

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales

Sustentabilidad y tecnología

PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP)
Programa para el mejoramiento en la calidad, productividad y logística en la
industria regional



ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara

4F04 Mejoramiento en la industria de la calidad, productividad y logística en
la industria regional
Mejoramiento en la producción de gas metano en biodigestores prototipos
de 20L

PRESENTAN

Programas educativos y Estudiantes

Ing. En Biotecnología Jesús Israel Campos Hueso

Profesoras PAP:

Dra. María Yoloxochitl Ramírez García

Dra. Mariana Del Rocío Ruíz Briseño

Tlaquepaque, Jalisco, 05 de diciembre de 2022

ÍNDICE

CONTENIDO

REPORTE PAP	4
Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional	4
Resumen	6
1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional.....	6
1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto	6
1.2 Caracterización de la organización.....	27
1.3 Identificación de la(s) problemática(s).....	27
1.4. Planeación de alternativa(s).....	28
1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora	33
1.6. Valoración de productos, resultados e impactos	54
1.7 Referencias	57
1.8. Anexos	61
2. Productos	64
3. Reflexión crítica y ética de la experiencia.....	65
3.1 Sensibilización ante las realidades	65
3.2 Aprendizajes logrados	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Representación típica del cambio de pH en un proceso fermentativo en lote.	10
Figura 2. Diagrama del metabolismo de la MO en metano.....	13
Figura 3. Sulfato reducción de la Materia orgánica.....	17
Figura 4. Simbiosis entre G. metallireducens & Methanoseta sp.....	21
Figura 5. Modelo digital de los biodigestores.	31
Figura 6. Cronograma inicial de actividades	33
Figura 7. Proceso de fermentación.	34
Figura 8. Lugares de corte en tapas y botes.....	35
Figura 9. Marcas de cortes en tubos PVC	36

Figura 10. Sobreposición del tubo de nivel con su marca.....	36
Figura 11. Cortes y perforaciones de lugares marcados.....	37
Figura 12. Eliminación de impurezas.....	38
Figura 13. Kit de piezas necesarias para un biodigestor.....	39
Figura 14. Piezas sueltas necesarias para un BD.....	39
Figura 15. Piezas ensambladas necesarias para un BD.....	39
Figura 16. Aplicación del pegamento PVC en tubos y coples.....	40
Figura 17. Aplicación del pegamento PVC en adaptador macho para válvula de gas.....	40
Figura 18. Refuerzo de uniones.....	41
Figura 19. Fermento.....	41
Figura 20. Amarre de la tapa con los botes.....	43
Figura 21. Acomodo inicial de los 17 BD.....	43
Figura 22. Nivelado con para el proceso de pesado.....	44
Figura 23. Recipiente con cantidad necesaria para la toma de temperatura.....	44
Figura 24. Reacomodo de los 17 BD.....	45
Figura 25. BD con globos en la válvula de salida de gas.....	45
Figura 26. Medición del diámetro mayor de un globo con una hoja milimétrica.....	46
Figura 27. Promedio de las temperaturas ambientales.....	48
Figura 28. Dimensionamiento del acomodo de BD.....	50
Figura 29. Incremento de la temperatura interior respecto a la temperatura ambiente.....	52
Figura 30. Variación de la masa sobre el tiempo.....	53
Figura 31. Tiempo de con el globo inflado.....	54
Figura 32. Biodigestores prototipo experimentales.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relaciones N:C de varios sustratos.....	8
Tabla 2. Comportamiento de la fermentación según el pH.....	10
Tabla 3. Características de excretas de tipos de animales.....	11
Tabla 4. residuos vegetales y posible producción de gas.....	11
Tabla 5. Tiempo de Retención Hidráulico según la temperatura.....	23
Tabla 6. Parámetros de diseño de biodigestores.....	31
Tabla 8. Valores iniciales de la fermentación.....	34
Tabla 9. Condiciones iniciales de la fermentación.....	42
Tabla 10. Temperaturas internas vs temperatura ambiental.....	50
Tabla 11. Visualización del incremento de temperatura dentro de los BD.....	51
Tabla 12. Tiempo ejercido en el proyecto.....	56

Tabla 13. Competencias adquiridas durante el proyecto..... 67

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Reducción del sulfato. 18

Ecuación 2. Fermentación de glucosa a acetato e H₂ (fermentación). 18

Ecuación 3. Fermentación de glucosa a butirato (fermentación) 18

Ecuación 4. Fermentación de butirato a acetato e H₂ (Acetogénesis) 18

Ecuación 5. Fermentación del propionato a acetato (Acetogénesis) 18

Ecuación 6. Acetato a partir de H₂ y CO₂ (Acetogénesis) 18

Ecuación 7. Metano a partir del CO₂ y H₂ (Metanogénesis)..... 18

Ecuación 8. Metano a partir de acetato (Metanogénesis)..... 18

Ecuación 9. Carga orgánica al tiempo t..... 24

Ecuación 10. Carga total diaria 24

Ecuación 11. Área de una circunferencia. 25

Ecuación 12. Volumen de un cilindro 25

Ecuación 13. Relación N:C de la combinación de diferentes sustratos..... 26

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1. Ruta metabólica del metano desde acetato 19

Diagrama 2. Ruta metabólica del metano desde CO₂. 20

Diagrama 3. Diagrama de flujo de la fermentación..... 30

Diagrama 4. Diagrama de flujo del armado de los biodigestores..... 30

Diagrama 5. Diagrama de flujo de la digestión anaeróbica..... 31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. 1 Informe de evaluación de excreta de caballo por Yennifer Cruz Tinoco 61

Anexo A. 2 Ruta metabólica de la biosíntesis de metano por acetato. (KEGG, 2022) 62

Anexo A. 3. Ruta metabólica de la biosíntesis de metano por CO₂. (KEGG, 2022)..... 63

REPORTE PAP

Presentación Institucional de los Proyectos de Aplicación Profesional

Los Proyectos de Aplicación Profesional (PAP) son experiencias socio-profesionales de los alumnos que desde el currículo de su formación universitaria- enfrentan retos, resuelven problemas o innovan una necesidad sociotécnica del entorno, en vinculación (colaboración) (coparticipación) con grupos, instituciones, organizaciones o comunidades, en escenarios reales donde comparten saberes.

El PAP, como espacio curricular de formación vinculada, ha logrado integrar el Servicio Social (acorde con las Orientaciones Fundamentales del ITESO), los requisitos de dar cuenta de los saberes y del saber aplicar los mismos al culminar la formación profesional (Opción Terminal), mediante la realización de proyectos profesionales de cara a las necesidades y retos del entorno (Aplicación Profesional).

El PAP es un proceso acotado en el tiempo en que los estudiantes, los beneficiarios externos y los profesores se asocian colaborativamente y en red, en un proyecto, e incursionan en un mundo social, como actores que enfrentan verdaderos problemas y desafíos traducibles en demandas pertinentes y socialmente relevantes. Frente a éstas transfieren experiencia de sus saberes profesionales y demuestran que saben hacer, innovar, cocrear o transformar en distintos campos sociales.

El PAP trata de sembrar en los estudiantes una disposición permanente de encargarse de la realidad con una actitud comprometida y ética frente a las disimetrías sociales. En otras palabras, se trata del reto de “saber y aprender a transformar.

El Reporte PAP consta de tres componentes:

El primer componente refiere al ciclo participativo del PAP, en donde se documentan las diferentes fases del proyecto y las actividades que tuvieron lugar durante el desarrollo de este y la valoración de las incidencias en el entorno.

El segundo componente presenta los productos elaborados de acuerdo con su tipología.

El tercer componente es la reflexión crítica y ética de la experiencia, el reconocimiento de las competencias y los aprendizajes profesionales que el estudiante desarrolló en el transcurso de su labor.

Resumen

4F04 Mejoramiento en la industria de la calidad, productividad y logística en la industria regional ofrece la posibilidad de la vinculación con empresas y organizaciones de carácter tecnológico y científico. ASHOK fue el nombre de proyecto donde se elaboró un diseño factorial de 2 tratamientos con 3 niveles y 3 repeticiones en la biodigestión de excreta de equino. También se crearon 17 biodigestores experimentales prototipo donde se evaluó la producción de gas metano variando el tiempo de fermentación (600 y 700 horas) y la adición de sulfato de amonio (0.5, 1 y 1.5 Kg) como fuente de nitrógeno. Por fallas técnicas de los equipos armados y retrasos de logística no fue posible analizar los datos estadísticamente, sin embargo, los datos sugieren que el experimento con mejores resultados fue de 600 horas y 0.5 sulfato de amonio produciendo .

1. Ciclo participativo del Proyecto de Aplicación Profesional

El PAP es una experiencia de aprendizaje y de contribución social integrada por estudiantes, profesores, actores sociales y responsables de las organizaciones, que de manera colaborativa construir sus conocimientos para dar respuestas a problemáticas de un contexto específico y en un tiempo delimitado. Por tanto, la experiencia PAP supone un proceso en lógica de proyecto, así como de un estilo de trabajo participativo y recíproco entre los involucrados.

1.1 Entendimiento del ámbito y del contexto

1.1.1 Introducción

La baja producción de gas en biodigestores (BD) de la marca HomeBioGas® que posee la organización GIRA detiene la venta de estos BD debido a la baja producción de gas que tienen causados por las bajas temperaturas, especialmente desde las estaciones de otoño tardío hasta primavera temprana, donde la temperatura promedio es de 0-18°C. La temporada más difícil en un biodigestor que no posee control de condiciones de Temperatura y está colocado a la intemperie son otoño e invierno, seguido de verano y durante el verano es cuando la producción de gas metano es superior, la tasa de producción de gas metano (kg/hr) es de dos a tres veces menor en invierno que en verano, debido tanto a la disminución de biomasa producida, temperatura ambiental y velocidad de viento (Flesh, Desjardins, & Worth, 2011).

1.1.2 Biodigestión

La digestión anaerobia es lo que hace posible la producción de gas a partir de la generación de metano por residuos orgánicos. Tras una serie de pasos y 4 grupos de bacterias, transforman la materia orgánica en CH₄ a través de combustiones metabólicas con ausencia de oxígeno (fermentación anaerobia) (Posso, 2002). Existen varios tipos de residuos orgánicos fermentables como los que se producen de manera natural en los diferentes ecosistemas, la producida por actividad humana (ganadería, agricultura) y la utilizada en plantaciones energéticas, es decir, plantas con el fin exclusivo de producir biocombustibles (FAO, 2008).

En general el funcionamiento de los BD por digestión anaerobia depende de uno ciertos factores tales como (Olaya, 2009):

- Sustrato (Materia orgánica)
- Tiempo de residencia
- Nivel de agua
- Temperatura
- Relación N:C
- pH

1.1.2.1 Tiempo de residencia

El tiempo de residencia está fuertemente vinculado a la temperatura ambiente que rodea el biodigestor. Las bacterias que se generan dentro del biodigestor tienen un rango de temperaturas óptimo en el cual crecen más aceleradamente, ciertas zonas poseen un rango de temperatura las cuales influyen en el tiempo en el que las bacterias degradan la materia orgánica (tiempo de residencia). Se han clasificado los tipos de biodigestión por rangos de temperatura de la siguiente manera (Alcayaga, Glaría, & Guerrero, 1999):

- Psicofílica: 100 días de tiempo de retención para temperaturas entre 10 y 20 °C.
- Mesofílica: 30 a 40 días de tiempo de retención para temperaturas entre 20 y 35°C.
- Termofílica: 8 días de tiempo de retención para temperaturas entre 50 y 60°C.

1.1.2.2 Relación N:C

La materia orgánica está compuesta en mayor medida por compuestos base carbono, es el responsable directo de generar la combustión metabólica que genera el calor y la energía a los MO para que las enzimas trabajen dentro de la célula. El nitrógeno, aunque menos abundante, está presente en una buena proporción en las proteínas y enzimas poseen en las terminales aminas y radicales de los aminoácidos (Chen, 1983). Debido a que se requiere los carbonos para la energía y los nitrógenos para el funcionamiento celular, se establece una relación carbono – nitrógeno, en la cual dependiendo de las necesidades del consorcio bacteriano se tendrá un mejor aprovechamiento de los nutrientes la cual termina repercutiendo en la producción de biogás .

Para los biodigestores la mejor relación de N:C debe estar entre el rango de 20:1 a 30:1 (Alcayaga, Glaría, & Guerrero, 1999). Aunque autores como Corace et al (2006) estiman que la relación ideal es de 16:1. Incluso Vivas, Cáceres, Rincón y Cajigas en 2019 llegaron a probar que la relación del 14:1 produce hasta 70 ml de CH₄ en 25 días. La tabla 1 muestra las diferentes relaciones para varios sustratos diferentes.

Tabla 1. Relaciones N:C de varios sustratos (Olaya, 2009).

Sustrato	N:C	Sustrato	N:C
Orina	1:0.8	Pasto	1:27
Alfalfa	1:18	Hojas secas	1:41
Aserrín	1:511	Tallo de maíz	1:53
Algas marinas	1:19	Cáscaras de papa	1:25
Estiércol ovino	1:29	Paja seca de trigo	1:87
Estiércol equino	1:25	Paja seca de arroz	1:67
Estiércol vacuno	1:18		
Estiércol avícola	1:32		
Estiércol humano	1:2.9		
Estiércol porcícola	1:13		

1.1.2.3 pH

El pH es la ácidos del medio el cual se encuentran los MO, este es un parámetro importante para establecer poblaciones microbianas saludables y operativas; el pH proporciona estabilidad y funcionabilidad a enzimas, proteínas y metabolitos (Rosso, Lobry, Bajard, & P., 1995).

Durante la fermentación el sustrato cambia constantemente de composición química. Las bacterias fermentativas tienen 3 tipos sistemas de ácido-base (Quintana, Mejía, & Martínez, 2006):

- Sistema carbónico: El dióxido de carbono es el principal gas que cambia el pH por su poder acidificante. El gas es liberado de las células hacia la cámara de gases, y también es liberado al medio acuoso, disolviéndose formando ácido carbónico (H_2CO_3), bicarbonato (HCO_3^{2-}), y carbonato (CO_3^-). Este sistema tiende a neutralizarse a sí mismo, incrementando los pH bajos y reduciendo los pH altos.
- Sistema amonio-amoniaco: El amonio (NH_4^+) es formado a partir del amoniaco (NH_3) por la descomposición de las proteínas por el primer grupo de bacterias. Este sistema tiende a basificar el medio tendiendo a pH 9.24 (pKa).
- Sistema ácidos orgánicos: Estos son productos del metabolismo de la descomposición de macromoléculas en micromoléculas propias de las bacterias fermentativas. Los ácidos que más predominan son el ac. Acético y el ac. Láctico. Este sistema tiende a acidificar el medio tendiendo a un pH de 4.4

Estos 3 sistemas combinados forman la figura 1, donde el pH cae en la fase inicial y asciende conforme el dióxido de carbono aumenta (A), se basifica conforme la fase de mayor producción de CO_2 se desarrolla (B), y se estabiliza en el pH que corresponde los pKa del sistema carbónico (6.35 y 10.33 @ 25°C) (Sudenberg, 2005).

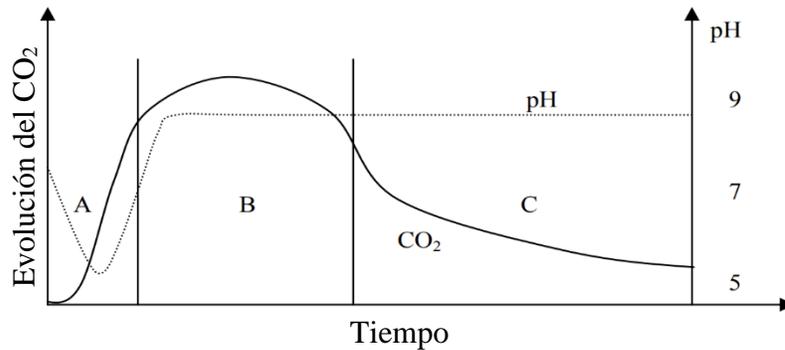


Figura 1. Representación típica del cambio de pH en un proceso fermentativo en lote. fase inicial (A), fase de tasa alta (B), fase de curación (C). (Sudenberg, 2005)

Las bacterias generadoras de metano son sensibles a cambios de pH, su rango ideal es de 6-8, siendo el óptimo de 7.0 – 7.2. El pH del lodo es un indicador del funcionamiento del biodigestor. En la tabla 2 se muestra los comportamientos de pH de los biodigestores y sus causas (Olaya, 2009).

Tabla 2. Comportamiento de la fermentación según el pH

pH	Comportamiento
7.0 – 7.2	Óptimo
6.2	Retardada acidificación
7.6	Retardada amonización

1.1.2.4 Sustrato

La principal fuente de las bacterias responsables de la producción de metano se encuentra en los intestinos de los animales, el cual, mediante el proceso de fermentación, estos pueden reproducirse en mayor cantidad produciendo mayores cantidades de biogás. Las características de las principales excretas de animales usados en la ganadería están presentadas en la tabla 3 (Olaya, 2009).

Tabla 3. Características de excretas de tipos de animales.

Tipo de animal	Cantidad diaria		% material de fermentación		Litros de biogás por kg de sólidos orgánicos.
	Estiércol en % del peso vivo	Orina en % del peso vivo	% sólidos totales	% sólidos orgánicos	
Caprino y ovinos	3.0	1.5	30	20	200
Equinos	5.0	4.0	25	15	250
Avícolas	4.5	4.5	25	17	400

Los biodigestores pueden ser cargados con casi cualquier tipo de residuo orgánico si se balancea bien la relación de N:C. Las actividades agrícolas, ganaderas y pecuarias producen desechos que pueden ser tratadas anaeróbicamente. En la tabla 4 se muestran algunos de los desechos agrícolas principales que pueden ser utilizados para alimentar el biodigestor (Olaya, 2009).

Tabla 4. residuos vegetales y posible producción de gas.

Residuo vegetal	% sólidos totales	% sólidos orgánicos	Litros de biogás por kg
Desecho de verdura	12	86	350
Jacinto de agua	7	75	325
Hierba fresca	24	89	410
Paja de arroz	89	93	220
Paja de maíz	80	91	410
Paja de trigo	82	94	250
Bagazo	65	78	160

1.1.2.5 Cantidad de agua.

La cantidad adecuada de agua puede marcar la diferencia entre el óptimo funcionamiento de un biodigestor y los obstáculos que puede presentar el mismo sustrato si tiene exceso o falta de agua. Si el sustrato está muy diluido la producción de biogás es baja; por el contrario, si la cantidad de agua es baja, la cantidad de materia orgánica degradada es baja (Martina, y otros, 2005). La relación de agua que se requiere para la digestión de heces, orina, estiércol, y residuos agrícolas es de 1:1 a 1:2; si se desea degradar residuos vegetales la razón es de 1:3 a 1:4 (Corace, Aeberhard, Martina, Ventín, & García, 2006).

Para biodigestores que no poseen agitación mecánica, es necesario mezclar todo muy bien antes de introducirlo para asegurarse que todo el sustrato esté distribuido homogéneamente.

1.1.3 Consorcio bacteriano

En ausencia de oxígeno (o bajas concentraciones) un medio acuoso que contiene materia orgánica las bacterias puede digerir para producir gases como metano, gas sulfhídrico, amonio, etcétera. La producción de metano se debe principalmente las arqueas metanogénicas, una familia de bacterias en forma de bacilo que producen Gas Metano (GM) a partir del metabolismo de residuos orgánicos producto de la digestión anaeróbica (Thomas K., Raymond L., & Worth D., 2011). La degradación de la materia orgánica hasta metano requiere la intervención de varias familias de bacterias que descomponen los residuos; procesan consecuentemente los productos generados por cada familia que le precede. Las 4 grandes familias hidrolizan, acidifican, acetifican y finalmente metanogenan (figura 2). (Torrez Lozada & Pérez, 2010) Estas son:

- Bacterias hidrolíticas (Grupo 1)
- Bacterias fermentativas (Grupo 1)
- Bacterias acetogénicas (Grupo 2)
- Bacterias metanogénicas (Grupo 3)

Las bacterias hidrolíticas degradan la materia orgánica en nutrientes disponibles, transforman las macromoléculas (polisacáridos, lípidos, y proteínas) con enzimas secretadas de manera extracelular para deshacerlas en sus componentes primarios: azúcares simples, aminoácidos, ácidos grasos y alcoholes (Stephen H. & Markus K., 1984).

Los micronutrientes biodisponibles para las bacterias fermentativas se transportan a través de su membrana lipídica y se transforman en ácidos grasos de bajo peso molecular como ácido acético, fórmico, pirónico, y butírico secretando metabolitos secundarios como etanol, O₂, CO₂; de aquí que también se les conoce como bacterias productoras de hidrógeno (Novaes, 1986). Las bacterias fermentativas acidifican el medio para degradar la materia orgánica de fácil descomposición, como grasas, produciendo una gran cantidad de CO₂, también producen ácido sulfhídrico, ácido carbónico, bicarbonatos; el pH durante esta fase se encuentra entre 5.1 y 6.8 (Guevara, 1996).

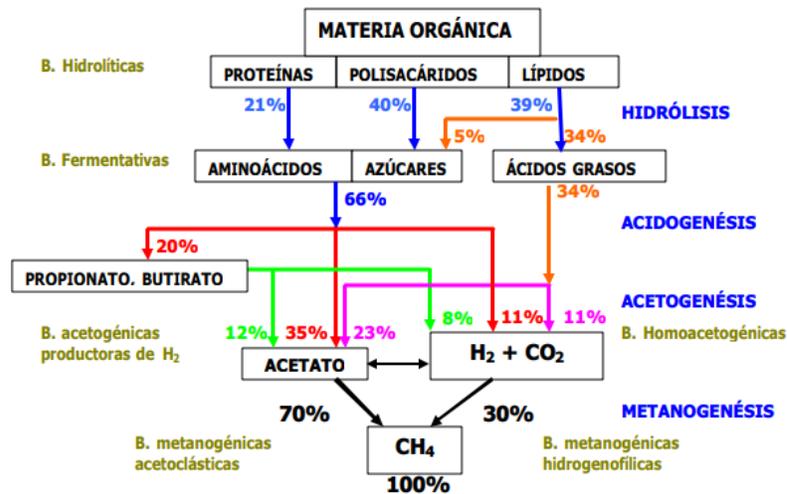


Figura 2. Diagrama del metabolismo de la MO en metano. (Rodríguez, 2015)

Las bacterias que realizan la acetogénesis convierten el propionato y butirato, en acetato, dióxido de carbono e hidrógeno diatómico mediante reacciones de oxidación (Rodríguez, 2015). Esta etapa de la fermentación es crucial para la producción de metano; aquí se produce el verdadero sustrato para la producción de metano (Novaes, 1986). Estas bacterias consumen los ácidos orgánicos, compuestos nitrosos. Las bacterias también son sulforeductoras, puesto que forman ácido sulfhídrico, esto causa que la materia orgánica flote, formando una costra que impide la salida de gas, además de producir mal olor. La acidez durante esta etapa es de 6.6 y 6.8 debido al sistema carbónico de regulación de pH (Quintana, Mejía, & Martínez, 2006).

Finalmente, las bacterias metanogénicas utilizan el CO_2 , H_2 , y acetato para producir metano, introducen los gases y por medio de la membrana lipídica, los metabolizan y finalmente expulsan el metano hacia el medio ambiente (Ampudia, 2011). Durante esta etapa el medio acidificado se vuelve más alcalino, todas las estructuras moleculares complejas se terminan de degradar durante esta fermentación, proteínas, aminoácidos y celulosa, el medio se hace mucho más líquido con sólidos flotantes diminutos (Guevara, 1996). Este paso se caracteriza por la transformación de los ácidos orgánicos en sales, y también por la mayor cantidad del volumen de gas se produce (Guevara, 1996), tiene aroma a alquitrán, la composición de los gases es principalmente metano (40 - 70%), CO_2 (30 - 60%), H_2S ($\leq 3\%$), H_2 ($\leq 1\%$) (Rodríguez, 2015). Durante esta última fermentación, alcaliniza el medio ácido llevando el pH a valore neutros entre 6.8 – 7.4 (Olaya, 2009).

1.1.3.1 Grupo 1: bacterias hidrolíticas y bacterias fermentativas.

Son las primeras bacterias que dominan el consorcio durante las primeras etapas. Estas bacterias son anaerobias facultativas y crecen en medios ligeramente ácidos, estos organismos son capaces de atacar la materia orgánica en proporciones grandes fraccionándolos en moléculas de menor tamaño molecular como consecuencia de su metabolismo (Alcayaga, Glaría, & Guerrero, 1999).

La fermentación consiste en el aprovechamiento de los azúcares reductores disponibles en las estructuras complejas de la fuente de carbono (sustrato), debido a la misma naturaleza de la fermentación, estas bacterias acidifican el medio por los ácidos grasos volátiles (Alcayaga, Glaría, & Guerrero, 1999). Entre todo el consorcio de MO los géneros más representativos de las bacterias fermentativas son (Novaes, 1986):

- Familia *Enterobacteriaceae*.
- *Bacillus sp.*
- *Peptostreptococcus sp.*
- *Propionibacterium sp.*
- *Bacteroides sp.*
- *Micrococcus sp.*
- *Clostridium sp.*

La hidrólisis consiste en la ruptura de los enlaces atómicos de moléculas como lípidos (lipólisis), compuestos sulfurados (sulforeducción), proteínas (proteólisis), péptidos (proteólisis), y polisacáridos (celulólisis) (Novaes, 1986). Las bacterias hidrolíticas más comunes en BD son *Anaerovibrio lipolytica* (actividad lipolítica), *Butyrovibrio fibrisolvens* (actividad fosfolítica), los géneros más representativos con actividad proteolítica son (Rodríguez, 2015):

- *Clostridium sp.*
- *Peptococcus sp.*
- *Bifidobacterium sp.*
- *Staphylococcus sp.*

1.1.3.2 Grupo 2: Bacterias acetogénicas.

Estas bacterias son un grupo de bacterias formalmente llamadas Organismos Acetógenos Productores de Hidrógeno (OHPA en inglés), estos utilizan los metabolitos secundarios generados por las bacterias fermentativas e hidrolíticas como el propionato, butirato y los oxidan hasta acetato, CO₂, y H₂ (especies transportadoras de electrones) durante la acetogénesis. Las reacciones del metabolismo de los OHPA son endotérmicas, por lo que consumen más energía de la que aportan; en ambientes mesofílicos y termofílicos tienden a desarrollarse bien, sin embargo, cuando las temperaturas son bajas tienen a agruparse con bacterias metanogénicas ya que producen una gran cantidad de calor metabólico (Rodríguez, 2015), este tipo de simbiosis (relación sintrófica) le permite a los OHPA mantener una tasa de producción más elevada y las bacterias metanogénicas utilizan el H₂ y CO₂ directamente, y consigo mantienen una tasa de especies de hidrógeno y dióxido de carbono más bajas; al disminuir la concentración de hidrógeno la presión parcial debido a esta especie también baja, haciendo el sistema termodinámicamente favorable (Rotaru, y otros, 2014).

No todas los OHPA han sido aisladas, el género *Syntrophomonas sp.* Es muy reconocido por su capacidad productora de H₂ y acetato, entre las especies más destacadas por su capacidad de producción, y simbiosis son (Rodríguez, 2015):

- *S. sapovorans*
- *S. wolinii*
- *S. wolfei*
- *S. bryantii*
- *S. buswellii*

Dentro del grupo 3 existe otro grupo de bacterias llamadas Bacterias Homoacetogénicas (BH), estas son anaerobias obligadas, utilizan el CO₂ como aceptador de electrones, sólo tienen al acetato como único metabolito secundario; no forman parte de algún género o familia, sino son un grupo diverso de bacterias gran positivas y negativas, algunas especies reconocidas se encuentran: *Clostridium aceticum*, *Clostridium formicoaceticum*, *Acetobacterium woodii*, etcétera (Díaz, Espitia, & Molina, 2002)

1.1.3.3 Grupo 3: Bacterias metanogénicas

Las bacterias metanogénicas, en gran medida, pertenecen al reino y dominio Archaea, pueden también ser llamados Organismos Metanogénicos (OMet), son microorganismos que son capaces de tolerar ambientes hostiles que otros MO no pueden tolerar, como exceso de sales, valores extremos de pH, altas temperaturas y presiones (Eme & Doolittle, 2015). Las condiciones de bienestar para los OMet son anaerobias estrictas, donde su producto principal es el metano proveniente principalmente de la reducción de acetato o H_2 y CO_2 (Rodríguez, 2015); a pesar de las condiciones de anaerobio obligado, se encuentran prácticamente en cualquier ambiente, sobre todo en cuerpos de agua tanto dulces como salados (Zinder & Koch, 1984).

En los biodigestores anaerobios, con nula transferencia de oxígeno, alimentados con estiércol hidrolizado, fermentado y oxidado, los OMet se pueden subdividir en otros 3 grupos (Rodríguez, 2015):

- Grupo 1: Utilizan el H_2 , formato y alcoholes como fuente de carbono. El dióxido de carbono es el reducido final (portador de electrones), y será el sustrato principal para la transformación a metano.
- Grupo 2: Utilizan los compuestos metilados como fuente de energía, algunas de las moléculas serán oxidadas a dióxido de carbono y será finalmente reducido a metano.
- Grupo 3: Son las arqueas que producen más metano, su generación proviene del rompimiento molecular del acetato. Este grupo contiene 4 géneros: *Methanosarcina sp.* (cocos agrupados), *Methanobacterium sp.* (bacilo pequeño), *Methanococcus sp.* (cocos libres) Y *Methanospirillum sp.* (arquea en forma de barra) (Novaes, 1986) es muy común encontrar estas especies dentro de los reactores de digestión anaeróbica compitiendo por el acetato, aunque suele predominar el segundo género. Estos géneros, aunque son muy bien reconocidos por el rendimiento de producción por biomasa de CH_4 , no eran tan reconocidos por la reducción de H_2 y CO_2 , sin embargo, está demostrado que el acetato es la ruta metabólica principal, y en relación sintrófica con bacterias de género *Geobacter sp.* (figura 4), es capaz de metabolizar H_2 y CO_2 . (Rotaru, y otros, 2014)

1.1.4 Metabolismo

1.1.4.1 Sulfato reducción

Es el proceso mediante el cual, los sulfatos se reducen a sulfuro de hidrógeno (H_2S) las Bacterias Sulfato Reductoras (BSR) durante la biodigestión (ecuación 1). Utilizan el sulfato como especie oxidante principal, también pueden usar tiosulfato, tetrionato y azufre elemental. Los donadores de electrones más usados son ácidos orgánicos (lactato, piruvato) y H_2 (Gibson, 1990). Estas bacterias también son anaeróbicas estrictas y están durante todas las etapas de la fermentación el consorcio, pueden alimentarse de todos los sustratos, desde la hidrólisis hasta metanogénesis por lo que compiten por nutrientes con los OMet (formato e hidrógeno), acetogénicas (propionato y butirato), y también con las *Geobacter sp.* (Rodríguez, 2015), sin embargo, todos los MO tienen rutas metabólicas alternas con el cual producir los ácidos, sulfitos, metano, etcétera; Las BSR contienen dos rutas metabólicas principales: una fermentativa y otra oxidativa, por lo que podrían sobrevivir sin sulfatos (figura 3)

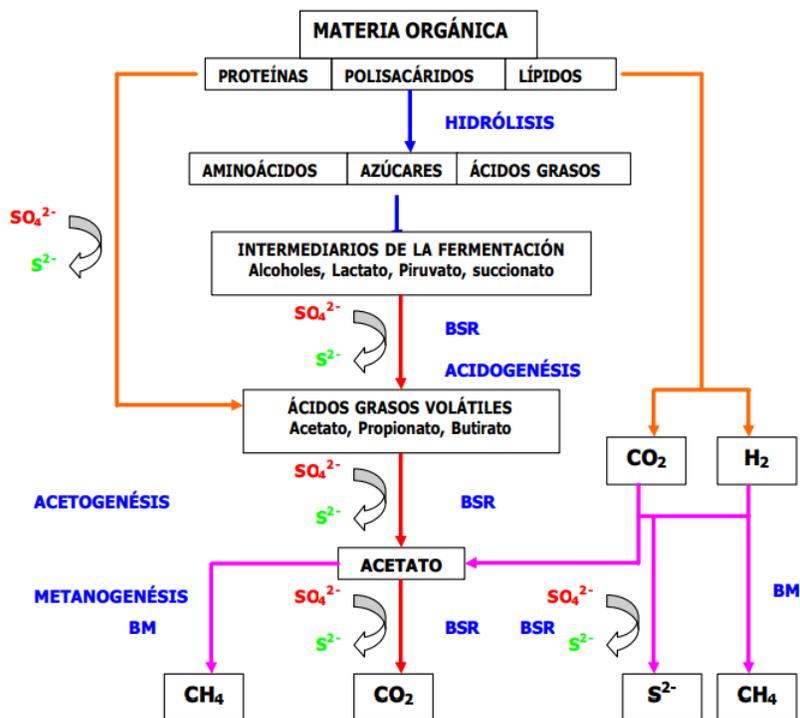


Figura 3. Sulfato reducción de la Materia orgánica. BSR (Bacterias Sulfo Reductoras); BM (Bacterias Metanogénicas). (Rodríguez, 2015)

Ecuación 1. Reducción del sulfato.

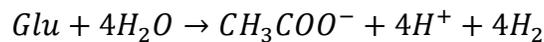


Estas bacterias son cruciales para el desarrollo de la fermentación puesto que degradan los sulfatos y el sulfuro de hidrógeno es una especie importante para la estabilización del pH y reacciones redox en general, si se produce demasiado puede llegar a ser tóxico para las demás bacterias que los colinden, además de producir mal olor.

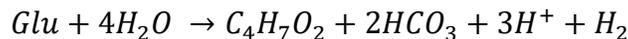
1.1.4.2 Ecuaciones químicas

Las reacciones más importantes para la generación de metano dependiendo su tipo de reacción según la etapa de la fermentación del consorcio están representadas en las ecuaciones 2-8 (Rodríguez, 2015) & (Márquez, 2005):

Ecuación 2. Fermentación de glucosa a acetato e H₂ (fermentación).



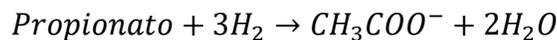
Ecuación 3. Fermentación de glucosa a butirato (fermentación)



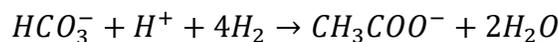
Ecuación 4. Fermentación de butirato a acetato e H₂ (Acetogénesis)



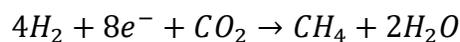
Ecuación 5. Fermentación del propionato a acetato (Acetogénesis)



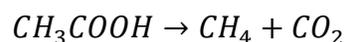
Ecuación 6. Acetato a partir de H₂ y CO₂ (Acetogénesis)



Ecuación 7. Metano a partir del CO₂ y H₂ (Metanogénesis)



Ecuación 8. Metano a partir de acetato (Metanogénesis)



1.1.4.3 Rutas metabólicas

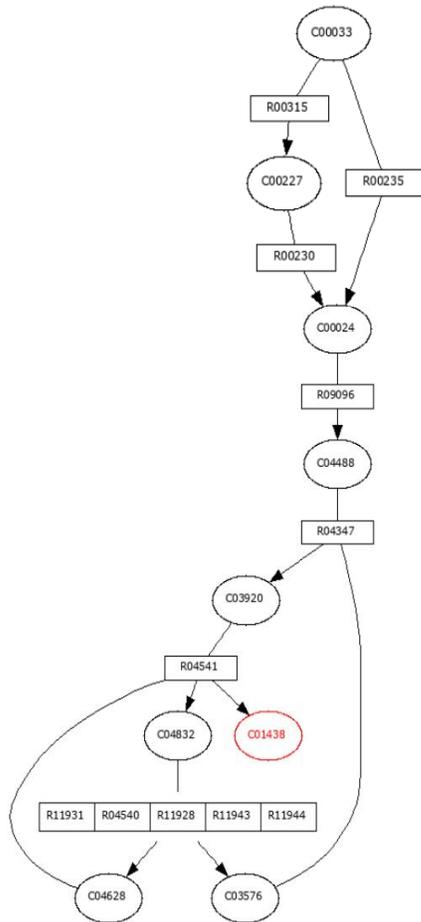


Diagrama 1. Ruta metabólica del metano desde acetato. (KEGG, 2022)

Cada círculo del diagrama 1 se refiere a un compuesto, y cada rectángulo a una reacción catalizada por una enzima. Al inicio el **acetato** (C0003) se introduce por la membrana lipídica, una parte reacciona con ATP con la enzima *ATP acetato fosfotransferasa* [R00315], produciendo **acetil fosfatasa** (C00227) y ADP, consecuentemente reacciona con un acetil-coA en función de la enzima *fosfato acetiltransferasa* [R00230] generando **Acetyl-CoA**; la otra parte del acetato puede reaccionar con ATP y Coenzima A con ayuda de CoA liasa [R00235] dando AMP, difosfato y **Acetil-CoA**. Con el complejo *acetil-coA decarbonilasa* el Acetil-CoA se une con **Tetrahidrometanopterin** formando una estructura compleja (C004488); con una *metil transferasa* [R04347] se usa la molécula anterior, junto con CoenzimaM y un sodio catiónico para tener **2-(Methylthio)ethanesulfonate** (C03920), y

La generación de metano a través de las bacterias y arqueas metanogénicas requiere de una serie de enzimas y moléculas que utilizan los metabolitos primarios para producir el metano. La biología molecular y la mecánica bioquímica intracelular para la biosíntesis del CH₄ es el resultado de la fijación del dióxido de carbono y la asimilación de acetato junto con el poder oxidante del hidrógeno diatómico (figura 4). Existen varias rutas metabólicas para la producción de metano, por fines del proyecto nos enfocaremos en la ruta del metabolismo del metano por el acetato (Anexo A.2) y por dióxido de carbono (Anexo A.3)

El diagrama 1 es un extracto de la ruta metabólica completa (Anexo A.2), está seleccionado solamente las especies y enzimas que se requieren para la producción de metano desde el acetato.

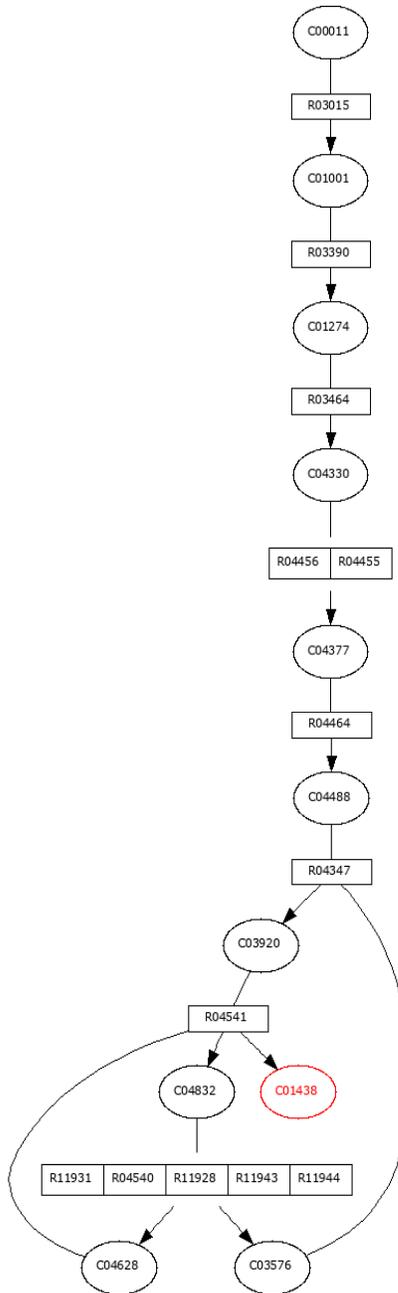


Diagrama 2. Ruta metabólica del metano desde CO₂. (KEGG, 2022)

[R04464] reacciona el compuesto anterior con Coenzima F420 reducida para formar **5-Methyl-THMPT** (C04488), al igual que el paso anterior se requiere de ion sodio, y coenzima-M para poder dejar libre el extremo que reaccionará para liberar el metano, la

finalmente este último producto junto con la CoenzimaaB y una enzima *tiotransferasa* [R04541] se libera el **metano** (C01438) del extremo metilo de la Methyl-CoM con la que reacciona.

El diagrama 2 se muestra la segunda ruta que se puede tomar desde el CO₂ hasta metano.

El **CO₂** (C00011) se incorpora a la célula por el intercambio de gases transmembranal donde reacciona con metano furan, **H₂** y ferredoxin reducido en reacción catalítica con la *Formilmetanofuran dehidrogenasa* [R03015] dando como producto **formilmetanofuran** (C01001), agua y ferredoxin oxidado. Posteriormente el producto recién formado reacciona con tetrahidrometanopterintetrahidrometanopterin y con ayuda de una *N-formiltransferasa* [R03390] se forma **5-Formyl-5,6,7,8-tetrahydromethanopterin** (C01274), este compuesto vuelve a reaccionar con catión hidrógeno y con una *ciclohidrolasa* [R03464] produce **5,10-Methenyltetrahydromethanopterin** (C04330).

Una *coenzime-F420 oxidoreductasa* [R04456] forma un complejo con la *meteniltetraidrometanopterin oxidoreductasa* [R04455] estas dos enzimas transforman el último producto en **5,10-Metilenetetraidrometanopterin** (C04377) liberando un protón. una enzima *metileno-H4MPT reductasa*

enzima *tetrahydromethanopterin methyltransferase* [R04347] y dan como resultado **metil-coenzimaM** (C03920), este finalmente reacciona con coenzima-B con la *metil-coenzima M reductasa* [R04541] para dar como resultado **metano** (C01438)

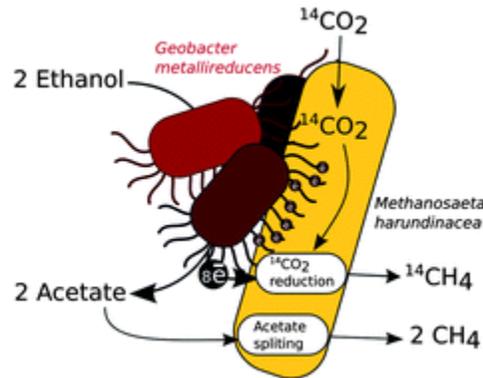


Figura 4. Simbiosis entre *G. metallireducens* & *Methanosaeta* sp. (Rotaru, y otros, 2014)

1.1.5 Operación del biodigestor.

Existen 3 tipos de modos de operación según la alimentación de los biorreactores depende de los microorganismos que estemos manejando y el producto de interés, ya sea un metabolito primario, secundario, biomasa, etc. (Paltán & Sagbay, 2014):

- Lote: También llamado batch, es aquel, donde todos los sustratos se adicional al inicio del proceso y el producto se obtiene conforme los nutrientes son formados en productos en un lapso definido de tiempo. No hay adición, ni remoción de sustrato, el volumen se mantiene constante. Ayudan a una producción acelerada de MO.
- Lote alimentado: O semicontinuo es donde el sustrato se va adicionando conforme pasa el tiempo (manual o automática), añadiendo nutrientes frescos constantemente, igual que en lote, el producto es retirado hasta el final de proceso. El volumen aumenta conforme el tiempo. Aumenta considerablemente la producción en comparación a lote.
- Continuo: la cantidad de nutrientes añadidos es igual a la cantidad de medio gastado con producto, el volumen se mantiene constante debido a que el flujo de salida y entrada debe ser el mismo, de modo contrario, se vaciaría el líquido, se lavaría (sin microorganismos), o rebosará el biorreactor. Este tipo de alimentación aumenta significativamente la cantidad de producto, aunque la cantidad de células sea menor. Este tipo de operación es más susceptible a contaminaciones.

Los biodigestores, así como los biorreactores, pueden operar de las 3 maneras, sin embargo, ya que la inocuidad y asepsia no son requisitos estrictos para este proyecto el modo de operación depende directamente de la cantidad de residuos orgánicos con los que se dispongan (CEDECAP, 2007).

- Se utiliza el modo de operación *en lote* cuando el suministro de residuos orgánicos es intermitente. Se alimenta una sola vez, se sella herméticamente. Puede haber salida de lodos y lixiviado, sin tubo de alimentación.
- El modo de operación *en lote alimentado* es el más empleado de manera doméstica, donde los flujos de residuos orgánicos son constantes, con un rango variable. Se introduce un sustrato inicial como en batch, y debido a la transformación de los sólidos volátiles, y sustratos acuosos en gases como H_2 ($\leq 1\%$), H_2S ($\leq 3\%$), CO (30 – 60%), metano (40 – 70%).
- El modo continuo requiere un flujo constante y continuo de entrada y salida de fluente, este tipo de biodigestores son industriales o de planta de tratamiento de agua, donde el flujo es abundante e intermitente.

1.1.5 Dimensionamiento del biodigestor.

Realmente no existe un modelo de biodigestores que se ajuste a todos los tipos de parámetros, condiciones, límites y necesidades del proceso. Cada uno se debe ir adaptando a ciertos factores que indican como sería la mejor manera de armar un biodigestor. Sin embargo, existen ciertos fundamentos básicos que ayudan a diseñar y construir un biodigestor adaptado a las necesidades de cada caso. Este caso requiere de las consideraciones que se establecieron en el apartado 1.1.2; las condiciones generales para el dimensionado y diseño son (CEDECAP, 2007):

- Volumen de operación de 65 – 75%
- Tipos de sustratos suministrado
- Proceso anaeróbico estricto
- Materiales de construcción
- Tiempo de retención
- Necesidad de biogás

- Cantidad de sólidos
- Cantidad de carga
- Cantidad de agua
- Zona de trabajo

Para el diseño de los biodigestores prototipos se recurrió a los cálculos básicos de dimensiones de *biorreactores* fermentativos de sustrato semisólido sin agitación mecánica. Los biodigestores requieren un ambiente hermético (sin salida, ni entrada de gases), térmicamente aislado, válvula de gas de seguridad, fácil o accesible de dar mantenimiento, sin fugas, de material durable.

1.1.5.1 Tiempo de retención hidráulico (THR)

Este parámetro se basa principalmente en la cantidad de residuo orgánico que se degrada, y se transforma en gas, perdiendo masa dentro del biodigestor, por lo que es necesario volver a suministrar carga fresca (Alcayaga, Glaría, & Guerrero, 1999). También simboliza el tiempo que tarda el biodigestor desde que se instala, hasta que produce las primeras llamas. Este valor se encuentra en el apartado 1.1.2.1. Los tiempos de relación estimados están reportados en la tabla 5.

Tabla 5. Tiempo de Retención Hidráulico según la temperatura.

Temperatura [°C]	THR [Días]
10	55
20	25
30	10

El tiempo de retención también se puede inferir a través del monitoreo constante de los biodigestores a través de la pérdida de masa total.

1.1.5.2 cálculo de la carga

Este parámetro normalmente está relacionado con la cantidad y velocidad de residuos orgánicos que se tengan a disposición. En biodigestores con fermento de estiércol animal el cálculo es: la relación de la masa de excremento al tiempo t de individuo (m_t) en Kg por cada 100 Kg de peso vivo (biomasa), multiplicado por el peso del animal (m_a)

Ecuación 9. Carga orgánica al tiempo t

$$Carga_t = \left(\frac{m_t}{100 \text{ Kg}} \right) (m_a)$$

En caso de tener una población de animales el cálculo debe considerar a los individuos de la población la producción diaria total ($Carga_T$) se deberá hacer la sumatoria de cargas diarias.

Ecuación 10. Carga total diaria

$$Carga_T = \sum Carga_t$$

Otra consideración es que la carga debe ser lo más fresca posible, reduciendo la evaporación de sólidos volátiles entre ellos compuestos nitrogenados (SEMARNAT & SAGARPA, 2010).

1.1.5.3 Cantidad de agua

El uso del agua debe ser del grifo o agua dura, no se debe considerar el uso de agua limpia, tratada o suave para la operación de los biodigestores. La relación de la cantidad de sólidos con agua debe ser de al menos 1:3, y para sustratos provenientes de excretas y heces, la relación deberá ser mayor (SEMARNAT & SAGARPA, 2010).

1.1.5.4 Volumen de operación

El volumen de operación normalmente se calcula dependiendo de la carga total, frecuencia de carga y la cantidad de agua. El volumen de operación en modos de operación semicontinuos o por lote en biodigestores con cámara de gases integrada al mismo contenedor de la fermentación requiere de un porcentaje de acumulación de gases y otro de

producción de gas. El volumen de operación de un biodigestor es del 20-35% de su volumen total.

La fórmula para calcular el volumen se basa directamente en las figuras geométricas tridimensionales que conforman el biodigestor, si no son figuras puras, sino complejos de cuerpos geométricos, se deberán sumar los volúmenes de cada sección. En este caso la figura geométrica que corresponde a la elaboración de estos biodigestores es el cilindro. El volumen (V) de cilindro se calcula con el área de la base (b) por la altura del recipiente (h) como se muestra en la ecuación 11. Dado que el área de la base es circular (A), su fórmula es la mitad del diámetro interno (d_i) o bien radio interno (r_i) al cuadrado por π , tal como la representa la ecuación 12.

Ecuación 11. Área de una circunferencia.

$$A = \pi \cdot r_i^2 = \pi \cdot \left(\frac{d_i}{2}\right)^2$$

Ecuación 12. Volumen de un cilindro

$$V = A \cdot h$$

1.1.5.2 Tipo de sustrato

El tipo de sustrato que se piensa digerir depende mucho de la relación de N:C que tenga y que mezcla de sustratos debe ser la adecuada para aumentar la producción de biogás. La descomposición de materia orgánica rica en carbono, con relaciones superiores a 1:35 ocurre la fermentación muy lenta.

Los valores de la relación de carbono y nitrógeno se pueden elaborar en laboratorio con la metodología de Kjeldahl o bien la metodología de Dumas, ambos métodos son precisos para la determinación, sin embargo, uno es mejor analizando un compuesto que otro. La revisión bibliográfica ayuda para la estimación de nitrógeno y carbono que contienen los diferentes sustratos.

Kjeldahl es una metodología propuesta para la determinación de nitrógeno utilizando ácido sulfúrico. Transforma los compuestos nitrogenados en sulfato de amonio a altas temperaturas. El amonio se transformará en gas amoniacal, se evaporará, condensará y lo capta en un vaso con un reaccionante o absorbente químico como el ácido clorhídrico o ácido bórico para disolver el amonio en sales de amonio solvatadas (PanReac, 2018).

La metodología de Dumas es una metodología versátil y diversa, bastante sencilla de realizar ya que todo el proceso está automatizado y más rápido, además de por tener equipos analógicos y digitales la medición es más precisa que con titulación. No utiliza químicos fuertes, ni contaminantes (Müller, 2017). Esta metodología es mejor para la cuantificación de carbono, pues combustiona la materia a analizar, se pasa por una malla fina y se determina con un equipo especializado (Amaguaya, 2015).

El cálculo para la relación de nitrógeno y carbono (R) cuando se tiene una mezcla se obtiene a través de la sumatoria del porcentaje del carbono (C) por el peso fresco de cada sustrato ((n), entre la sumatoria del porcentaje de nitrógeno (N) por el peso fresco de cada sustrato (n), como se expresa en la ecuación 13.

Ecuación 13. Relación N:C de la combinación de diferentes sustratos.

$$N:C = \frac{\sum N_1 \cdot carga_{T1} + N_2 \cdot carga_{T2} + \dots + N_n \cdot carga_{Tn}}{\sum C_1 \cdot carga_{T1} + C_2 \cdot carga_{T2} + \dots + C_n \cdot carga_{Tn}}$$

1.1.5.3 Otras consideraciones

Además de los cálculos básicos, se añadirá un tubo cerrado al interior del BD que permita tomar la temperatura en el interior del biodigestor. Se le colocará agua al interior para facilitar y hacer más rápida la toma de temperatura como si se estuviera haciendo un biorreactor tipo CSTR (Arévano, Llanos, & Flores, 2003). Ya que se pretende simular las condiciones ambientales con las que se enfrenta el biodigestor HomeBioGas®, se optó por no usar sensores on-line, in-line, sino off-line.

1.2 Caracterización de la organización

La organización ASHOKA® tiene como propósito incrementar el liderazgo en emprendimiento, es una organización internacional con una red de emprendedores sociales dedicada a impulsar empresas que tienen el enfoque de solucionar problemáticas sociales arraigadas; Víctor Berrueta fue candidato y seleccionado como emprendedor social de esta empresa en el 2010, y se otorgó un financiamiento durante 3 años para iniciar la solución de los quemadores de leña. GIRA (Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable) es una organización civil sin fines de lucro donde Víctor Berrueta es socio y colabora con académicos de la UNAM para solucionar el problema de la quema de leña en las comunidades rurales y urbanas del municipio de Pátzcuaro. GIRA tiene los proyectos de Patsari con el objetivo de mejorar el nivel de vida de las familias rurales, mediante estufas más eficientes; Manejo de los bosques comunes con el objetivo de analizar la situación que vive la silvicultura comunitaria en el país, haciendo reuniones con líderes de ejidos, empresas sociales forestales y mejorando el diseño de instituciones gubernamentales (CONAFOR, SEMARNAT y PROFEPA)

1.3 Identificación de la(s) problemática(s)

Actualmente en GIRA desea iniciar un proyecto para la venta de BD de la marca HomeBioGas®. La producción de biogás durante el verano es de 1 hora de biogás a la semana (Datos experimentales de Yennifer Tinoco Cruz para su tesis de grado de la UNAM campus Morelia), siendo este un factor muy importante para el ahorro de gas enfocado a ganaderos y agricultores. Sin embargo, 1 hora de biogás semanal es insuficiente para alimentar procesos de calentamiento que se requiera. Durante otoño tardío hasta primavera temprana la producción de metano baja drásticamente a 1 hora de biogás mensual, siendo completamente inviable la producción de gas.

En general las fermentaciones requieren de 5 factores principales las cuales incluyen:

- Rango de temperatura.
- pH óptimo.

- Nutrientes
- Agitación
- Carga celular
- Oxigenación completa o basal

Ya que el biodigestor (BD) HomeBioGas® no poseen control automatizado alguno, ni posibilidad a reestructurarlo; el control de agitación e implementación de bombas para la adición de ácido base, y el incremento de temperatura por resistencia no puede ser incluido. La ausencia de oxígeno dentro de sistema es un hecho, gracias a la arquitectura del BD, a manera que, podemos enfocarnos a la cantidad de inóculo que se introduce a los BD dado por el tiempo de fermentación, y la relación N:C inicial.

La temperatura es uno de los factores principales en la producción de metano debido a la energía que requieren las reacciones enzimáticas para transformar los metabolitos en el producto principal (metano).

1.4. Planeación de alternativa(s)

Una vez identificadas las problemáticas es importante pasar a las estrategias de solución. Para el aumento de producción de metano se propone 1 diseño factorial de 3 tratamientos con 3 niveles donde se varíe el tiempo de fermentación para la reproducción de la familia de bacterias metanogénicas con 3 tratamientos variando la relación de N-C que contiene la excreta de equino.

Los tiempos de fermentación propuestos son:

- 2 semanas
- 3 semanas
- 4 semanas

Las fermentaciones se llevarán a cabo de manera anaerobia en fermentadores de 50 L, donde se mezclará 50 kg del estiércol con agua por triplicado.

Una vez transcurrido 1 semana de fermentación se ajustarán relaciones de 1:20, 1:30 y 1:40 de N-C con un sustrato rico en nitrógeno.

El plan de trabajo original se planteó de tal manera que se pudiera cumplir de la manera más eficiente y factible para cumplir con los objetivos propuestos al inicio del proyecto.

Los 3 objetivos principales para el desarrollo del proyecto propuesto son:

- Fermentar la excreta de equino.
- Armar biodigestores experimentales prototipo.
- Transformar la materia orgánica en metano y biol.

La metodología entonces se dividió en 3 partes las cuales incluyen:

A. Fermentación

- Pesar estiércol
- Pesar Agua
- Mezclar
- Dejar reposar a temperatura ambiente
 - 2 semanas
 - 3 semanas
 - 4 semanas

B. Armado de biodigestores experimentales

- Adquirir material
- Marcar lugares de corte
- Cortar lugares marcados
- Quitar impurezas y limpiar zona cortada
- Pegar tubos en hoyos en botes y tapas de botes
- Reforzar las uniones entre los tubos y las perforaciones

C. Producción de metano

- Identificar y solucionar fugas
- Pesar
 - Fermento
 - Sustrato fresco

- Sulfato de amonio
- Agua
- Mezclar
- Cerrar
- Sellar
- Realizar ajustes
- Medir
 - Temperatura
 - Masa
 - Tiempo de residencia
 - Tiempo de combustión

El modo de ejecución de la metodología diseñada y planeada se presentan a mayor detalle en los correspondientes diagramas de flujo (Diagrama 3-5).

Diagrama 3. Diagrama de flujo de la fermentación

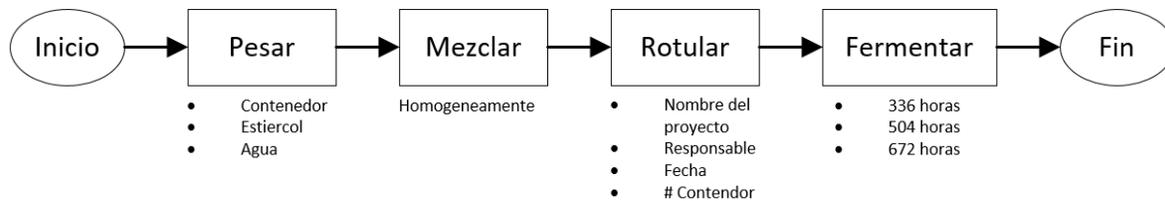


Diagrama 4. Diagrama de flujo del armado de los biodigestores

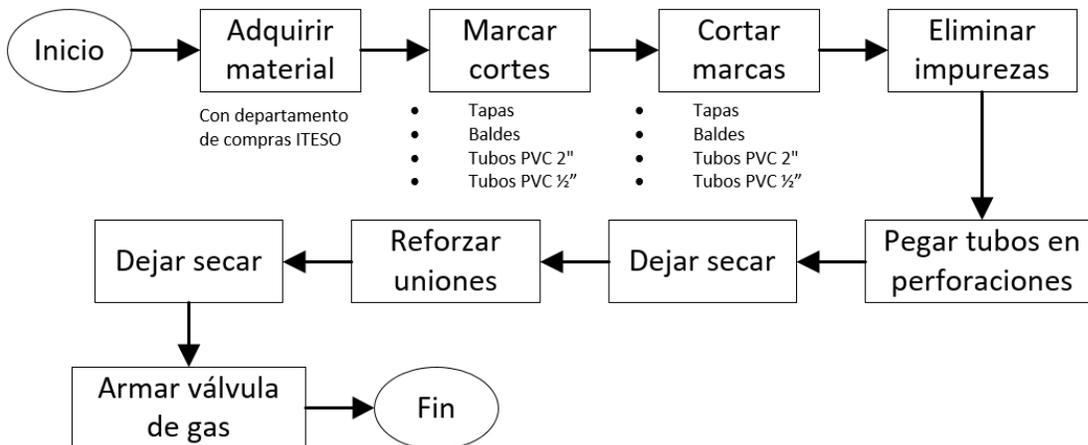
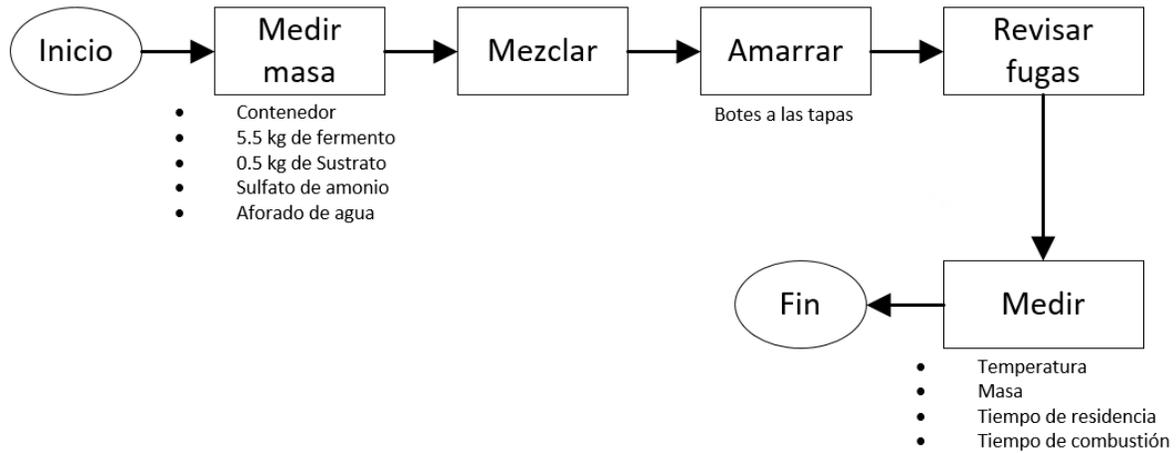


Diagrama 5. Diagrama de flujo de la digestión anaeróbica



La propuesta se llevó a cabo en fermentadores de 20 L, elaborados a partir de cubetas de plástico, tubos de PVC de ½ “y 2” y válvulas de globo de bronce (gas) y PVC. Son biodigestores de bajo costo. El esquema básico de los biodigestores está representado la figura 5. Las dimensiones calculadas del volumen de los tubos, y contenedor están reportadas en la tabla 6.

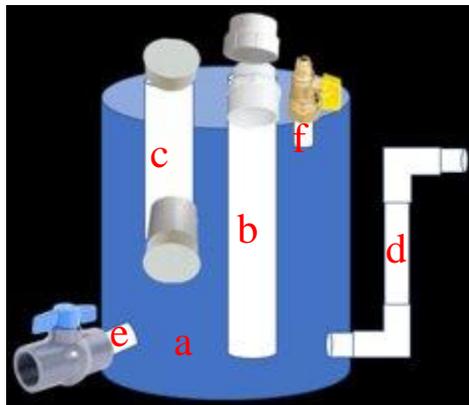


Figura 5. Modelo digital de los biodigestores.

Tabla 6. Parámetros de diseño de biodigestores.

Recipiente (a)		
Dimensión	Valor	Unidad
Diámetro	28.50	cm
Altura total	35.10	cm
Altura Operación	24.57	cm
Volumen Total	22.00	L
Volumen Operación	15.67	L
Volumen Real de Op.	15.50	L

Tabla 6. Parámetro de diseño de biodigestores (continuación).

Tubo alimentación (b)				
Elemento	Valor	Unidad	Grado	Precio
Tubo PVC 2"	27.8	cm	Sanitario	\$4.67
Tapa Hembra 2"	1	Pieza	Hidráulico	\$25.96
Adaptador Macho 2"	1	Pieza	Sanitario	\$13.62
Cople 2"	1	Pieza	Sanitario	\$2.65
Tapa 2"	1	Pieza	Hidráulico	\$5.67
Volumen	0.173	L		
Tubo temperatura (c)				
Tubo PVC 2"	27.8	cm	Sanitario	\$4.67
Cople 2"	2	Pieza	Sanitario	\$5.30
Tapa 2"	2	Pieza	Hidráulico	\$11.34
Volumen	0.173	L		
Tubo de nivel (d)				
Codos 90° 1/2"	2	Piezas	Hidráulico	\$7.88
Tubo PVC 1/2"	21	cm	Hidráulico	\$2.64
Volumen	0.008	L		
Toma de muestra (e)				
Tubo PVC 1/2"	4	cm	Hidráulico	\$0.50
válvula globo PVC 1/2"	1	Pieza	Hidráulico	\$28
Válvula de gas (f)				
Válvula Gas 1/2"	1	Pieza	Bronce	\$54.00
Tubo PVC 1/2"	4	cm	Hidráulico	\$0.50
Adaptador macho 1/2"	1	Pieza	Hidráulico	\$3.00

El desarrollo del proyecto se llevará a cabo siguiendo la metodología propuesta en los diagramas de flujo. Para lograr se propuso un cronograma de actividades (Figura 6) para desarrollar el proyecto durante las siguientes 10 semanas.

El primer bloque de tareas (**verde**) corresponde a la elaboración de un almacén de calor tipo invernadero para aumentar la temperatura que rodea el biodigestor HomeBioGas®, los resultados se compararán con los datos obtenidos el semestre pasado por Yennifer Tinoco Cruz.

El segundo bloque de tareas (**crema**) son las actividades necesarias para la elaboración de biodigestores experimentales prototipo. Estos se obtendrán por medio del departamento de compras del ITESO. También es el tiempo que corresponde a la investigación.

El tercer bloque de tareas (**azul**) son los correspondientes a la ejecución de los experimentos. Desde el armado de biodigestores en la semana 7, las 3 fermentaciones en la semana 9, hasta la corrida de los experimentos en la semana 11.

El cuarto bloque de tareas (**amarillo**) es el correspondiente al tiempo en laboratorio para analizar las muestras del contenido de carbono y nitrógeno.

El quinto bloque de tareas (**rojo**) representa el tiempo que se pasará para la elaboración de los productos a entregar.

La columna de la semana 16 está en **negro** debido a que es el tiempo límite del proyecto.

Actividades	Duración	Fecha inicio	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Investigación bibliográfica	10 semanas	30/08/2022											
Agendar reunión con victor	1 hora	27/09/2022											
Agendar idas a Pátzcuaro	1 hora	11/10/2022											
Ida a Pátzcuaro	3 días	20/10/2022											
Realizar biodigestores de 100L	1 día	20/10/2022											
Realizar almacén de calor	2 días	21/10/2022											
Pedir materiales para biodigestores	3 horas	23/09/2022											
Realizar biodigestores de 20L	5 días	10/10/2022											
Pedir excreta de equino	1 hora	21/10/2022											
Mediciones en laboratorio	6 horas	21/10/2022											
Llegada excreta	2 horas	11/10/2022											
Fermentación 1	2 semanas	11/10/2022											
Añadir Nitrógeno	1 hora	19/10/2022											
Tiempo de residencia	3 semanas	24/10/2022											
Fermentación 2	3 semanas	11/10/2022											
Añadir Nitrógeno	1 hora	19/10/2022											
Tiempo de residencia	3 semanas	24/10/2022											
Fermentación 3	4 semanas	11/10/2022											
Añadir Nitrógeno	1 hora	19/10/2022											
Tiempo de residencia	3 semanas	24/10/2022											
Cuantificar	7 semanas	11/10/2022											
Entregar resultados	24 horas	16/10/2022											

Figura 6. Cronograma inicial de actividades

1.5. Desarrollo de la propuesta de mejora

1.5.1 Fermentación

El proceso fermentativo es el cual los microorganismos de los 4 grupos principales se multiplican y dan lugar al primer objetivo del proyecto y nos ayudará a analizar el primer diseño experimental. Se divide a su vez en pequeñas actividades: Pesado, adición de agua, adición de estiércol, mezclado, sellado, rotulado y reposo.

Para el *pesado* se colocó la balanza UWEI® modelo 6023 en un lugar plano, firme y sólido donde la distribución de la fuerza todos los puntos de soporte de la balanza se encontraran (figura 7a). Una vez asegurado que exista la simetría, se colocó contenedor del fermentador vacío sobre la balanza y se registró la masa. Posteriormente se *suministró con agua* (figura 7b) se pesó, se *suministró estiércol* con ayuda de una pala (figura 7c). *El mezclado* se hizo con la ayuda de un palo de madera macizo (figura 7d), se agitó en círculos, de izquierda a derecha y de arriba abajo y de abajo a arriba hasta obtener una mezcla homogénea y uniforme.



Figura 7. Pesado (a), llenado de agua (b) y estiércol (c), y mezclado (d) para la fermentación.

Cada fermentador fue *etiquetado* en la tapa con la fecha, responsable, nombre y número del PAP y número de contenedor; el primer fermentador fue nombrado F1, el segundo F2 y el tercero F3. Originalmente se habían colocado 3 fermentadores, sin embargo, por cuestión de recursos, no se pudieron elaborar los biodigestores correspondientes al segundo fermentador.

Una vez que todo estuvo bien mezclado, *se selló* con su tapa roscada y se dejó reposar según lo establecido en el diagrama de flujo de la fermentación. La cantidad de agua, estiércol, el agua total considerando el contenido de humedad (Anexo A.1), porcentaje de sólidos (Anexo A.1) y relación C: N (Anexo A.1) en la tabla 7.

Tabla 7. Valores iniciales de la fermentación.

Fermentador	Contenedor [Kg]	Agua [Kg]	Estiércol [Kg]	Agua total* [Kg]	Porcentaje de Sólidos	C:N**
F1	3.1	35	19	54.8	27%	19.5:1
F2	3.1	31.6	15.9	54.5	26%	19.5:1
F3	3.0	31.6	15.4	50.5	28%	19.5:1

* El agua total se calculó sumando el agua suministrada, más el porcentaje de humedad de la muestra.

** Con base en el anexo A.1 se estimó la cantidad de la excreta más el 30% de viruta. La excreta era muy baja calidad; diferente entre cada saco; la calidad era muy baja, estaba seco, empezaba a descomponerse y había insectos degradadores como mosquillas y larvas.

F3 se colocó un día después de F1 y F2 debido a una fuga en el fondo provocada por daño durante el transporte, se colocó el sellador SmokNweld® en varias capas y se dejó el contenedor con agua toda la noche para identificar filtraciones. Se repitió el mismo procedimiento para todos los biodigestores.

Mientras ocurría el tiempo de fermentación se dispuso a armar los biodigestores.

1.5.2 Armado de biodigestores

El armado de los biodigestores fue la parte más laboriosa del proyecto, para lograrlo se dividió en procesos unitarios las cuales facilitarían hacer los 27 BD. Las actividades en la cual se dividió este apartado fueron: Marcaje de lugares de corte, corte de los lugares marcados, eliminar impurezas, armar los tubos de nivel, armar la válvula de gas, conectar los tubos, armar válvula de desagüe, pegar con cemento PVC, reforzar con cemento PVC, amarrar valdes a las tapas.

Para el *marcaje* de tapas y botes se cortó un pedazo del tramo de 6m de los tubos de PVC de ½” y 2”, se les etiquetó como “medida” (figura 8a), con un plumón se marcó el diámetro exterior para el tubo de temperatura (2”), alimentación (2”), salida de gas (½”), a 3 cm del fondo (figura 6b y c) la marca del tubo de desagüe (½”) y a 13 cm del fondo la marca para el tubo de nivel al 70% (½”) ; al interior de cada círculo se le puso la inicial del tubo que corresponden T (temperatura), A (alimentación), G (gas), D (desagüe) y N (nivel) como se muestran en la figura 8.



Figura 8. Lugares de corte en tapas (a) y botes (b, c, d y e).

El *marcaje* de los tubos fue echo por el extremo más ancho que poseen todos los tramos de PVC de 6 m y plomón permanente, se cortó ese pedazo y se utilizó para marcar donde se

tiene que cortar con la caladora. Para el tubo de ½” se cortó solamente un pedazo de 4 cm con una caladora y se utilizó el extremo más nivelado (el lado no cortado) y se etiquetó como “4 cm medida” (figura 9a), con ese mismo trozo se marcaron tubos de 13 cm para el tubo de nivel; cada biodigestor tiene 4 tubos de 4 cm, uno que conecta la válvula de globo de PVC, otro para el adaptador macho de ½” que conecta con la válvula de gas y dos para el tubo de nivel. Para los tubos de 2”, se marcó con una cinta métrica y el extremo más ancho cada 27.8 cm (figura 9b); Todos los BD tienen 2 tubos de 27.8 cm, uno para el tubo de alimentación y otro para el tubo de temperatura. En total se cortaron 108 tubos de 4 cm, 27 tubos de 13 cm de ½” y 54 tubos de 27 cm de 2”.



Figura 9. Marcas de cortes en tubos PVC de ½ " (a) y 2" (b)

Se armó el tubo de nivel antes de perforar, sobreponiendo en la marca para asegurarse que esté en el nivel correcto. El 30% del volumen de los biodigestores corresponden a la cámara de gas, el tubo de nivel debe estar a una altura de 24.6 cm de los BD para que el líquido se mantenga en ese nivel si se llegara a sobre pasar de agua en la alimentación o en la mezcla (figura 10).



Figura 10. Sobreposición del tubo de nivel con su marca.

Cortar los lugares marcados requirió de una caladora y un taladro con broca circular de tierra y broca de piedra cónica. Se colocó el tramo de 6 m sobre una superficie lisa, sólida y dura, que no se mueva por las vibraciones del equipo, posteriormente con la caladora en posición completamente horizontal y con el apoyo del pulgar se cortaron las marcas en línea recta de todos los tubos (figura 11a). Se conectó una broca circular de tierra de 2" que tenía el mismo diámetro exterior que los tubos sanitarios; se colocó la broca en el centro del círculo y se perforó uniformemente hacia abajo (figura 11b), debajo de la tapa se puso un balde para que ahí cayeran las virutas y residuos. Para las perforaciones de ½" se utilizó una broca de punta de piedra cónica, debido a que su diámetro mayor exterior era inferior a la de los tubos se utilizó una técnica para expandir el círculo, ejerciendo presión con el taladro encendido hacia afuera del círculo (figura 11c) y cada dos o tres vueltas se intentaba introducir un tubo a presión.

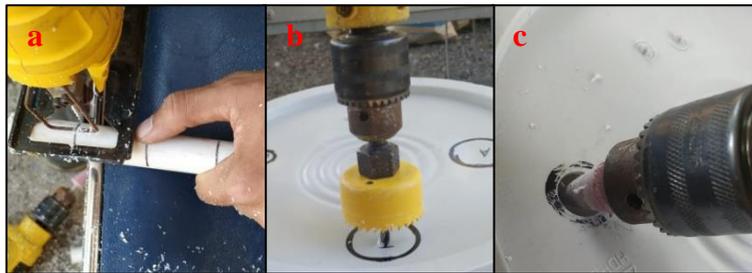


Figura 11. Cortes (a) y perforaciones (b y c) de lugares marcados.

Las perforaciones y los cortes dejan consigo impurezas tales como rebabas producto de la fricción, pedazos pequeños de plástico irregulares, y polvo. Para *eliminar las impurezas* se utilizó un cincel carpintero de espada plana (figura 12a y c) para quitar las rebabas de las tapas y los botes y dejar la circunferencia uniforme. Sin embargo, algunas zonas no podían alcanzar el cincel recto, por lo que se utilizó la misma broca de lija de piedra cónica (figura 12b) para eliminar los pequeños plásticos. Finalmente, con un trapo húmedo se limpiaron los residuos que quedaron en las cercanías de los lugares cortados y lijados de las tapas (figura 12c) y tubos (figura 12d).



Figura 12. Eliminación de impurezas: quitar rebabas (a), lijar pequeños plásticos (b), quitar rebabas en tapas (c), limpiar polvo de tapas (d) y tubos (e).

Este fue el último paso hasta la espera de la llegada de las válvulas de globo d PVC, durante este periodo, el departamento de compras ITESO, demoró mucho en entregarme las piezas correctas (4 semanas), lo que demoró también el proceso de armado de biodigestores y por consiguiente la biodigestión. Se armaron “kit” de biodigestores con todo lo que se necesitaba como se muestra en la figura 13:

- A. 1 cubeta de 20 L con dos perforaciones de ½” (figura 15)
- B. 1 tapa de la cubeta con 2 perforaciones de 2” y una de ½” (figura 15)
- C. 2 tubos de PVC sanitario de 27.8 cm de 2” (figuras 14 y 15)
- D. 2 tubos PVC de 4cm de ½” (figuras 14 y 15)
- E. 1 adaptador macho de PVC ½” (figuras 14 y 15)
- F. 1 tubo de nivel (figuras 12 y 13)
- G. 3 coples de PVC sanitario de 2” (figuras 14 y 15)
- H. 2 tapas de PVC sanitario de 2” (figuras 14 y 15)
- I. 1 válvula de globo de bronce (figuras 14 y 15)
- J. 1 tapa hembra roscada de PVC hidráulico de 2” (figuras 14 y 15)



Figura 13. Kit de piezas necesarias para un biodigestor.

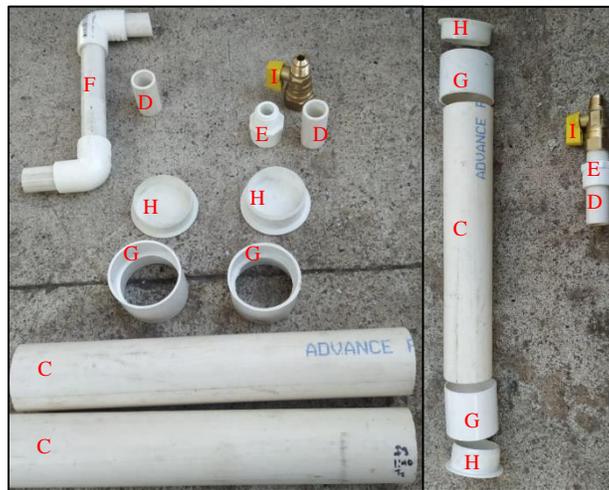


Figura 14. Piezas sueltas necesarias para un BD



Figura 15. Piezas ensambladas necesarias para un BD

Se aseguró que todo encajará perfectamente en su lugar, y finalmente se dejó todo preparado y esperando a la llegada de las válvulas de PVC para el tubo de desagüe.

Cuando llegaron las válvulas se empezó a *pegar* todo con pegamento PVC. Se aplicó según las instrucciones del producto. Se retiró el excedente de pegamento con las mismas paredes de la boca del recipiente, y se colocó abundantemente en el tubo (figura 16a), con el resto del pegamento en la estopa se aplicó una fina capa en la zona donde se piensa colocar (figura 16b), se introdujo el extremo con el cople y se dejó unos segundos para que se seque. Se pasó el tubo por encima de la tapa perforada y en el orificio de la temperatura se pasó el tubo de abajo hacia arriba, se volvió a colocar abundante pegamento en el tubo (figura 16d) y se unió con otro cople.



Figura 16. Aplicación del pegamento PVC en tubos 2" (a), coples (b), su unión por debajo de la tapa (c) y pegado por arriba (d).

De la misma manera se colocó los tubos de PVC de 1/2" el pegamento con los adaptadores macho (figura 17a), se cerró la válvula de gas, y se colocó también abundante pegamento en el tubo (figura 17b) y se conectó con su respectivo orificio en la tapa (figura 17c). Así mismo, se realizó el proceso para las válvulas de desagüe, tubo nivel, y tubo de alimentación.



Figura 17. Aplicación del pegamento PVC en adaptador macho para válvula de gas con tubo PVC 1/2" (a), tubo PVC de válvula de gas para pegar con la tapa (b) y la válvula pegada a la tapa (c).

También se pegaron los *tubos N* y *tubos D* a la cubeta con abundante pegamento. Para realizar el *refuerzo de las uniones* se usó una jeringa con la cual se pegó el interior de las uniones (figura 18a y b). Se dejó secar 24 horas y se volvió a aplicar pegamento como refuerzo. Se dejó secar otras 24 horas.

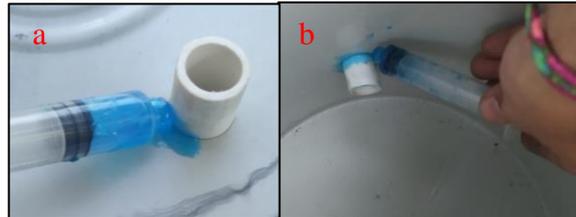


Figura 18. Refuerzo de uniones por dentro de la válvula de gas (a) y por dentro de la válvula de desagüe (b).

1.5.3 Biodigestión

Así como las anteriores metodologías, este proceso se divide en pequeñas tareas. Este apartado es el más crucial para el desarrollo exitoso del proyecto, pues es el que genera el gas a partir de los microorganismos ya crecidos. La biodigestión se realizará a través de: prueba de fuego, homogenizar fermento, pesar contenedor, adición de: fermento, sustrato fresco, sulfato de amonio, mezclar homogéneamente, sellar, realizar mediciones.

Una vez terminados los BD se abrieron los fermentos y se les colocó un encendedor prendido para *combustionar los gases* que se generaron durante todo este tiempo y no liberarlos al ambiente (figura 19a), con un palo de metal se *mezcló* el fermento homogéneamente ya que el líquido y el sólido ya se habían separado en fases por densidad (figura 19b). El primer fermento (F1) se *pesó* (figura 19c) y se distribuyó la masa en cada uno de sus respectivos 9 BD armados.



Figura 19. Fermento: prueba de fuego (a); homogenizar fermento (b); Pesar fermento (c).

Cada fermento tiene consigo 9 BD. El diseño factorial dependía de 3 tratamientos (tiempo de fermentación) y 3 niveles (3 concentraciones diferentes de sulfato de amonio) por triplicado. Durante el proceso, varios botes y tapas resultaron dañados, por lo que por falta de BD, tiempo y fermento se utilizaron solamente 2.

Cada uno de los biodigestores se *pesó vacío*, se *añadió fermento*, se volvió a pesar, se *añadió sustrato fresco*, se *pesó de nuevo*, luego se suministró el sulfato de amonio correspondiente y se suministró con agua. Las cantidades de las especies que se suministraron están reportadas en la tabla 8.

Tabla 8. Condiciones iniciales de la fermentación.

Fermentador	Tiempo de residencia [horas]	Biodigestor	Fermento [Kg]	Sustrato fresco [Kg]	Sulfato de amonio [Kg]	Agua [Kg]
F1	600	BD 1.1-3	5.5	0.5	0.5	6.9
		BD 1.4-6	5.5	0.5	1	6.5
		BD 1.7-9	5.5	0.5	1.5	7.0
F3	700	BD 3.1-3	5.5	0.5	0.5	6.4
		BD 3.4-6	5.5	0.5	1	6.0
		BD 3.7-8	5.5	0.5	1.5	6.1

Cada triplicado de biodigestor está agrupado en su respectivo experimento. Por ejemplo: Los biodigestores que salieron del fermentador F1 y corresponden al mismo experimento (están por triplicado) son 1.1, 1.2 y 1.3 éstos agrupados en BD 1.1-3. Así también las primeras 3 réplicas del primer experimento del fermentador F3 (3.1, 3.2 y 3.3) están agrupados en BD 3.1-3.

Después de hacer la mezcla y de comprobar que si había fuego. Se cerraron los BD, se observó que las tapas no cerraban bien, por lo que se optó por amarrar las tapas a los contenedores. Se les hizo una perforación con el cincel carpintero y con un destornillador de cruz (figura 20a). Posteriormente con un lazo de realizó el nudo de camionero para ejercer más presión y *amarrar la tapa al balde* (figura 20b).

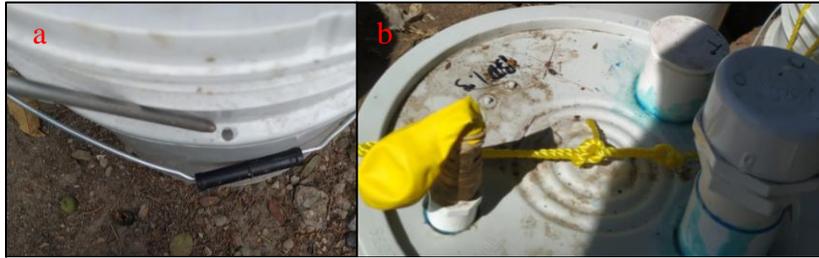


Figura 20. Amarre de la tapa con los botes; la perforación con el destornillador (a) y el amarre con el lazo (b).

Con un desarmador de cruz se perforaron 2 orificios de lados opuestos de una pestaña a los costados de los BD, le cortó un pedazo de lazo de 78 cm, y se amarró utilizando el nudo del camionero. Debido a esas fugas por en medio de la tapa y el bote se colocó un globo y se sujetó con ligas (figura 20b) para poder medir el gas que se genere, aunque sea poco, debido a que la medición por duración de llama no sería viable, o no arrojaría datos perceptibles al ojo humano.

Se acomodaron los BD de manera que la recopilación de datos sea lo más práctica posible en dos filas de 8 y 9 y 4 biodigestores al fondo según la sombra y el sol que le pegaba a cada BD (figura 21).



Figura 21. Acomodo inicial de los 17 BD.

Se acondicionó un espacio plano utilizando un asa de tierra (figura 22a), y se colocó un soporte de lámina para nivelar la balanza que tomará los datos de la masa (figura 22b).



Figura 22. Nivelado con para el proceso de pesado(a) y la lámina para dar mayor soporte (b).

También se calculó el agua necesaria para los *tubos T* y se realizó un molde con la cantidad justa para rellenar cada uno de los tubos y medir la temperatura con un termómetro (figura 23). Se estimó una altura de 10 cm del fondo para tomar la temperatura, que no mojara el display del sensor y no tenga mucho ruido con el intercambio de temperatura del medio ambiente.



Figura 23. Recipiente con cantidad necesaria para la toma de temperatura.

Al transcurrir el día, la sombra y la luz que le pega a los biodigestores no fue homogénea, por lo que tras observar la trayectoria del sol y la sombra que proyectaba a lo largo del día se optó por reacomodar los BD como se muestra en la figura 24.



Figura 24. Reacomodo de los 17 BD.

Una vez reubicados, se empezó a medir temperatura interna, masa. El gas todavía no se generaba, debido al tiempo. Para solucionar esta problemática se colocó un globo y sujetó con presión con ligas (figura 25).



Figura 25. BD con globos en la válvula de salida de gas.

Para medir el volumen de gas que contienen los biodigestores se colocó una hoja milimétrica (figura 26) para medir el radio y suponer una esfera perfecta siguiendo la ecuación del volumen de una esfera más el cilindro de la cámara de gas que contiene el biodigestor.



Figura 26. Medición del diámetro mayor de un globo con una hoja milimétrica.

Para identificar fugas en las uniones de los tubos con la cubeta se colocó jabón en una botella con un 20% de aire. Al principio se le había colocado un atomizador, y se esparcía la espuma colocando la botella en posición vertical invertida, así el extremo del tubo succionador del atomizador estaba en contacto con la espuma formada en la botella y arrojaba pura espuma. Después se utilizó una botella de plástico con la misma relación de agua – aire, pero esta vez se sacaba la espuma por la boca del recipiente sacando mucha más espuma para detectar fugas. Esto se realizó en repetidas horas del día, cuando la temperatura interior de los BD estaba en auge; ninguna unión presentó fugas, ni de agua, ni de gas. Por lo que se asumió una fuga de gas por la tapa que no se pudo sellar bien, ni hacer la suficiente presión con el nudo de camionero.

1.5.4 Resultados y discusión

Para fines prácticos del proyecto la triada de biodigestores de repetición serán asignados con la etiqueta del primer BD. Por ejemplo, los BD 1.1-3 serán denominados solamente BD 1.1; asimismo para los BD 3.4-6 serán BD 3.4.

Los datos recolectados durante las últimas dos semanas de ejecución del proyecto fueron el recopilado de tablas y gráficas de los cambios de las temperaturas, y la masa de los BD. Los datos se pasaron de la bitácora física a un archivo de Excel donde se analizaron y se graficaron todos los datos que se pudieron tomar de los experimentos. Los datos de

temperatura y de masa se recopilaron al mismo tiempo; en lo que se pesaba el biodigestor se dejaba el sensor dentro del tubo de temperatura mientras se estabilizaba en una temperatura fija.

Debido a las fallas técnicas y de logística que se efectuaron durante este semestre, no se lograron obtener ni cerca los métricos e indicadores que se tenían pensado al inicio del proyecto. Es por eso por lo que la discusión de los resultados se hace sobre la temperatura y la masa. Estos cambios, son buenos indicadores de crecimiento y producción microbiana. La temperatura

En la figura 27 se resume las temperaturas durante un lapso de 12 horas. El rango de horas son las horas disponibles en el ITESO, desde las 9:00 a.m. hasta las 9:00 p.m.

Durante la noche las temperaturas ambientales bajaban hasta 14 – 16°C, y las temperatura más alta durante el día fue de 33.1 °C y dentro de los biodigestores la más alta fue las repeticiones BD 1.4 con 27°C (24.4°C temperatura ambiental). Durante las primeras horas del día, la temperatura ambiental (la que rodea a los biodigestores) asciende mucho más rápido que la del interior de los biodigestores, conforme, va aumentando la temperatura ambiental, la transferencia de energía del aire hacia dentro de los biodigestores tiene varios tipos de transferencia de calor, estos puntos de acceso y salida de energía no son instantáneos, sino que toma tiempo pasar la energía de un estado de la materia a otro.

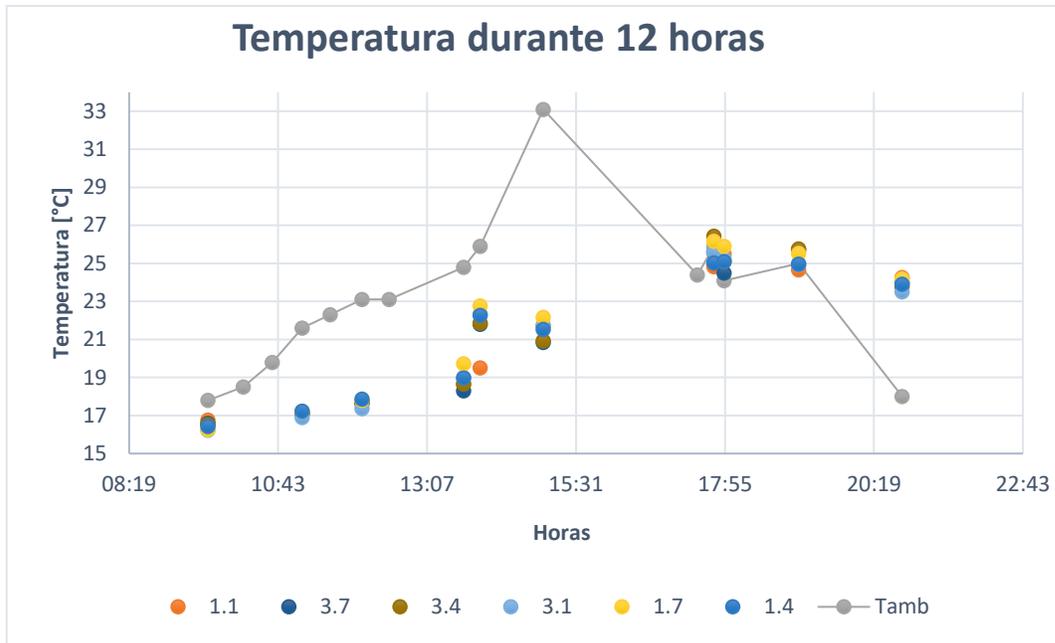


Figura 27. Promedio de las temperaturas ambientales, y dentro de los BD por 12 horas.

La transferencia de calor desde el aire hacia el centro del BD se divide en 3, puesto que el BD tiene 2 fases (gaseosa y semilíquida). La primera es de la pared que rodea el BD a las paredes, hay una transferencia de energía en la interfaz de intercambio térmico gas-sólido por medio de convección forzada por los vientos y la conductividad térmica del polietileno. Una vez superada la interfaz, el calor viaja desde la pared externa hacia la pared interna por medio completamente por conducción, entonces, dependiendo de si está en contacto con la fase gaseosa o la semilíquida se forman dos interfaces, una sólido-gas y otra sólido-líquido, una interfaz está compuesta por la conducción hacia el líquido por convección natural, la otra interfaz está compuesta por conducción de la pared hacia el gas también por convección natural, debido a que no hay corrientes de aire dentro del biodigestor (Sudenberg, 2005).

La segunda es de la tapa hacia el fondo del BD, donde el aire entra en contacto con la interfaz sólida de conducción, luego por conducción a través de toda la tapa, a través, del gas por otra interfaz gaseosa, donde reina la convección natural, y del gas por convección natural a través del mismo gas hacia el fondo, hasta encontrar la interfaz con la costra formada

(semisólido) o bien con el líquido. Cabe destacar que conforme la producción de gases aumenta, también las presiones parciales y la capacidad calorífica del gas (Sudenberg, 2005).

La tercera es de un sólido infinito hacia los biodigestores. Esta transferencia parte desde el suelo hacia la parte inferior de los biodigestores y hacia arriba; El suelo y el polietileno son sólidos, por lo que la transferencia de calor es por conducción, del polipropileno hacia el fermento también es por conducción y convección, ya que hasta abajo se forma una capa de lodo semisólido (Ledezma & Álvarez, 2016).

En este sentido la temperatura del medio ambiente influye en la temperatura interna de los biodigestores, a las 9:00 todavía tienen valores entre 16°C y 17°C. Cerca de las 12:00 la temperatura interna empieza a incrementar y las temperaturas se empiezan a disipar entre BD debido a sus respectivas temperaturas internas debido al calor metabólico (tabla 10). Entre las 17:00 y las 18:30 horas la temperatura interna alcanza la mayor temperatura y a las 20:30 empieza a descender de nuevo. El pico de temperaturas para el ambiente se encuentra entre 14:00 y las 17:40 y para los biodigestores entre las 17:40 y las 19:40, después de este tiempo los biodigestores tardan un rato en expulsar todo el calor que reunió durante el día.

En la tabla 10 aparecen las temperaturas tabuladas de tal manera que se remarquen en verde las que sean superiores a la temperatura ambiente; las verdes fuerte son aquellas temperaturas internas que superen 1°C más de la temperatura ambiente, las verde bajo, son aquellas temperaturas superiores a 0.5°C; las amarillos son los datos que son cercanos a la temperatura ambiente, se estableció un rango de $\pm 0.5^\circ\text{C}$; los colores en rojo son todas las temperaturas internas de los BD que se encuentran debajo de la curva de temperatura ambiente (T_{amb}) en la figura 27.

Cabe resaltar que los datos que se usaron para el gráfico del día de 12 horas se tomaron los primeros días de muestreo. El calor metabólico que genera el consorcio no permite apreciar bien el efecto de la temperatura ambiente sobre la transferencia de energía dentro de los biodigestores. Se estableció este rango de parámetros para que puedan servir como indicador sobre el efecto de la temperatura sobre los experimentos.

Tabla 9. Temperaturas internas superiores a la ambiental durante un día de 12 horas.

Hora	T _{amb}	Temperatura interna de los BD					
		1.1	1.4	1.7	3.1	3.4	3.7
09:36	17.8	16.77	16.43	16.27	16.23	16.53	16.60
11:07	21.6	17.17	17.23	17.23	16.90	17.10	17.10
12:05	23.1	17.73	17.87	17.80	17.37	17.63	17.70
13:43	24.8	18.63	18.97	19.73	19.00	18.67	18.31
13:59	25.9	19.50	22.27	22.77	22.33	21.87	21.80
15:00	33.1	21.73	21.53	22.17	21.73	20.93	20.85
17:45	25.9	24.83	25.03	26.17	25.63	26.43	25.60
17:55	24.1	25.50	25.10	25.90	25.27	25.10	24.50
19:07	25.0	24.67	24.97	25.53	24.93	25.77	25.70
20:47	18.0	24.27	23.90	24.20	23.50	23.77	24.00

Colores rojos: $T_{amb} - 0.5\text{ }^{\circ}\text{C} > T_i$
 Colores amarillos: $T_{amb} + 0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \geq T_i \geq T_{amb} - 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Colores verdes claro: $T_{amb} + 1.0\text{ }^{\circ}\text{C} \geq T_i > T_{amb} + 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Colores verde fuerte: $T_{amb} + 1.0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_i$

En la tabla 10 se puede apreciar como desde la mañana o incluso el día anterior la temperatura de los biodigestores cae siempre a la temperatura de la noche. La tendencia de incrementar la temperatura cuando el ambiente está más frío indica las horas de mayor energía.

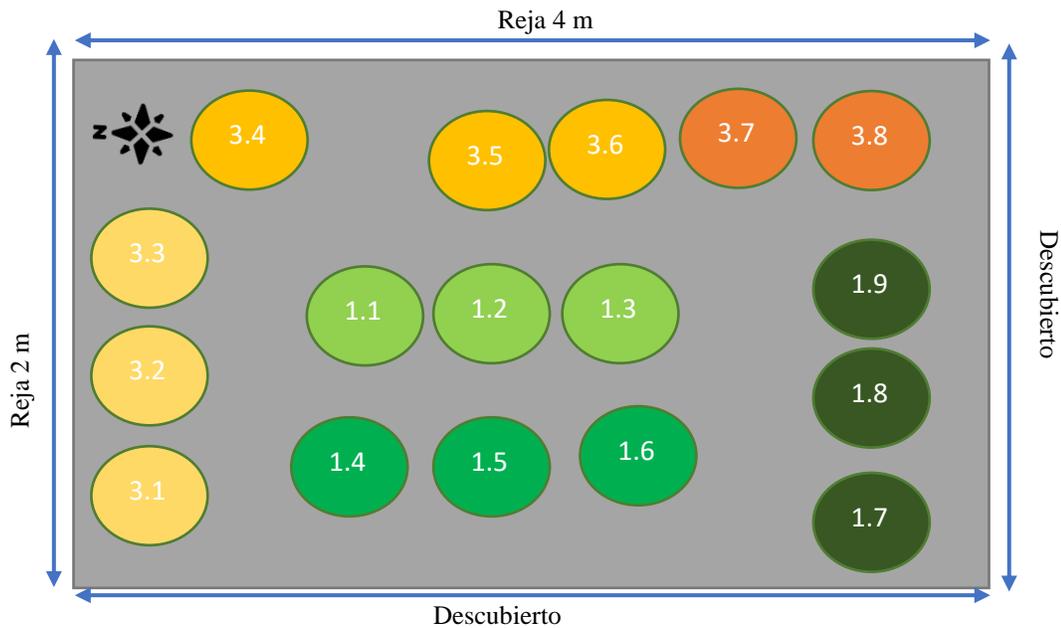


Figura 28. Dimensionamiento del acomodo de BD

El acomodo de los biodigestores se acomodó de tal manera que el sol les diera en las mismas cantidades, sin embargo, parece que el factor más importante fue la temperatura del aire que los rodeaba. El acomodo de los biodigestores (figura 24) estuvo dado de la siguiente manera (figura 28).

Curiosamente los biodigestores que más estuvieron expuestos al sol y al viento (BD 1.7-9) y los que menos estuvieron expuestos al sol y al viento (BD 3.4-6), estos cambios no son sorprendentes, ya que se pensó el tiempo de exposición al sol y temperatura exterior para el segundo acomodo de los biodigestores. Es posible que ya estuvieran generando calor metabólico por lo que las temperaturas eran ligeramente más elevadas.

En la tabla 11 se muestran diferentes datos a través del tiempo. Estos fueron procurados ser tomados a la misma hora, pero por cuestiones de logística y tiempo, no se logró cumplir con eso.

Tabla 10. Visualización del incremento de temperatura dentro de los BD en comparación con la temperatura ambiental

Fecha	Inicio	Tamb	Promedio de temperaturas internas					
			1.1	1.4	1.7	3.1	3.4	3.7
24/11/2022	13:59	25.9	19.50	22.27	22.77	22.33	21.87	21.80
24/11/2022	17:55	25.9	24.83	25.03	26.17	25.63	26.43	25.60
24/11/2022	19:07	25.0	24.67	24.97	25.53	24.93	25.77	25.70
25/11/2022	12:05	23.1	17.73	17.87	17.80	17.37	17.63	17.70
25/11/2022	15:00	33.1	21.73	21.53	22.17	21.73	20.93	20.85
25/11/2022	17:45	24.1	25.50	25.10	25.90	25.27	25.10	24.50
25/11/2022	20:47	18.0	24.27	23.90	24.20	23.50	23.77	24.00
26/11/2022	09:36	17.8	16.77	16.43	16.27	16.23	16.53	16.60
26/11/2022	11:07	21.6	17.17	17.25	17.23	16.90	17.10	17.10
26/11/2022	13:43	24.8	18.63	18.97	19.73	19.00	18.67	18.31
28/11/2022	09:33	18.5	16.37	16.03	15.90	15.80	16.10	16.50
28/11/2022	11:46	19.8	17.30	17.37	17.27	16.93	17.03	16.95
28/11/2022	15:22	22.3	20.70	21.90	22.63	22.57	21.70	21.25
28/11/2022	17:41	23.1	24.87	25.73	25.90	25.60	25.03	25.40
28/11/2022	18:30	24.4	26.67	27.03	26.80	25.33	26.10	25.70

Colores rojos: $T_{amb} - 0.5\text{ }^{\circ}\text{C} > T_i$
 Colores amarillos: $T_{amb} + 0.5\text{ }^{\circ}\text{C} \geq T_i \geq T_{amb} - 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Colores verdes claro: $T_{amb} + 1.0\text{ }^{\circ}\text{C} \geq T_i > T_{amb} + 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Colores verde fuerte: $T_{amb} + 1.0\text{ }^{\circ}\text{C} < T_i$

No solamente el calor obtiene a través del sol y la temperatura del aire, en la tabla 10 podemos observar que conforme van pasando los días, la cantidad de color verde va aumentando, incluso en intensidad. El 28 empezó a estar a la misma temperatura desde las 15:00. Esto es un indicador de la degradación de materia orgánica dentro del biodigestor (Ledezma & Álvarez, 2016).

Si se grafica la temperatura ambiente con respecto al a temperatura al interior de los biodigestores se puede notar que la agrupación de datos tiende hacia arriba, formando una curva exponencial (figura 29).

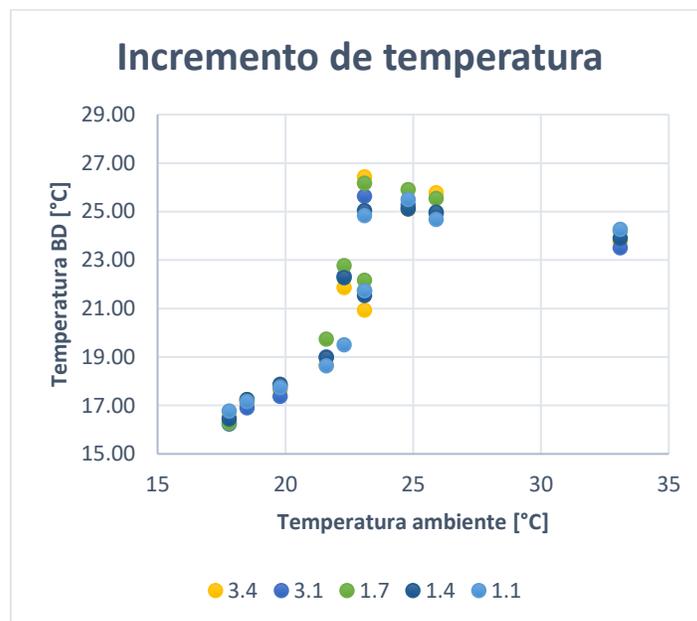


Figura 29. Incremento de la temperatura interior de los BD con respecto a la temperatura ambiente.

Una manera se cerciorarse sobre la degradación de la materia orgánica, es a través de la pérdida de masa que sufren los biodigestores debido a la combustión de los sólidos volátiles y materia degradada en sólidos volátiles y gases producto del metabolismo bacteriano.

Curiosamente la masa dentro del biodigestor era igual de oscilante (aunque no tan variado) que la temperatura, cuando la temperatura era mayor los biodigestores pesaba menos, aunque también es posible que se deba a un fallo de ajuste de temperatura de la báscula digital.

Las pendientes de la masa parecen casi rectas. Tan sólo BD 1.1, BD 1.4, y BD 1.7 tienen pendientes negativas. Los demás experimentos tienen pendientes positivas muy bajas,

básicamente lineales (figura 30). Esto habla de una cantidad fija de masa dentro del biodigestor, no hay salida de gases, ni cambios en la biomasa, es posible que se estuviera cultivando bacterias fuera del rango de estudio producto de la fermentación, hidrólisis, acetogénesis, y metanogénesis.

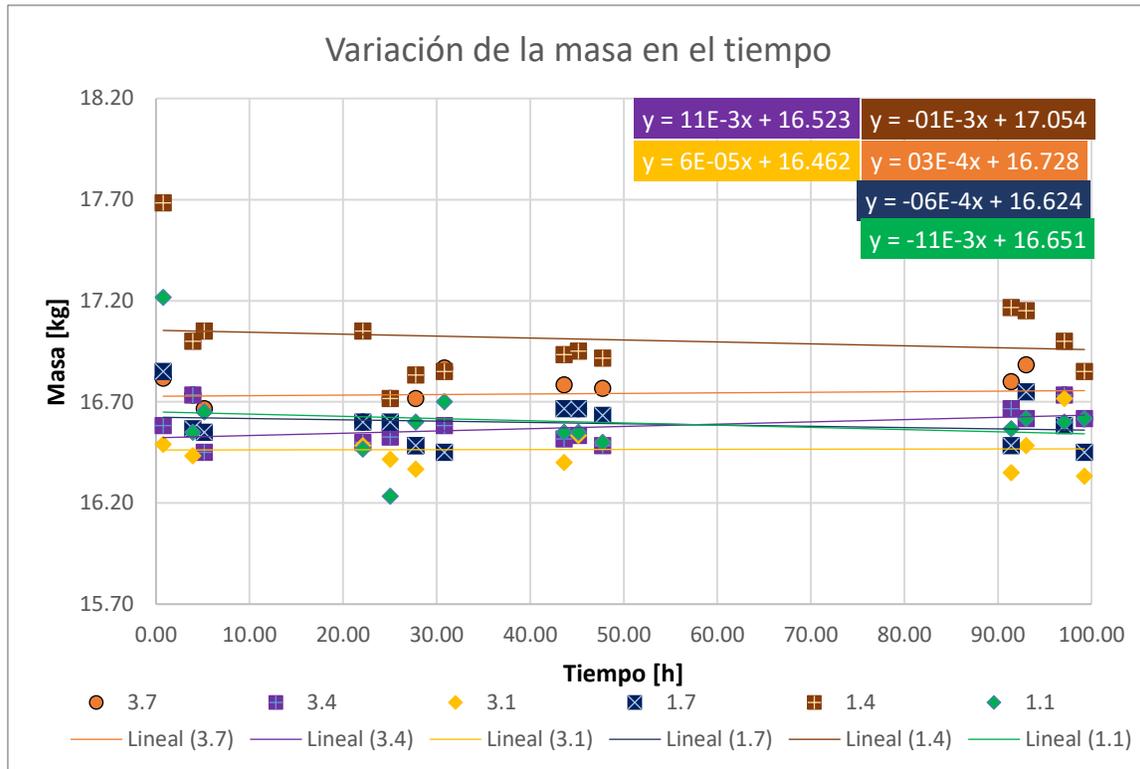


Figura 30. Variación de la masa sobre el tiempo.

Otra posibilidad son las fugas que pudieron permitir la entrada de oxígeno al sistema dejando de ser estrictamente anaerobio, permitiendo el crecimiento de otros MO.

La figura 30 ofrece información sobre la producción de gases. Cuando se detectó la fuga debido a la inflación y desinflación de los globos, se optó por medir el tiempo en el que los globos permanecieran rectos como se muestran en las figuras 25 y 26. Cuando los globos estaban levantados, era bajo las horas más calientes del biodigestor, subían y bajaban entre las 16:00 y las 19:00 horas. Las pendientes negativas de los experimentos BD 1.3 y BD 1.4, están de acuerdo con la figura 31, esta disminución de la biomasa, aumento de temperatura, y elevación del globo, pueden relacionar burdamente que fueron los experimentos con

mayores tasas de producción, sobre todo los experimentos con 600 horas de fermentación y adición de 0.5 kg de sulfato de amonio. Sin embargo, debido a las fallas técnicas, y la falta de datos por los indicadores propuestos, no se puede aceptar, ni rechazar la hipótesis. Se requiere del mismo funcionamiento y operación de los biodigestores por igual para poder hacer una estimación o comparación estadística.

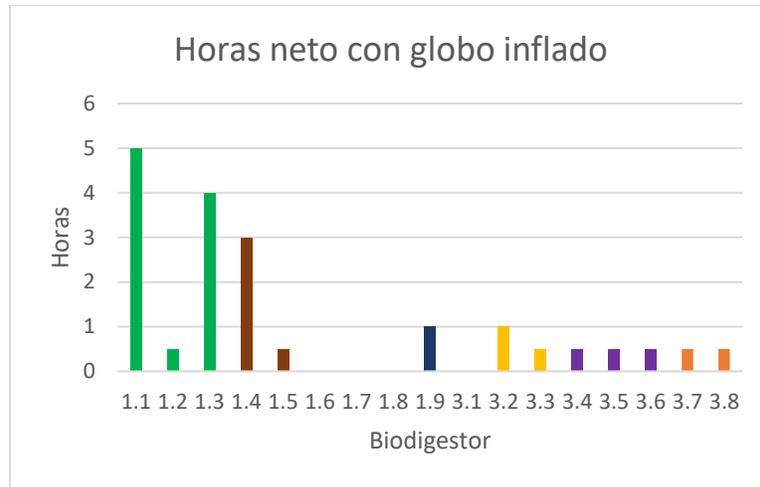


Figura 31. Tiempo de con el globo inflado.

Se sabe de la existencia de gas, en la figura 19a al momento de combustionar los gases en el fermentador, a pesar de no contener es espacio para acumular presión y gas, produjo una buena flama. El correcto contenedor para los experimentos puede hacer una gran diferencia al momento de conservar las condiciones necesarias para la producción de metano por digestión anaeróbica. Se requiere de mejores materiales para poder hacer válido este diseño de BD prototipo o bien, adaptar estos biodigestores colocando sujetadores para generar la fuerza suficiente de agarre que permita un sello hermético.

1.6. Valoración de productos, resultados e impactos

Los principales productos de este PAP fueron la elaboración de biodigestores prototipo experimentales diseñados para realizar mediciones. No se pudieron probar los indicadores que ponderaba la mejora en el proceso del ajuste de N:C. A pesar de estar bien elaborados, no contener fugas, y haber estado diseñados con antelación, los materiales proveídos, no fueron los adecuados para la viabilidad de este proyecto.

Otro producto valioso es el reporte de resultado y análisis. La investigación, desarrollo de proyecto, mejoras, y recomendaciones para las siguientes generaciones. Este proyecto definitivamente no tiene final. Los análisis, experimentos y cruce de datos que se puede llegar a dar son infinitos. Cada parte de este proceso tiene repercusiones sobre la producción de metano, la dieta, tiempo de residencia, % de sólidos, cantidad de agua, tipos de sustrato, adición de sustratos a tiempos diferentes, etc.

Dos fueron los factores principales por la cual la ejecución del proyecto no fue lo esperado:

- Tipo de modo de operación
- Tiempo de fermentación largo
- Fallos técnicos en los equipos.

Aunque el diseño de los biodigestores fue pensado en el tipo de operación continuo, no se alimentaron los biodigestores en ningún momento. La fermentación fue completamente en lote, tras haber armado los biodigestores, al momento de hacer la mezcla se suministró con sustrato fresco, debido a la masa de fermento que todavía quedaba, sin embargo, esa masa estaba a punto de convertirse en lodo, estos lodos desecho de la metabolización de la materia orgánica y son principalmente compuestos tóxicos o acumulación de ácidos (Sudenberg, 2005), debido a que la mayoría de las estructuras complejas ya habían sido hidrolizadas, fermentadas y transformadas en otro tipo de moléculas (toxinas y productos). Existen pruebas que pueden determinar el efecto inhibitor y nocivo de los lodos en el biodigestor; un buen indicador de la presencia de lodos puede ser determinado por la producción máxima de gas o bien máximo consumo de sustrato (Sudenberg, 2005).

El tiempo de fermentación no fue necesariamente antiproduktivo para el consorcio bacteriano, sino para el proceso de biodigestión. El tiempo de fermentación fue el mismo que para la elaboración de los biodigestores, este tiempo fue de 6 semanas, las cuales fueron cruciales para la digestión y la producción continua de gas. Los tiempos para la generación y multiplicación de los OMet están registrados entre 3 días (72 horas) y 18 días (432 horas) pasado ese tiempo la actividad metanogénica disminuye hasta eventualmente llegar a la fase de muerte (@ 35°C) (Chen, 1983). Una vez terminada el apogeo de las bacterias metanogénicas, las bacterias metabotrópicas entran en la fermentación, este tipo de bacterias

utilizan los sub-productos, metabolitos primarios y gas metano para su reproducción., dominando la fermentación; las principales bacterias metanotróficas que se encuentran son *α-Proteobacteria* & *γ-Proteobacteria*, también se pueden encontrar *Verrucomicrobia sp* (S., 2010).

Este proyecto tiene grandes punto de mejora debido a sus condiciones de operación, es posible realizar estos experimentos considerando el tiempo de residencia durante la fermentación más cortos, condiciones herméticas de temperatura, una dieta especializada para la producción de metano.

Durante todo el transcurso del proyecto se utilizaron muchos tipos de recursos para la factibilidad, efectividad y viabilidad de la elaboración de biodigestores. Los recursos que se emplearon fueron de tiempo, académicos, personal del ITESO, económicos y de mano de obra.

Los recursos de tiempo empleados para este proyecto fueron muchos. Este proyecto lo realicé sin equipo, por lo que la administración de tiempos formó parte crucial de la viabilidad del proyecto. El tiempo empleado fue hacia la investigación, cotización, transporte, elaboración de presupuesto, gestión de espacios, gestión de recursos, fermentación, elaboración de biodigestores, la biodigestión, muestreo y análisis de datos. En la tabla 12 se presenta el tiempo que llevó hacer cada paquete de tareas.

Tabla 11. Tiempo ejercido en el proyecto.

Paquete de tareas	Tiempo (horas)
Investigación	56
Cotización	7
Presupuesto	2.5
Gestión de espacios	2
Gestión de recursos	2.5
Fermentación	4
Elaboración de biodigestores	97

Biodigestión	9
Muestreo	52
Análisis de resultados	80
Total	312

Los BD nunca produjeron la suficiente cantidad de gas para prender una llama, por lo que el indicador principal falló; el segundo indicador como una alternativa para medir el volumen de gas sobre el tiempo fue el tamaño del globo. Fue entonces cuando se detectó las fugas; el primer día que coloqué el globo fue porque no había ninguna llama, ni si quiera una alteración de la flama del encendedor que colocaba arriba de la válvula de gas de ningún tipo, ya no había gas residual ni en la cámara gaseosa.

1.7 Referencias

- Alcayaga, S., Glaría, J., & Guerrero, J. (1999). Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. *Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaiso*, Obtenido el 1/12/2022. A través de: <http://profesores.elo.utfsm.cl/~jgb/ALCAYAGA1c.pdf> .
- Ampudia, M. J. (2011). Investigación de las condiciones óptimas y de la cinética del proceso de biodigestión anaerobia de desechos orgánicos agroindustriales y estiércol vacuno. *Tesis de grado. Universidad de san fransisco de quito*.
- Arévano, A. C., Llanos, A. I., & Flores, J. I. (2003). Diseño y construcción de los instrumentos de medición para un biorreactor prototipo. *Revista mexicana de ingeniería biomédica.*, 25(1), pp 50 - 70.
- CEDECAP. (2007). Biodigestor de polipropileno: construcción y diseño. *Sitio argenito de producción animal.*, pp. 3 - 5.
- Chen, Y. C. (1983). Kinetic analysis of anaerobic digestion of pig manure and its design implication. *Agricultural waste*, 8(1983), pp. 65 - 81.
- Corace, J. J., Aeberhard, M. R., Martina, P. A., Ventín, A. M., & García, S. E. (2006). Comparación del tiempo de reacción en el proceso de biodigestión según el tamaño de las partículas de aserrín utilizado como materia orgánica. *Comunicaciones*

- Científicas y Tecnológicas 2006, Universidad Nacional del Nordeste, Resumen.*, p 162.
- Díaz, B. M., Espitia, S., & Molina, F. (2002). Digestión anaerobia una aproximación a la tecnología. *UNIBIBLIOS.* , Bogotá, Colombia.
- Eme, L., & Doolittle, W. F. (2015). Archaea. *Current Biology Magazine*, 25 (2015), pp. 845 - 875.
- FAO. (2008). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. *Roma*, 162 p.
- Flesh, T. k., Desjardins, R. L., & Worth, D. (2011). Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. *Biomass and Energy*, 35(9), pp. 3927-3935.
- Gibson, G. (1990). Physiological and ecology of the sulfate-reducing bacteria A review. *Journal Applied Bacteriology*, 69 (1990), pp. 769 - 797.
- Guevara, V. A. (1996). Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaerobicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. *Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería sanitaria y Ciencias del ambiente.*, p. 80.
- Márquez, M. F. (2005). Estudio del tratamiento de lodos provenientes de pisciculturas mediante un sistema de digestión anaerobio. . *Trabajo de Título. Universidad Católica de Temuco, Temuco.*
- Martina, P., L., Y., Corace, J., Bucki, W. B., Aeberhard, R., & Ventín, A. (2005). Estudio de la producción de biogás en función de la cantidad de residuos de madera en un biodigestor del tipo de carga única o batch. *Avances en energías renovables y medio ambiente*, 9 (2005), pp. 23 - 27.
- Novaes, R. F. (1986). Microbiology of anaerobic digestion. *Water Scientific Technology*, 18 (12), pp. 1 - 14.
- Olaya, Y. A. (2009). Fundamento para la construcción de biodigestores. *Módulo para la asignatura de construcciones agrícolas. Universidad nacional de Colombia sede Palmira.*
- Paltán, F. G., & Sagbay, J. P. (2014). Diseño y construcción de un biodigestor anaerobio en fase líquida para tratamiento de aguas residuales de curtumbre. *Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Ecuador.*

- Piña, L. M., Cruz, Y. S., Mesinas, C. M., & Pintor, D. C. (2017). Diseño, construcción y prueba de un prototipo de biodigestor anaerobio utilizando residuos orgánicos. *Revista de divulgación científica y tecnológica*, ISSN 2444-4944, pp. 85-96.
- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte Dos: Sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, 7(12), pp. 54 - 73.
- Quintana, O. C., Mejía, O. B., & Martínez, D. V. (2006). Efecto del pH sobre el crecimiento de microorganismos durante la etapa de maduración en pilas estáticas de compost. *Producción + limpia*, 1(2), pp. 88 - 98.
- Rodríguez, J. A. (2015). Tratamiento anaeróbico de aguas residuales. *Cali: Universidad del Valle*.
- Rosso, L., Lobry, J. R., Bajard, S., & P., F. J. (1995). Convenient Model To Describe the Combined Effects of Temperature and pH on Microbial Growth. *Applied and environmental microbiology*, 61(2), pp. 610 - 616.
- Rotaru, A. E., Shrestha, P. M., Liu, F., Shrestha, M., Shrestha, D., Embree, M., . . . Lovley, R. (2014). A new model for electron flow during anaerobic digestion: direct interspecies electron transfer to Methanosaeta for the reduction of carbon dioxide to methane. *Energy environment*, 7 (0). pp. 408 - 415.
- Stephen H., Z., & Markus K. (1984). Non-aceticlastic methanogenesis from acetate: acetate oxidation by a thermophilic syntrophic coculture. *Arch microbiology*, 138(1984), pp. 263 - 272.
- Sudenberg, C. (2005). Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH. *Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences. Uppsala*.
- Thomas K., F., Raymond L., D., & Worth D. (2011). Fugitive methane emissions from an agricultural biodigester. *Biomass and bioenergy*, 35(0), pp. 3927-3925.
- Torrez Lozada, P., & Pérez, A. (2010). ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA: UNA HERRAMIENTA DE CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO ANAEROBIO DE AGUAS RESIDUALES. *Ingeniería de Recursos Naturales y del ambiente*, 9(12). pp 5-14.

- Vivas, A. C., Cáceres, K. T., Rincón, A., & Cajigas, G. G. (2019). Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater. *Revista Facultad de Ingeniería, Universidad de Antioquia.*, 92(2019), pp 88-95.
- Zinder, S., & Koch, M. (1984). "Non-acetoclastic methanogenesis from acetate: acetate oxidation by a thermophilic syntrophic co cultura". *Arch. Microbiology*, 138, pp. 263 - 272.

1.8. Anexos

Anexo A. 1 Informe de evaluación de excreta de caballo por Yennifer Cruz Tinoco

Página 1 de 2

INFORME DE EVALUACIÓN

Caracterización de biomasa

Número de servicio: RG-1161 Fecha de emisión: 19-09-2022 Fecha de recepción: 28-06-2022

1. DATOS DEL CLIENTE

2. CONDICIONES DE LA MUESTRA

Nombre:	Dr. Emilio Arenas	N° de muestras:	1	Condiciones de la muestra:	Excreta de caballo
Empresa:	GIEB	Código de identificación:	RG-1161_1	Descripción de la muestra:	1: Excreta de caballo
Domicilio:	Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta C.P. 58190, Morelia.	Muestreo:	Realizado por el cliente	Almacenamiento:	Temperatura ambiente

3. DATOS DEL ENSAYO

Métodos	<ul style="list-style-type: none"> ● Determinación de Poder Calorífico Superior (PCS) ISO 18125 – 2015 ● Contenido de Humedad (UNE-EN ISO 14774-1) ● Contenido de cenizas (UNE-EN ISO 1822). ● Contenido en materias volátiles (UNE-EN 15148) ● Elementales: Carbono, Nitrógeno, Hidrógeno y Azufre (Método de dumas modificado).
----------------	--

4. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

N°	Código de identificación	Poder Calorífico Superior (MJ/kg)	Contenido de Humedad (%)	Contenido de Cenizas (%)	Contenido de Materia Volátil (%)	Carbono (%)	Nitrógeno (%)	Hidrógeno (%)	Azufre (%)
1		17.0205	74.95	20.19	30.14	31.3563	1.5585	4.2800	<0.99
2	RG-1161_1	16.8476	72.94	20.39	31.77	32.9240	1.6208	4.4960	<0.99
3		16.8273	71.02	20.23	30.34	-	-	-	-
	Promedio	16.8985	72.97	20.27	30.75	32.1402	1.5897	4.3880	-
	Desviación estándar	0.1062	1.96	0.10	1.14	1.1085	0.0441	0.1527	-

Nota: los límites de aceptación son de una desviación estándar de: 0.1400 MJ/kg (PCS), 2.0% (Humedad), 0.2% (Cenizas) y 2.0% (Materias volátiles). Valores por debajo del límite de detección se expresan como <0.99

2. Productos

Los productos por entregar como consecuencia del proyecto son el análisis de los datos obtenidos a partir del diseño experimental con sulfato de amonio y los mismos prototipos, los clientes finales de este proyecto fue el propio ITESO y GIRA.

Nombre y código del PAP	Programa Para mejoramiento de la calidad, productividad y logística en la industria regional.4F04D
Nombre del proyecto	ASHOKA
Descripción (qué es, para quién se realizó y para qué es):	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizó un análisis sobre los resultados del diseño experimental factorial de 2 niveles de fermentación (600 y 700 horas) con 3 tratamientos (0.5, 1.0 y 1.5 g de sulfato de amonio) por triplicado. • Se armaron 17 biodigestores experimentales prototipo con cubetas de plástico de 20 L y tubos de PVC de 2" y ½".
Autor:	Jesús Israel Campos Hueso

Los prototipos que se diseñaron y construyeron son los presentados en la sección 1.4 en la figura 5 y la tabla 6. Estos no presentan ningún tipo de fuga en las uniones de la tapa y bote con los tubos de PVC. Estos prototipos no tienen la capacidad de cerrar herméticamente (figura 32) .



Figura 32. Biodigestores prototipo experimentales

Estos biodigestores son plenamente capaces de funcionar en modo de operación por lote o semicontinuo, contiene una válvula de lodos o muestreo, un estabilizador de volumen (*Tubo nivel*), una salida de gases exhaustos y un tubo para la toma de temperatura dentro de contenedor, sin tener que violar el sello, son ideales para fermentaciones aerobias (se pudiera suministrar oxígeno desde el estabilizador), o fermentaciones facultativas (figura 31).

3. Reflexión crítica y ética de la experiencia

El RPAP tiene también como propósito documentar la reflexión sobre los aprendizajes en sus múltiples dimensiones, las implicaciones éticas y los aportes sociales del proyecto para compartir una comprensión crítica y amplia de las problemáticas en las que se intervino.

3.1 Sensibilización ante las realidades

Los impactos sociales formaron parte de este proyecto. Sin la ayuda de muchas personas este proyecto no hubiera podido ser lo que es. Empleados del ITESO de servicios generales, fueron de gran ayuda, Russel y Horacio fueron las personas que trabajaron al lado mío, me ayudaron mucho y al mismo tiempo también les ayudé. El intercambio de conocimientos y de experiencias en un entorno laboral adecuado permite el crecimiento profesional, personal

y académico en muchas maneras. Ellos tienen toda la parte técnica en elaboración y creación de equipos que carezco.

El departamento de compras, aunque fue parte de la entrega tardía de materiales, fueron quienes adquirieron el material necesario para la elaboración de los biodigestores. Gracias a ellos pude tener los recursos necesarios.

Por parte de la coordinación de este PAP y los profesores asignados (incluido Andrés) formaron parte crucial de mi desempeño, y crecimiento tanto personal como profesional. Ellos dedican tiempo, esfuerzo, recursos y dedicación en transformar verdaderamente la vida de los estudiantes, formando hombres y mujeres felices, exitosos y de bien.

3.2 Aprendizajes logrados

Las competencias que desarrollé durante este proyecto fueron:

Personal: Empecé a realizarme en el mundo real, empezar a dejar de subestimarme y sufrir por ello. Realmente no estoy solo, hay más personas con las que pude empatizar, ser y existir de una muy buena manera. Aprendí que la trascendencia no implica necesariamente un proyecto extraordinario, sino una manera en la que los proyectos y las ideas puedan seguir generando impacto a lo largo del tiempo.

Profesional: Hablando de la profesión y la carrera (como trayectoria), me dí cuenta también de la realidad del mundo. No puedes ser un profesionista que trabaja sólo, la carrera requiere necesariamente de apoyo mutuo y colaboración. Trabajar con Emilio y Yenni, me permitió incorporar a mis saberes profesionales una gran cantidad de información que desoconocía completamente, y de no haber buscado esa información, tendría un saber más pequeño. Aprendí la importancia del esfuerzo, del tiempo, la colaboración y la responsabilidad. El potencial de colaboración a corto y mediano plazo es muy grande, los avances que ya se han generado antes con las estufas patzari y los talleres ambientales, tienen impactos muy positivos en la comunidad.

El desarrollo de este tipo de tecnologías permitirá cumplir con la visión de GIRA, fomentando el dialogo, comunidad y la vinculación entre diferentes instituciones y saberes.

Social: las relaciones entre las personas son fundamentales para una comunidad sana, prospera y que el progreso se pueda dar positivamente a favor de la ecología (entiéndase como la relación de todos los habitantes de una comunidad). A través de la experiencia con el departamento de compras, gestión de recursos y de espacios a través de Servicios Generales aprendí como funciona la burocracia institucional y sobre todo que todas las personas con quien me rodeé son personas profesionistas que de una u otra manera generan una sociedad funcional (a su manera) y replicable que permite el crecimiento de las nuevas generaciones.

3.3 Inventario de competencias Inicial (ingreso del PAP) e Inventario de competencias Final (salida al PAP).

El PAP, es el proyecto de finalización y la prueba tangente del trabajo realizado como ingeniero. Durante la elaboración de un proyecto puedes observar cómo es el mundo realmente, o al menos una parte de él. En la elaboración y ejecución del proyecto se pueden destacar varias perspectivas y competencias iniciales, y se pueden comparar con las competencias al finalizar un proyecto de esta magnitud (tabla #).

Tabla 12. Competencias adquiridas durante el proyecto.

	Competencia	Evidencia	Relevancia/Fortaleza
Conocimientos	Microbiología	Crecimiento de microorganismos	Condiciones de operación de biodigestores
	Biorreactores	Clase de biorreactores	Tamaño de reactor, volúmenes de operación

	Ingeniería en bioproyectos	Proyecto de la carrera	Optimizar, mejorar, diseñar, prototipar
	Cálculos	Varias asignaturas de la carrera	Leer gráficas, predecir comportamientos, modelar matemáticamente
	Gestión de proyectos	Participación en colectivos	Cronogramas, vinculación, planeación, ejecución de proyectos
	Simulación de bioprocesos	Proyecto de asignatura	Diagrama de flujo, cuellos de botella.
	Modelo de negocios	Proyecto de innovación y emprendimiento	Estimar viabilidad de un producto en el mercado
	Precios reales de productos	Compra de partes para el biodigestor	Da un mejor estimado de costos.
	Conocimientos teóricos de biodigestores	Excel con predicciones de generación de gas	Poder predecir y estimar flujos
Habilidades	Investigación	Elaboración de múltiples proyectos	Revisión en literatura de hallazgos previamente reportados.
	Trabajo en equipo	Laboratorios, proyectos, trabajos.	Permite un trabajo más robusto
	Vinculación	Trabajos en colectivos, empleos.	Establece un canal sólido de información y motivación
	Oratoria y escritura	Clases, presentaciones, exposiciones.	Dar a entender el mensaje adecuado al público apropiado.
	Manejo de herramientas	Perforaciones con taladro, mediciones, lijas, unir, sellar, etc.	Poder llevar a la práctica los conocimientos teóricos con ingenio

	Constancia	Elaboración final del proyecto	Terminar un proyecto con buenos resultados.
	Adaptación	Aceptar las condiciones de trabajar en el proyecto	Realizar un proyecto con buena imagen .
Actitudes	Optimismo	Estar atento al proyecto	Juzgar las cosas por su aspecto más favorable
	Pro-activo	Tomar iniciativa de iniciar el proyecto	Dar a conocer una buena imagen y motivación de seguir
	Capacidad de resolución de problemas	Resolver problemas en proyectos, tareas, y vida personal	Solucionar creativamente
	Responsabilidad	Afrontación de mis consecuencias	Establecer buenas relaciones
	Escuchar	Al interior y al exterior	Saber cual es el contexto y como puedo actuar de la mejor manera
	Paciencia	Esperar el mejor momento para actuar	No actuar sin saber lo suficientes pueden traer luz

3.4 Dimensión persona

Durante el desarrollo de este proyecto me sentí en contacto con la realidad que me rodea y sobre todo la que existe afuera del aula, afuera de la institución y también la realidad que hay dentro de mí.

A lo largo del semestre, hemos trabajado con Andrés de manera colaborativa, estuvimos escuchándonos, mirándonos a los ojos, preguntándonos quienes somos, a donde queremos ir, que nos hace falta para conseguir aquello que anhelamos. La escucha de la demás personas nos dio aliento, consuelo, incluso una entrada a la nueva realidad que estamos por

experimentar en la vida laboral. Reflexionar sobre nosotros mismos y los que nos rodean nos puede traer mucha claridad.

El trabajo que realicé con Andrés fue de los más importantes para la realización de este proyecto (y el PAP pasado) y la realización como persona. Darse cuenta de las cosas que vamos arrastrando, de los matices con los que percibimos la vida, de la importancia de observarnos, de ver quienes fuimos, quienes somos, que queremos llegar a ser, sin obsesionarse con eso. De las cosas más importantes fue a apreciar la vida, permitirme vivir, permitirme ser, dejar de categorizarme y ser quien yo quiero ser y no quien los demás quieren que yo sea. La culpa y sufrimiento hacia mi persona es otro obstáculo más que no me permitía ser y vincularme adecuadamente con las otras personas y trabajos.

De las cosas más significativas con Andrés fue, el recorrido de la vida. Entramos al campus y me llevó y dirigió desde el primer recuerdo, hasta la vida actual, cuestionar como llegué tan lejos, permite saber dónde estoy parado, desde cuando estoy parado (o no lo estoy), que tengo enfrente de mí, que puedo hacer con mi presente, que puede (o no) deparar el futuro y cuál es su relevancia con mi persona actual.