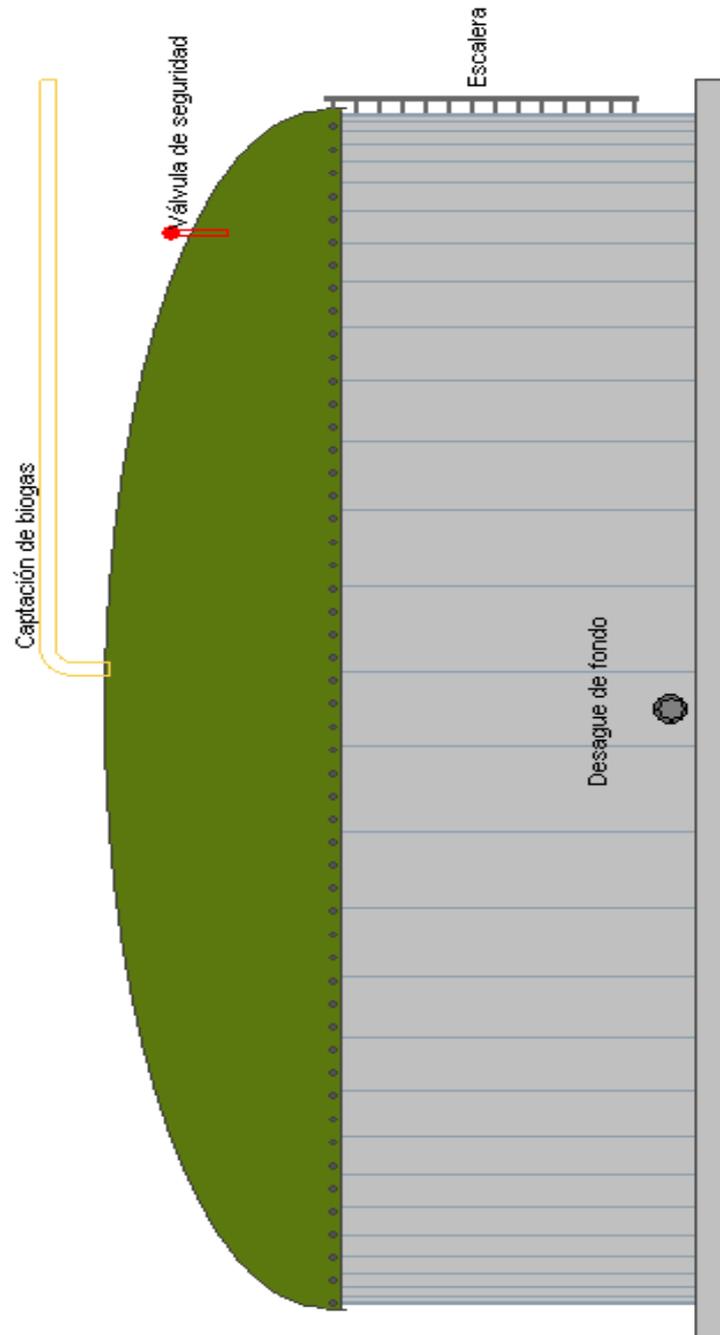


Diametro de tuberías externas	<input type="text" value="0.20"/>	(m)
Diametro de tuberías internas	<input type="text" value="0.15"/>	(m)

Siguiente Anterior Cancelar Ayuda

Elaborado por el equipo de trabajo

Plano 17: Fachada del biodigestor esquemático



Elaborado por el equipo de trabajo

ANEXO 2: Guía de ingreso de datos en el Biodigestor Pro versión 3.5 para su diseño y dimensionamiento

1. Datos de proyecto y fuentes de biomasa

Dicho sea de paso, este es un programa para realizar el diseño de biodigestores domésticos e industriales, seguidamente se tiene en la Figura N° los datos del proyecto y fuentes de biomasa, así como las temperaturas promedio donde se quiere realizar dicho proyecto,

- Nombre del proyecto, ubicación, país, provincia o zona y fecha.
- Temperatura del medio ambiente
- Tipos de desecho que se va a ingresar

Para los tipos de desecho que se va a ingresar se puede apreciar 3 tipos de residuos: estiércoles de animal, desechos agroindustriales y aguas residuales o aguas negras, en nuestro caso se seleccionó los desechos agroindustriales cabe mencionar que se puede trabajar con los 3 residuos a la vez.

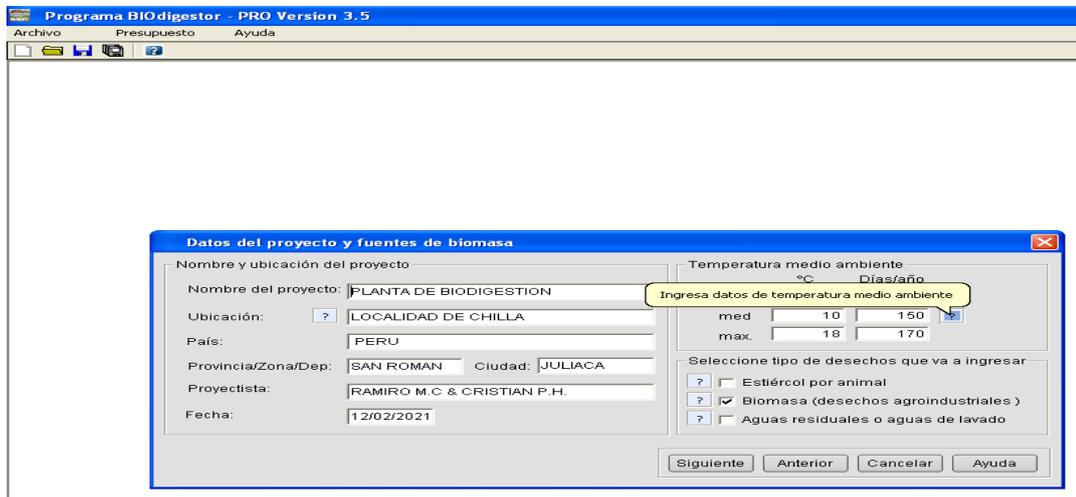


Figura N° 2.1: Ubicación y fuentes de Biomasa
Elaborado por el equipo de trabajo

2. Ingreso de datos por volumen de biomasa

Para este procedimiento se requiere ingresar los datos específicos de la biomasa en la Figura N° 2.2 se aprecia 5 tipos disponibles de biomasa, esto quiere decir que se puede trabajar con 5 tipos de biomasa al mismo tiempo, seguidamente se da clic en buscar tipo de biomasa como nos muestra la Figura N° 2.3 nos abrirá una ventana donde podremos apreciar 100 tipos de residuos.

Categoría	Valor	Unidad
Contenido de masa seca (MS)	11,280.00	(kg / d)
Contenido de masa volátil (MV)	10,152.00	(kg / d)

Componente	Porcentaje	Unidad
Porcentaje de masa seca (MS)	12	(%)
Porcentaje de masa volátil (MV)	90	(% MS)

Figura N° 2.2: Ubicación y fuentes de Biomasa

Elaborado por el equipo de trabajo

Una vez ingresado el tipo de biomasa se ingresa el volumen diario disponible, la temperatura de la biomasa seguidamente podemos apreciar los datos de la biomasa a ingresar

- Porcentaje de la masa seca
- Porcentaje de masa volátil

Una vez realizado este paso se puede apreciar en la Figura N° 2.2 los resultados de estos automáticamente contenidos de masa:

- Contenido de masa seca
- Contenido de masa volátil

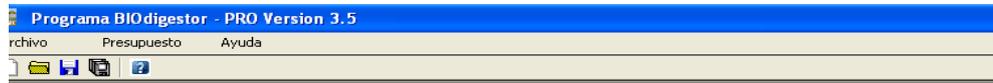


Figura N° 2.2: Tipos de biomasa
Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, se muestra los 100 tipos de biomasa entre ellos se encuentra:

- Desechos agrícolas agroindustriales
- Forrajes
- Grasas aceites
- Desechos comunales

En esta ventana se tiene la opción de quitar o aumentar aun mas tipos de residuos siempre teniendo en cuenta su MS, MV Y HC, una vez ya realizados estos pasos se da click en siguiente.

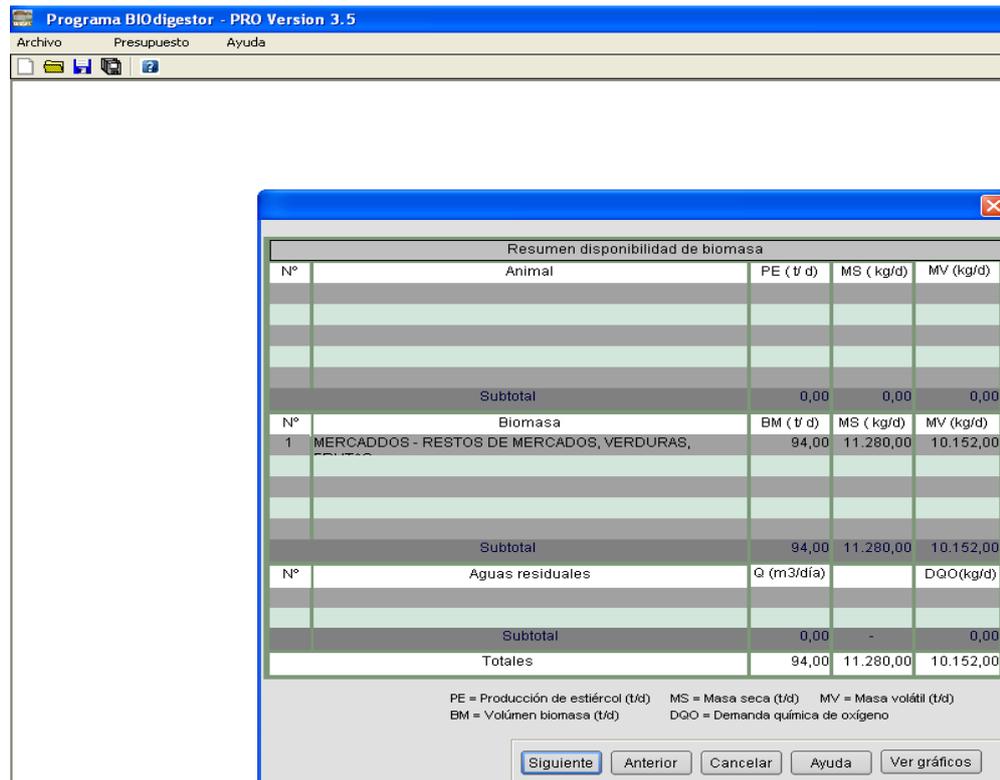


Figura N° 2.3: Resumen de la disponibilidad de biomasa
Elaborado por el equipo de trabajo

A continuación, en la Figura N° 2.3 se muestra el resumen de la disponibilidad de la biomasa y el grafico de masa seca al 100%.

3. Parámetros obtenidos del dimensionamiento

Pasando a la siguiente ventana se muestra en la Figura N° 2.4 los resultados del dimensionamiento, considerar que la tasa de dilución se puede variar según al porcentaje de MS, seguidamente se aprecia el volumen de agua adiciona para la mezcla, el tiempo de retención hidráulica en este caso 50 días, este tiempo de retención es variable según a las temperaturas ingresadas en la Figura N° 2.2, nos muestra también el volumen del biodigestor y el margen de seguridad, la temperatura de proceso que se requiere dentro del biodigestor para realizar la producción de biogás así como también la COV que requiere la planta.

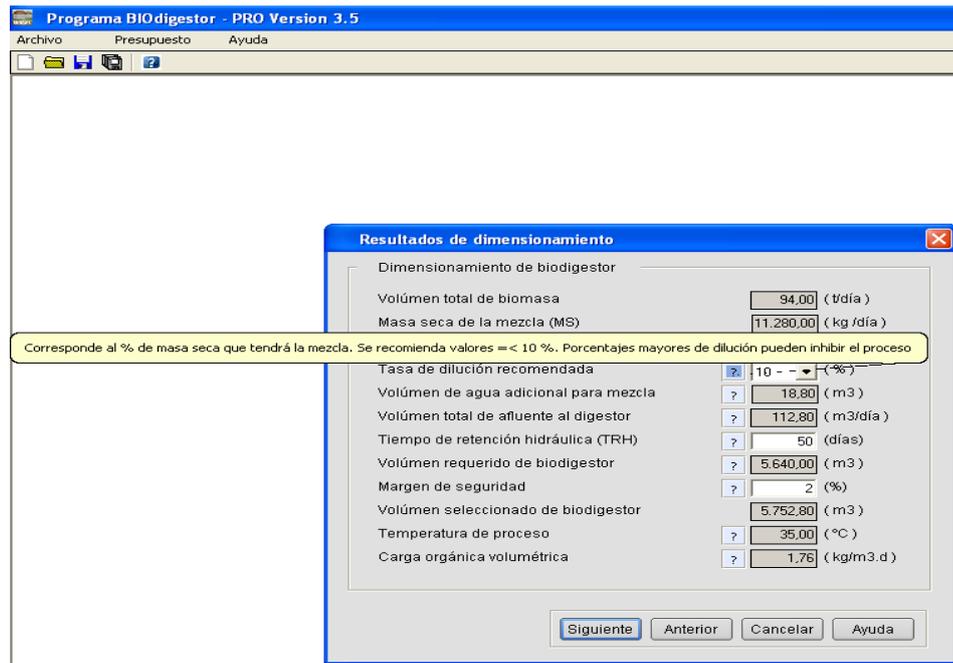


Figura N° 2.4: Dimensionamiento, margen de seguridad y TRH
Elaborado por el equipo de trabajo

4. Porcentajes y eficiencias de degradación

las opciones presentadas en esta ventana son porcentajes de degradación que el software te vota por defecto porcentajes de masa que se puede degradar y no se puede degradar se puede ver también la concentración de masa en el afluente y el decaimiento que puede tener la producción de biogás.

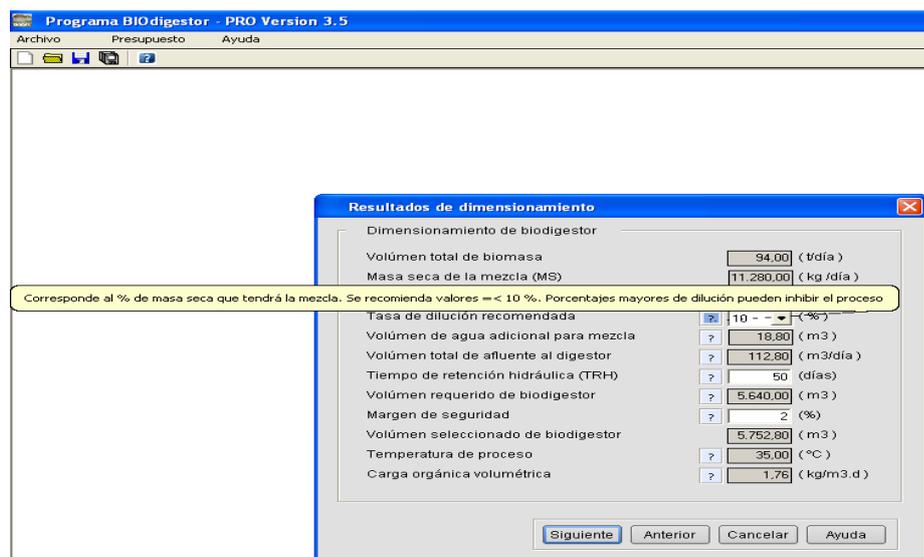


Figura N° 2.5: Porcentajes y eficiencias de degradación
Elaborado por el equipo de trabajo

5. Producción de biogás y energía

una vez realizado los pasos anteriores se llega a la parte final del procedimiento, se muestra la Figura N° 2.6 resultados que podemos ver a continuación:

estimación de producción de biogás. La eficiencia de remoción de MV nos indica la eficiencia de remoción de la masa orgánica. La producción de metano CH₄ representa la producción de metano procedente de la degradación de la masa orgánica. El porcentaje de metano en el biogás representa el contenido de metano en el biogás como se dijo más de una vez a mayor contenido energético en el biogás este no debe pasar el 75% así como se muestra en la Figura N° 2.6.

Cálculo de la producción de biogás y energía

Estimación de producción de biogás y toneladas equivalentes CO₂

Eficiencia de remoción MV	72.74 (%)	7.385.02 (kg/día)
Producción de metano CH ₄		
Porcentaje metano en biogás	55 (%)	
Producción de biogás	6.041,91 (Nm ³ /d)	2.205.297 (Nm ³ /año)
Producción de metano CH ₄	2,38 (t/d)	869 (t/año)
Toneladas equivalentes CO ₂	18.249,00 (t/año)	

Producción específica biogás (Nm³)

Por m ³ de biodigestor	1,05 (m ³ /día)
Por kg masa seca	0,54 (m ³ /kg.MS)
Por kg masa volátil	0,60 (m ³ /kg.MV)

Producción específica CH₄ (Nm³)

Por m ³ de biodigestor	0,58 (m ³ /día)
Por m ³ de biomasa	35,35 (m ³ /m ³)
Por kg masa seca	0,29 (m ³ /kg.MS)
Por kg masa volátil	0,33 (m ³ /kg.MV)

Energía total disponible para la unidad de generación

Producción de biogás	6.041,91 (Nm ³ /d)	2.205.297 (Nm ³ /año)
Grado total de eficiencia unidad de generación	85 (%)	
Producción de energía total bruta	28.076 (kWh/día)	

Producción de energía eléctrica

Eficiencia eléctrica sistema de generación	35 (%)	
Generación de energía eléctrica por día	9.827 (kWh/día)	
Generación de energía eléctrica por mes	298.892 (kWh/mes)	
Generación de energía eléctrica por año	3.586.709 (kWh/año)	
Horas de operación por día	24 (horas)	
Potencia eléctrica nominal de generador	409 (kWel)*	

Producción de energía calorífica

Eficiencia calorífica sistema de generación	65 (%)	
Producción de energía calorífica	18.249 (kWh/día)	
Potencia calorífica	760 (kW)	

Equivalencias energéticas biogás

	(Por día)	(Por año)
Biogás (Nm ³)	6.042	2.205.297
BTU	117.353.511	42.834.031.424
Mega Joule	123.815	45.192.296
M.cal	29.573	10.794.005
MWhe	10	3.587
HP.h	46.202	16.863.792
BHP	3.506	1.279.583
Ton TNT	30	10.810

(*) Se recomienda que se instale una unidad de generación con una potencia del 20% mayor que la nominal: en éste caso: 490,80 (kW)

Botones: Siguiente, Anterior, Cancelar, Ayuda

Figura N° 2.6: Producción de biogás y energía
Elaborado por el equipo de trabajo

se puede apreciar también la producción de biogás y energía al día dato que es importante y a lo que se quiere en esta tesis.

ANEXO 3: Propuesta de las Infraestructuras de la planta piloto

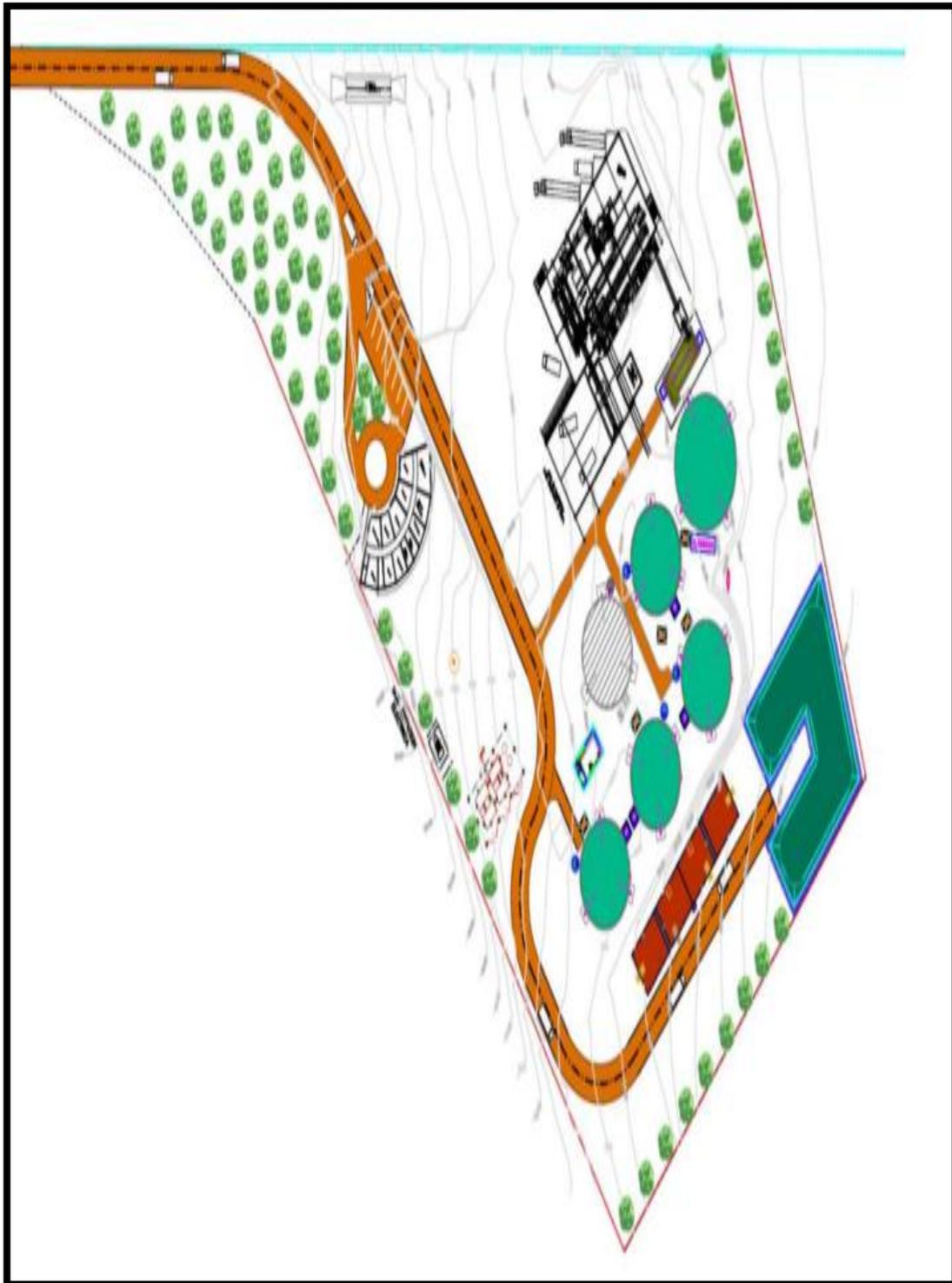


Figura N° 3.1: Vista de planta de la central de biodigestión



Figura N° 3.2: Muestra de los lechos de secado de lodos, cuatro biodigestores y un tanque de mezclado

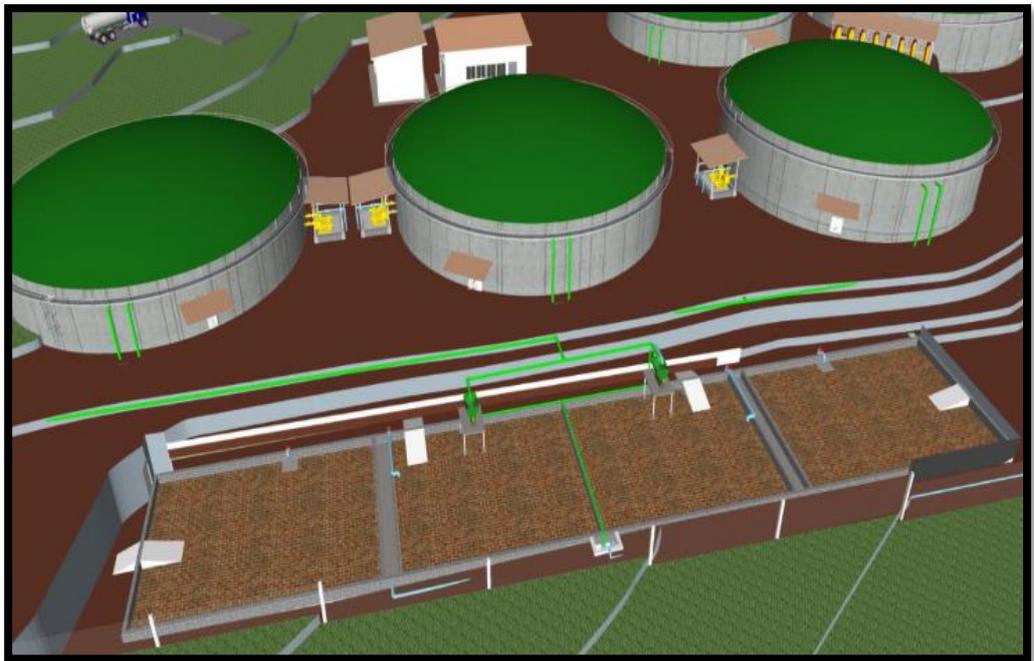


Figura N° 3.3: Vista frontal de tres biodigestores y cuatro lechos de secado

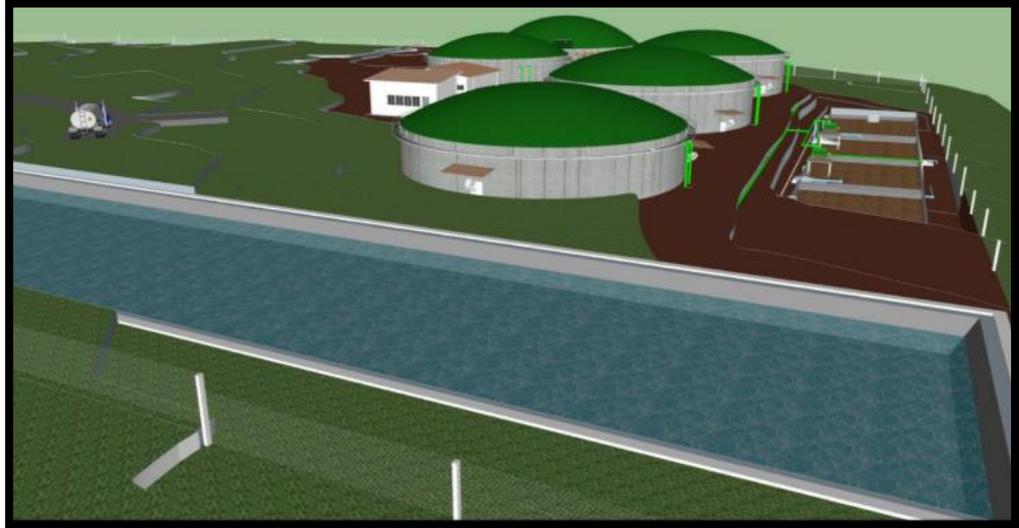


Figura N° 3.4: Vista del tanque de almacenamiento de agua, así como la vista lateral de los reactores y lechos de secado



Figura N° 3.5: Vista panorámica del relleno sanitario y las aguas residuales

ANEXO 4: Equipos electromecánicos

ESPECIFICACIONES 523 kW – 50 Hz		
Datos básicos		
Combustible	Biogas (80% CH ₄ / 40% CO ₂)	
PCI	kWh/m ³	6
Número de metano	Mz	>100
Temp. circuito aprov. Térmico	°C	70 / 80
Frecuencia	Hz	60
Revoluciones nominales	min-1	1800
Versión de intercooler		AT / BT
Potencia eléctrica (potencia en servicio paralelo a la red)	kW	550
Potencia térmica útil *	kW	670
Aporte de combustible	kW	1467
Rendimiento eléctrico	%	37,5
Rendimiento térmico	%	45,7
Rendimiento total	%	83,2
Control de emisiones	Operación en mezcla pobre y catalizador	
Emisiones según la norma alemana TA-Luft (escape seco con 5% de O ₂)		
NOx medido como NO ₂	mg/m ³	< 500
CO	mg/m ³	< 800
Motor		
Tipo de motor	MAN E 3262 LE212	
Proceso de combustión	Motor Otto-Gas	
Modo de funcionamiento	4 tiempos	
Cilindros / Disposición	12 / en V	
Cilindrada	l	25,8
Potencia estándar ISO seg. ISO 3046/1	kW mech.	580
Consumo espec. a plena carga	kWh/kWh	2,53
Generador		
Tipo de generador	LSA 49 1 S4	
Potencia tipo (para cos phi=0,8)	kVA	725
Tensión	V	440
Intensidad nominal de corriente	A	—
Rendimiento (potencia nominal y cos phi=1)	%	95,8
Factor de potencia (ajustable)		0,8 - 1,0
Tipo conexión		Y
Temperatura ambiente máx.	°C	40
Clase de protección		IP23
Grado de supresión de interferencias		N
Clase de resistencia térmica		H
Peso	kg	1.445
Módulo de intercambiador de calor		
Potencia térmica del bloque	kW	296
Potencia térmica del intercooler AT	kW	88
Potencia térmica del intercooler BT	kW	41
Potencia térmica de gases de escape refrigeración hasta 180°C)	kW	286
Potencia térmica total en intercambiador de placas	kW	670
Circuito de calefacción entrada/salida	°C	70 / 80
Planificación y servicio		
Intervalos reglamentario de mantenimiento	hr	1.000
Cantidad de aceite lubricante motor	l	102
Calor irradiado del bloque	kW	62
Caudal volumétrico de aire de entrada	m ³ /h	33.627
Caudal volumétrico de aire de salida	m ³ /h	30.489
Caudal de aire de combustión para 25°C y 1.013 mbar	kg/h	2.770
Temp. aire de entrada ISO3046 mín/máx	°C	10 / 25
Caudal másico de escape (húmedo)	kg/h	3.064
Caudal volumétrico de escape (seco, 0% O ₂ , 0 °C, 1.013 mbar)	m ³ /h	2.394
Contrapresión de gases de escape máx. admisible	mbar	15
Nivel acústico grupo cogeneración completo a 1 m de distancia **	dB(A)	90,6
Nivel acústico Cogeneración Módulo compacto a 1 m de distancia **	dB(A)	Opcional
Nivel acústic. con silenciador de escape a 1 m de distancia ***	dB(A)	72
Conexiones e interfaces		
Rampa de gas de seguridad		DN80
Salida de escape		DN250
Salida de condensados		G 1"
Entrada/Salida de circ. aprovechamiento		G 2 1/2"
Entrada/Salida de circ. Radiador		DN80 / PN6
Entrada/Salida intercooler BT		G 1 1/4"
Dimensiones y peso del módulo		
Longitud (sin caja ventilación)	mm	3.400
Anchura (bastidor)	mm	1.600
Altura (bastidor)	mm	ca. 2.500
Peso aprox. en servicio	kg	4.400

Figura N° 4.1: Motor cogenerador
Fuente: (Engineering, 2020)

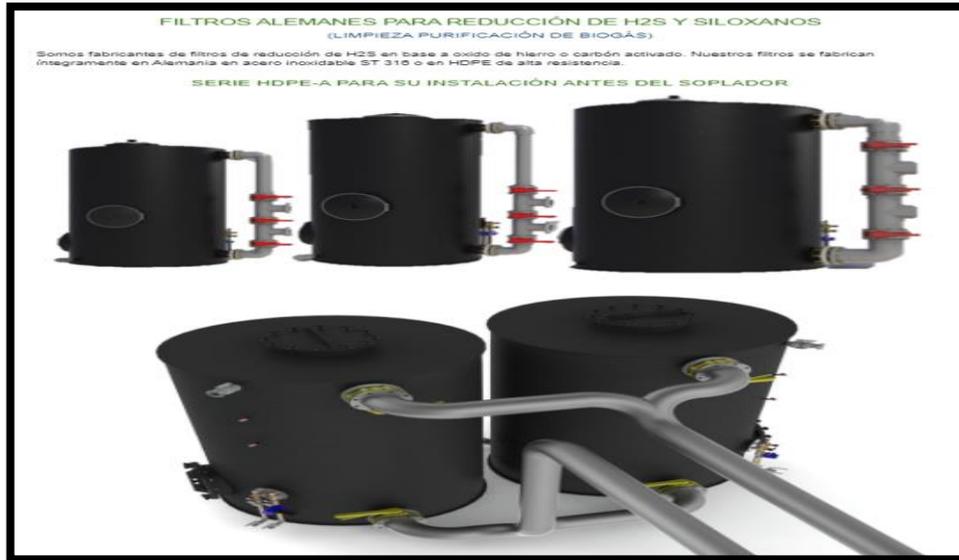


Figura N° 4.2: Filtro de remoción H₂S
Fuente: (Enginnering, 2020)



Figura N° 4.3: Quemador de biogás
Fuente: (Enginnering, 2020)

MADE IN GERMANY

AGITADORES Y MEZCLADORES PARA TANQUES ESTIERCOLEROS, BIODIGESTORES Y LAGUNAS DE OXIDACIÓN. CON MOTORES ANTIDFLAGRANTES PARA SU USO EN ATMÓSFERAS EXPLOSIVAS



Agitadores para biodigestores - p...



Agitadores para biodigestores y l...

Potencias de 1 hasta 22 kW. Los agitadores y mezcladores se fabrican íntegramente en Alemania en acero inoxidable. Los motores de los agitadores y mezcladores cumplen con la normativa ATEX.

Suministramos agitadores de ejes largos de hasta 6,5 m y potencias de hasta 30 HP. Realizamos la instalación, asesoramos sin costo para el diseño estructural y constructivo de los pozos de agitación.

Para poder ofertar necesitamos la siguiente información:

- País y puerto de desembarque.
- Tipo de sustrato (biomasa) que va a agitar o mezclar.
- Volumen del tanque o biodigestor.
- Potencia requerida.

En caso que no conozca la potencia necesaria nosotros realizamos el análisis correspondiente.

Ventajas de los sistemas de agitación:

Los agitadores garantizan la producción de biogás y son necesarios debido también a las siguientes razones:

- Mezcla de la biomasa fresca con la biomasa digerida existente al interior del digestor
- Mejor distribución, mezcla de nutrientes y calor dentro del digestor
- Reduce la formación de costras, sedimentos y flocos de biomasa que pueden sedimentarse en el fondo del digestor
- Mejoran y facilitan la extracción de biogás (se "sueltan" las burbujas de biogás)
- Mayor producción de biogás



Agitadores para biodigestores

NUEVO MODELO





Figura N° 4.4: Agitadores / mezclador de tanque de alimentación

Fuente: (Enginnering, 2020)



Figura N° 4.5: Mesclador de tanque de alimentación
Fuente: (Enginering, 2020)

BOMBAS PARA EXTRACCION DE LODOS, ALIMENTACIÓN DE BIODIGESTORES, PLANTAS DEPURADORAS Y AGRO INDUSTRIA

- Bombas con **sistema de cuchillas y trituración** para aguas residuales con contenidos de sólidos de hasta el 15% para aplicaciones en mataderos, rastros, fábricas agroindustriales, productoras de jugos, pulpas, etc.
- **Bombas trituradoras** diseñadas para plantas de procesamiento, para lodos industriales, estiércol, biogás y plantas depuradoras, establecimientos agrícolas e industriales. Bombas con doble sistema de corte, alta eficiencia hidráulica, doble sello mecánico y sensores de sonda térmica.
- Asesoramos gratuitamente para la selección del tipo de bomba y la capacidad requerida. Diseñamos sin costo y como parte de nuestro servicio, los planos constructivos y estructurales de los pozos de bombeo.

Serie 40	
Potencia	0,75 - 1,1 kW
Caudal	26 m ³ /h
Altura	17 m

- Sistema Chopping (con trituración y corte)
- Max caudal: 26 m³/h (114 US gpm)
- Altura: 17 m (56 ft)
- Potencia motor: 0,75 - 1,1 kW (1 - 1,5 HP)
- Succión: 65 mm (2 9/16 inches)
- Descarga: 40 mm (1 9/16 inches)



Serie 65	
Potencia	7,5 - 11 kW
Caudal	110 m ³ /h
Altura	29 m

Impeller de multi canal y doble cuchilla

- Sistema Chopping (con trituración y corte)
- Max caudal : 110 m³/h (484 US gpm)
- Altura: 29 m (95 ft)
- Potencia motor: 7,5 - 11 kW (10 - 15 HP)
- Succión: 100 mm (4 inches)
- Descarga: 65 mm (2 9/16 inches)



Figura N° 4.6: Bombas para extracción de lodos.
Fuente: (Enginering, 2020)

ANEXO 5: Temperatura de biomasa y descargas en aguas superficiales

Tabla 5
Variación de la temperatura (°C) en el proceso de compostaje en el muestreo de abril a julio 2016 y agosto a noviembre del 2017.

Semanas	Abril-Julio			Agosto-Noviembre			Promedio ±EE
	Prom. ±DS	Valor extremo Mín.	Máx.	Prom. ±DS	Valor extremo Mín.	Máx.	
Primera	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	11,40 ± 0,55	11,00	12,00	11,70 ± 0,15 ^k
Segunda	40,80 ± 0,84	40,00	42,00	41,00 ± 1,00	40,00	42,00	40,90 ± 0,28 ^{de}
Tercera	45,60 ± 0,89	45,00	47,00	43,20 ± 1,48	41,00	45,00	44,40 ± 0,54 ^f
Cuarta	50,60 ± 0,89	50,00	52,00	59,20 ± 0,84	58,00	60,00	54,90 ± 1,46 ^a
Quinta	55,60 ± 0,89	55,00	57,00	55,40 ± 3,13	50,00	58,00	55,50 ± 0,69 ^a
Sexta	50,20 ± 0,45	50,00	51,00	46,80 ± 5,89	40,00	53,00	48,50 ± 1,37 ^b
Séptima	45,20 ± 0,45	45,00	46,00	42,20 ± 8,44	32,00	48,00	43,20 ± 1,90 ^{de}
Octava	40,20 ± 0,45	40,00	41,00	38,00 ± 6,96	30,00	45,00	39,10 ± 1,52 ^e
Novena	35,40 ± 0,55	35,00	36,00	34,80 ± 4,87	29,00	39,00	35,10 ± 1,04 ^f
Decima	30,60 ± 0,89	30,00	32,00	29,20 ± 2,17	26,00	32,00	29,90 ± 0,55 ^e
D. primera	25,40 ± 0,55	25,00	26,00	26,60 ± 2,51	23,00	29,00	26,00 ± 0,58 ^b
D. segunda	20,20 ± 0,45	20,00	21,00	24,40 ± 1,82	22,00	26,00	22,30 ± 0,80 ⁱ
D. tercera	15,40 ± 0,55	15,00	16,00	21,60 ± 2,61	18,00	24,00	18,50 ± 1,18 ⁱ
D. cuarta	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00 ^k
D. quinta	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00 ^k
D. sexta	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00	12,00	12,00	12,00 ± 0,00 ^k
Prom. ± EE	31,45 ± 2,00 ^a	12,00	57,00	31,80 ± 2,01 ^a	12,00	60,00	31,63 ± 0,10

Las letras diferentes señalan diferencia estadística (p ≤ 0,05)

Figura N° 5.1: Tabla de temperatura mínima de residuos vegetales.

Fuente: (Romero, 2018)

Parámetros	Unidad	Descargas en aguas superficiales			Descargas en Aguas Costeras		
		Clase A	Clase B	Clase C	Clase E	Clase F	Clase G
NO ₃ -N	mg/L	0.5	1	10	-	-	-
Oxígeno disuelto (OD)	% sat.	80	70	50	45	45	45
pH	-	6.5-9.0	5.5-9.5	5-10	7.5-8.5	6.0-9.0	6.0-9.0
Sólidos disueltos	mg/L	1,200	1,500	3,000			
Sólidos flotantes	-	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables	ml/L	1	1	2	1	1	2
Sólidos suspendidos	mg/L	75	150	200	75	150	200
Sulfatos	mg/L	200	400	1,000	-	-	-
Sulfuros	mg/L	0.05	0.5	2	0.5	1	2
Temperatura	°C	35	35	35	-	-	-
Temper. incrementada	°C	±3	± 3	± 3	± 3	± 3	± 3
Metales							
Arsénico	mg/L	0.05	0.1	0.2	0.1	0.2	0.4
Bario	mg/L	1	1	5	1	5	5
Boro	mg/L	0.1	0.5	5	0.5	5	5
Cadmio	mg/L	0.05	0.1	0.1	0.05	0.1	0.2
Cianuro	mg/L	0.05	0.1	0.2	0.1	0.5	1
Cobre	mg/L	1	2	6	2	4	6
Cromo total	mg/L	0.5	1	2	0.5	1	2
Cromo hexavalente	mg/L	0.05	0.1	0.5	0.05	0.5	0.5
Hierro	mg/L	0.5	1	10	0.5	1	10
Manganeso	mg/L	0.5	1	5	0.1	1	5
Mercurio	mg/L	0.005	0.01	0.05	0.01	0.01	0.05
Niquel	mg/L	1	2	6	2	2	4
Plomo	mg/L	0.1	0.2	0.5	0.05	0.1	0.5
Plata	mg/L				0.01	0.1	0.1
Selenio	mg/L	0.01	0.02	0.2	-	-	-
Zinc	mg/L	1	1	10	1	10	20
Radioactividad							
Actividad α	Bq/L	N	N	0.1	0.1	0.1	0.1
Actividad β	Bq/L	N	N	0.25	1	1	1
Biocidas							
Órgano-clorados	mg/L	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Órgano-fosforados	mg/L	0.1	0.1	0.1	0.25	0.25	0.25

Figura N° 5.2: Tabla de referencia de descargas en aguas superficiales
Fuente: (Secretaría de estado de medio ambiente y recursos naturales, 2001)

ANEXO 6: Costos y presupuestos estimados del biodigestor sobre tierra.**Tabla N° 6.1: Presupuesto estimado del biodigestor sobre tierra**

Presupuesto estimado del biodigestor sobre tierra					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANT.	PRECIO UNITARIO (\$/)	SUB TOTAL (\$/)
Materiales					
1.001	Excavación	m3	335.00	10.00	3,350.00
1.002	Hormigón armado fc =250 kg/cm2	m3	220.00	250.00	55,000.00
1.003	Hormigón simple replantillo fc=140 kg/cm2	m3	37.00	120.00	4,440.00
1.004	Acero de refuerzo para hormigón	kg	13,200.00	3.00	39,600.00
1.005	Enlucido	m2	943.00	20.00	18,860.00
1.006	Encofrado - desencofrado	m2	591.00	25.00	14,775.00
1.007	Aislante paredes y fondo	m2	285.00	30.00	8,550.00
1.008	Tuberías de alimentación y descarga	m	30.00	32.00	960.00
1.009	Tuberías de acero captación biogás	m	36.00	35.00	1,260.00
1.01	Accesorios tuberías (incluye válvulas e cierre)	global	9.00	35.00	315.00
1.011	Vigas de madera soporte de membrana	m	436.00	25.00	10,900.00



Continuación...

1.012	Membrana EPDM para cubierta	m2	479.00	20.00	9,580.00
1.013	Agitadores de biodigestor	global	1.00	12,000.00	12,000.00
1.014	Acero tanque biodigestor	m2	.	200.00	0.00
1.015	Bombas o sistema de alimentación	unidad	1.00	7,000.00	7,000.00
1.016	Pernos y anclajes para sujetar la membrana	m	63.00	15.00	951.00
1.017	Válvulas de seguridad y control	global	1.00	1,500.00	1,500.00
1.018	Sistema de calefacción	global	1.00	8,000.00	8,000.00
1.019	Sistema de control de procesos	475.000	1.00	5,000.00	5,000.00
1.02	Instalaciones eléctricas y tableros	global	1.00	9,000.00	9,000.00
1.021	Exteriores (tuberías, cajas de válvulas, arquetas, etc.)	(%)	2.00	...	4,221.00
Costos aproximados de construcción 1 biodigestor					215,262.00

Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla N° 6.2: Presupuesto del tanque de alimentación y tanque de descarga

Presupuesto tanque de alimentación					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANT.	PRECIO UNITARIO (\$/)	SUB TOTAL (\$/)
1.023	Excavación	m3	14.00	10.00	140.00
1.024	Hormigón armado	m3	12.00	250.00	3,000.00
1.025	Acero de refuerzo para hormigón	m3	720.00	3.00	2,160.00
1.026	Encofrado	kg	53.00	25.00	1,325.00
1.027	enlucido	m2	71.00	20.00	1,420.00
1.028	Mezclador tanque de alimentación	unidad	1.00	4,000.00	4,000.00
Costos estimados de construcción					12,045.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Presupuesto tanque de descarga					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANT.	PRECIO UNITARIO (\$/)	SUB TOTAL (\$/)
1.029	Excavación	m2	372.00	10.00	3,720.00
1.03	Geomembrana HDPE	m2	546.00	15.00	8,190.00
1.031	Bombas extracción lodos del fondo	unidad	1.00	3,000.00	3,000.00
Costos estimados de construcción					14,910.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 6.3: Presupuesto de lecho de secado de lodos

Presupuesto de lecho de secado de lodos					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANT.	PRECIO UNITARIO (\$/)	SUB TOTAL (\$/)
1.032	Excavación	m2	128.00	10.00	1,280.00
1.033	ladrillo muros	m3	6.00	35.00	210.00
1.034	Tuberías de drenaje	m3	35.00	15.00	525.00
1.035	Grava para filtro	m3	64.00	50.00	3,200.00
1.036	Arena para filtro	m3	21.00	45.00	945.00
1.037	Ladrillo sobrepuesto filtro	m3	21.00	35.00	735.00
1.038	Tuberías de alimentación	m3	36.00	32.00	1,152.00
1.039	Bombas y/o sistema de recirculación	m	1.00	3,000.00	3,000.00
Costo estimado de construcción					11,047.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 6.4: Presupuesto estimado de toda la construcción de la planta

Presupuesto estimado de toda la construcción de la planta					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD DE MEDIDA	CANT.	PRECIO UNITARIO (\$/)	SUB TOTAL (\$/)
1.04	Tanque de alimentación	unidad	4.00	12,045.00	48,180.00
1.041	Biodigestor	unidad	4.00	215,262.00	861,048.00
1.042	Tanque de descarga	unidad	1.00	14,910.00	14,910.00
1.043	Lecho de secado de lodos	unidad	1.00	11,047.00	11,047.00
1.044	Filtro de remoción de H2S: 187(m3/h)	unidad	1.00	475,000.00	475,000.00
1.045	Quemador: 305(kw)	unidad	1.00	475,000.00	475,000.00
1.046	generador	unidad	1.00	223,000.00	223,000.00

(Continuación...)

1.046	Exteriores (jardinería, accesos, seguridad, etc.)	global	2,0	...	42,164.00
Costos estimados de construcción					2,150,349.00
Costo por Kw instalado \$/kw					6,605.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 6.5: Análisis de costo beneficio

Análisis costo beneficio			
1.047	Potencia instalada generador	409.00	(KW)
1.048	Generación de energía eléctrica	3,586,709.00	KWh/año
Costos de inversión			\$
1.049	Digestores, tanques de alimentación y descarga		785,349.00
1.05	Equipo electromecánico		192,000.00
1.051	Filtro de remoción de H ₂ S: 187(M ³ /h)		475,000.00
1.052	Generador: 305 (kw)		223,000.00
1.053	Quemador de biogás: 187 (m ³ /h)		475,000.00
costo total del proyecto			2,150,349.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 6.6: Costos de depreciación

Egresos anuales				
costos de depreciación		\$	Depre. %	\$/año)
1.054	Digestores, tanques de alimentación y descarga	785,349.00	0.05	39,267.45
1.055	Equipo electromecánico	192,000.00	0.15	28,800.00
1.056	Filtro de remoción de H ₂ S: 187(M ³ /h)	475,000.00	0.10	47,500.00



(Continuación...)				
1.057	Generador: 305 (kw)	223,000.00	0.15	33,450.00
1.058	Quemador de biogás: 187 (m3/h)	475,000.00	0.10	47,500.00
suma de costo por depreciación				196,517.45

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 6.7: Costos de operación y mantenimiento

Egresos anuales				
Costos por operación y Mantenimiento		\$	R&M	\$(año)
1.059	Digestores, tanques de alimentación y descarga	785,349.00	0.03	23,560.47
1.06	Equipo electromecánico	192,000.00	0.06	11,520.00
1.061	Filtro de remoción de H2S: 187(M3/h)	475,000.00	0.05	23,750.00
1.062	Generador: 305 (kw)	223,000.00	0.10	22,300.00
1.063	Quemador de biogás: 187 (m3/h)	475,000.00	0.05	23,750.00
suma de costos por reparaciones y mantenimiento				104,880.47

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 6.8: Costos de personal

Egresos anuales				
costos de personal (operario)		\$(año)	\$(año)	
1.064	Sueldos y salarios			15,000.00
1.065	Cargas sociales	0.50		7,500.00
suma costos de personal				22,500.00

Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla N° 6.9: Costos de biomasa

Egresos anuales			
suma de costos de biomasa			0
otros costos		\$(año)	\$(año)
1.066	Financieros - intereses	10.00	215,035.00
1.067	imprevistos	1.00	21,503.00
1.068	Costos de conexión a la red (venta de energía eléctrica	2.00	43,007.00
1.069	Seguros	2.00	43,007.00
suma de costos de biomasa			322,552.00

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 6.10: Costos de energía eléctrica

Ingresos anuales				
energía eléctrica		kw/año	\$/kwh	\$/año
1.07	Venta de energía eléctrica	3,586,709.00	0.18	645,607.62
1.071	Fertilizante			
1.072	Comercialización bioabono orgánico	38,477.00	13.70	527,134.90
1.073	Bonos de carbono CERS			
1.074	Comercialización de bono de carbono CERS	18,249.00	11.00	149,226.00
total de ingresos anuales				1,321,968.52

Elaborado por el equipo de trabajo



Tabla N° 6.11: Resumen de egresos

Resumen de egresos		
ITEM	DESCRIPCION	\$/año
1.075	Costos de depreciación	196,517.45
1.076	Costos por operación y mantenimiento	104,880.47
1.077	Costos personales operativo	22,500.00
1.078	Costos de biomasa	0.00
1.079	otros costos	322,552.00
suma total de egresos		646,449.92

Elaborado por el equipo de trabajo

Tabla N° 6.12: Resumen de ingresos

Resumen de ingresos		
ITEM	DESCRIPCION	\$/año
1.08	Energía eléctrica	645,607.62
1.081	Fertilizante	527,134.90
1.082	Bonos de carbono CERS	200,739.00
suma de ingresos		1,373,481.52
rendimiento anual de ingresos - egresos		727,031.60

Elaborado por el equipo de trabajo

ANEXO 7: Matriz de consistencia y operalización de variables

MATRIZ DE CONSISTENCIA				
Propuesta de Diseño de una planta de Biodigestión Para el Aprovechamiento Energético de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca				
PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General		
¿Cómo la Propuesta de Diseño de una planta de Biodigestión Aprovechara la Energía de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?	Proponer el Diseño de una planta de Biodigestión Para el Aprovechamiento Energético de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca	la Propuesta adecuada de Diseño de una planta de Biodigestión Aprovechara la Energía de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?	<p>Variable Independiente diseño de una planta de biodigestion</p> <p>Variable Dependiente aprovechamiento energetico</p>	<p>tiempo volumen presion energia = potencia</p> <p>analisis de contenidos 2 propuestas 1 proyecto del MEM</p>
Problemas Especificos	Objetivos Especificos	Hipótesis Especificas		
¿Cómo la determinación de cantidad total de residuos organicos ayuda al Diseño de una planta de Biodigestion para Aprovechar la Energía de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?	determinar la cantidad total de residuos organicos para el Diseño de una planta de Biodigestion para Aprovechar la Energía de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?	la correcta determinación de cantidad total de residuos organicos ayudara al Diseño de una planta de Biodigestion para Aprovechar la Energía de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?	<p>Variable Independiente residuos organicos</p> <p>Variable Dependiente planta de biodigestion</p>	<p>contenido de masa volatili demanda quimica de oxigeno relacion carbono nitrogeno biodegradabilidad dimensionamiento</p> <p>analisis de laboratorio analisis de valores anemometro "-higrometro</p>
¿Cómo la cantidad total de biogas ayuda al Dimencionamiento de una planta de Biodigestion para Aprovechar la Energía de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?	calcular la cantidad total de biogas para el Dimencionamiento de una planta de Biodigestion para Aprovechar la Energía de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?	calcular la cantidad total de biogas para el Dimencionamiento de una planta de Biodigestion para Aprovechar la Energía de Residuos Organicos del Relleno Sanitario de Chilla – Juliaca?	<p>Variable Independiente cantidad total de residuos</p> <p>Variable Dependiente Dimencionamiento de una planta de Biodigestion</p>	<p>tiempo de retencion de residuos tanque de alimentacion digestor lecho de secado tuberia de captacion tanque de almacenamiento sistema de generacion</p> <p>analisis de contenidos calculo topografia -teudolito</p>
¿cómo determinar los parametros de diseño del biodigestor ?	determinar los parametros de diseño del biodigestor	con la correcta determinación de los parametros de diseño del biodigestor nos facultara aprovechar la mayor cantidad de residuos organicos.	<p>Variable Independiente parametros de diseño</p> <p>Variable Dependiente aprovechamiento energetico</p>	<p>Volumen del digestor Volumen de la cámara de fermentación Altura de la cámara de fermentación Diámetro de la cámara de fermentación Radio de la cámara de fermentación Altura de la cúpula.</p> <p>analisis mediciones calculo "- programa biodigestor</p>

Elaborado por el equipo de trabajo