



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“ANÁLISIS DEL POTENCIAL DEL APROVECHAMIENTO DE
RESIDUOS ORGÁNICOS DEL MERCADO MAYORISTA DE LA
CIUDAD DE RIOBAMBA EN PROCESOS DE CODIGESTIÓN
ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: YADIRA ELIANA OLALLA PARRA

TUTOR: DR. CELSO GUILLERMO RECALDE MORENO

Riobamba – Ecuador

2018

© 2018, Yadira Eliana Olalla Parra

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

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El proyecto técnico: **ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DEL MERCADO MAYORISTA DE RIOBAMBA EN PROCESOS DE CODIGESTIÓN ANAEROBIA PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS**, de responsabilidad de la señorita Yadira Eliana Olalla Parra, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, quedando autorizada su presentación.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno
**DIRECTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Dra. Madgy Echeverría Guadalupe
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Yadira Eliana Olalla Parra, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis y el patrimonio intelectual del Trabajo de Titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Yadira Eliana Olalla Parra
C.C.: 0604064485

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme salud y fuerza para alcanzar mis objetivos.

Agradezco al Grupo de Energías Alternativas y Ambiente por el apoyo brindado para realizar mi proyecto de tesis; a mi mami por siempre creer en mí y siempre apoyarme para que cumpliera mis metas; a toda mi familia por ser el pilar fundamental en mi vida, siempre brindándome su ayuda, apoyo y cuidado; a mis amigos y amigas por su apoyo y sincera amistad.

DEDICATORIA

A mi mami, por darme su apoyo y cariño incondicional. A mi hermana, por llenar de alegría mi vida. A mi familia, porque siempre me brindaron su apoyo, cariño, cuidado y amor en cada etapa de mi vida.

A Dios, por haberme bendecido con una mamá y una familia como la que tengo.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT.....	XV

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	3
1.1. Antecedentes de la investigación	3
1.2. Mercados de Riobamba.....	5
1.2.1. Residuos sólidos y su clasificación.....	6
1.3. Lodos digeridos.....	7
1.4. Proceso de digestión anaerobia y codigestión.....	8
1.4.1. Etapas de la digestión anaerobia.....	9
1.4.2. Hidrólisis.....	9
1.4.3. Etapa fermentativa o acidogénica.....	10
1.4.4. Etapa acetogénica.....	10
1.4.5. Etapa metanogénica.....	11
1.4.6. Reactores usados en modelos de digestión anaerobia.....	12
1.4.7. Inhibidores de codigestión anaerobia.....	14
1.5. Metano.....	19
1.5.1. Utilidad del metano.....	20
1.6. Modelo de simulación de procesos PSM.....	21
1.7. Producción de energía eléctrica.....	25

CAPÍTULO II

2.	METODOLOGÍA	27
2.1.	Mapa de mercados de Riobamba	27
2.2.	Lugar de estudio	30
2.2.1.	<i>EP-EMMPA San Pedro de Riobamba</i>	30
2.2.2.	<i>Selección de naves de estudio</i>	31
2.2.3.	<i>Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Penipe</i>	34
2.3.	Producción de residuos orgánicos de EP-EMMPA San Pedro de Riobamba	35
2.4.	Muestras	35
2.4.1.	<i>Selección de los días y puntos de muestreo</i>	36
2.4.2.	<i>Toma de muestra</i>	37
2.4.3.	<i>Preparación de las mezclas de residuos usados como sustrato</i>	40
2.5.	Análisis de muestras	40
2.6.	Producción de CH₄	44
2.6.1.	<i>Simulación de datos en el modelo de simulación PSM</i>	44
2.6.2.	<i>Ingreso de datos en el modelo de simulación</i>	45
2.6.3.	<i>Producción de CH₄ / SV</i>	47
2.7.	Energía eléctrica	49
2.7.1.	<i>Calculo de producción teórica de energía eléctrica</i>	49
2.7.2.	<i>Consumo de energía eléctrica del EP-EMMPA San Pedro de Riobamba</i>	50

CAPÍTULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1.	Producción de residuos orgánicos	51
3.2.	Características físico-químicas y bromatológicas de las muestras	52
3.2.1.	<i>Análisis de muestras</i>	52
3.2.2.	<i>Corrección de datos</i>	56
3.3.	Producción de CH₄	57

3.3.1.	<i>Adaptación de datos para ingreso en el modelo de simulación PSM</i>	57
3.3.2.	<i>Producción de CH4 total y CH4 en relación a los SV</i>	59
3.4.	Factibilidad producción de electricidad a partir de CH4	61
3.5.	Factibilidad técnica de producción de energía eléctrica	62
3.5.1.	<i>Costos de implementación de un digester anaerobio</i>	63
	CONCLUSIONES	67
	RECOMENDACIONES	68
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Clasificación de los lodos.....	8
Tabla 2-1	Tipos de fermentación.....	10
Tabla 3-1	Rangos de temperatura.....	16
Tabla 4-1	Otros inhibidores del proceso de digestión anaerobia.....	17
Tabla 5-1	Concentración óptima de nitrógeno amoniacal en sustratos.....	18
Tabla 6-1	Concentración en mg/l de metales pesados inhibidores.....	19
Tabla 1-2	Fechas y horas de inspección en los 13 mercados de la ciudad de Riobamba.....	27
Tabla 2-2	Características de los mercados de Riobamba.....	28
Tabla 3-2	Fechas de muestreo de la producción de residuos orgánicos.....	35
Tabla 4-2	Días elegidos para realizar los muestreos (2017).....	36
Tabla 5-2	Fecha y hora de muestreo en EP-EMMPA San Pedro de Riobamba.....	38
Tabla 6-2	Fecha y hora de muestreo en la planta de tratamiento de aguas residuales.....	39
Tabla 7-2	Especificación para preparar 100 g de sustrato.....	40
Tabla 8-2	Laboratorio, orden y fechas de análisis.....	41
Tabla 9-2	Parámetros físicos analizados y métodos a considerar.....	42
Tabla 10-2	Parámetros químicos analizados y métodos que se realizaron.....	44
Tabla 11-2	Conversión para determinar la composición másica aproximada.....	45
Tabla 12-2	Condiciones estándar IUPAC.....	48
Tabla 1-3	Datos de producción diaria de residuos orgánicos de las 13 naves seleccionadas.....	52
Tabla 2-3	Análisis físicos S1 (25% RO - 75% L).....	53
Tabla 3-3	Análisis físicos S2 (50% RO - 50% L).....	53
Tabla 4-3	Análisis físicos S3 (75% RO - 25% L).....	54
Tabla 5-3	Análisis bromatológicos S1, (25% RO - 75% L).....	54
Tabla 6-3	Análisis bromatológicos S2, (50% RO - 50% L).....	55
Tabla 7-3	Análisis bromatológicos S3, (75% RO - 25% L).....	55
Tabla 8-3	Composición porcentual del sustrato corregido para humedad de 70%.....	56
Tabla 9-3	Datos corregidos de cada sustrato.....	57
Tabla 10-3	Fracción másica aproximada y fracción molar de los datos reales.....	58
Tabla 11-3	Fracción másica aproximada y fracción molar de los datos corregidos.....	58
Tabla 12-3	Producción diaria de CH ₄ para un tiempo de retención de 20 días (datos reales).....	59
Tabla 13-3	Producción de CH ₄ con relación a los SV (datos reales).....	59

Tabla 14-3	Datos de producción de CH ₄ (Nielfa, et al., 2015).....	61
Tabla 15-3	Cálculo de producción de energía eléctrica a partir de S3-70.....	62
Tabla 16-3	Detalle de los materiales y la inversión.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfico 1-1	Esquema del proceso de digestión anaerobia.....	9
Gráfico 2-1	Reacciones acetogénicas que ocurren dentro de un sistema anaeróbicos.....	11
Gráfico 3-1	Reacciones metanogénicas (principales).....	12
Gráfico 4-1	Clasificación de los reactores anaerobios	13
Gráfico 5-1	Reactor de mezcla competa sin recirculación.....	14
Gráfico 6-1	Composición del biogás en función del sustrato usado.....	20
Gráfico 7-1	Ventana de Aspen Plus.....	23
Gráfico 8-1	Lista de reacciones de hidrólisis incluida en PSM.....	24
Gráfico 9-1	Diagrama de flujo de bloques del PSM.....	25
Gráfico 10-1	Generador de corriente continua.....	26
Gráfico 1-2	Informe sectorial de los Mercados de Riobamba.....	29
Gráfico 2-2	EP-EMMPA San Pedro de Riobamba.....	30
Gráfico 3-2	Naves de la EP - EMMPA en las que se realizó para muestreo.....	33
Gráfico 4-2	Puntos seleccionados al azar para muestreo de lodos digeridos.....	37
Gráfico 5-2	Coefficientes cinéticos usados en PSM.....	43
Gráfico 6-2	Diagrama del simulador PSM.....	46
Gráfico 7-2	Ventana donde se ingresan los datos requeridos para simulación.....	46
Gráfico 8-2	Ventana donde se ingresa el tiempo de retención.....	47
Gráfico 9-2	Botón RUN.....	47
Gráfico 1-3	Esquema de producción de energía partir de metano en cogestión anaerobia.....	64

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1-2	EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, exteriores e interior de mercado.	31
Fotografía 2-2	Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Penipe.	34
Fotografía 3-2	Muestreo de residuos orgánicos.	38
Fotografía 4-2	Muestreo de lodos digeridos.	39
Fotografía 5-2	Pesaje de las mezclas de residuos orgánicos y lodos.	40

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A	PROCESO EXPERIMENTAL
Anexo B	MAPA DE MERCADOS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA
Anexo C	ANÁLISIS PREVIO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA CIUDAD DE PENIPE.
Anexo D	TABLA DE ECUACIONES PARA CÁLCULO DE CONSTANTES CINÉTICAS SEGÚN MODELO DE ANGELIDAKI.
Anexo E	DATOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PROPORCIONADOS POR ERSSA.
Anexo F	TÉCNICA DE ANÁLISIS PARA PARÁMETROS BROMATOLÓGICOS Y FÍSICO QUÍMICOS

RESUMEN

Se analizó el potencial de producción de biogás a partir de la combinación de 2 tipos de residuos: residuos orgánicos y lodos residuales, utilizando un modelo de simulación de procesos de codigestión anaerobia, para posteriormente evaluar la factibilidad técnica de producción de energía eléctrica. Para esto se seleccionó al Mercado Mayorista de Riobamba como lugar de estudio, aquí se registró la producción de residuos orgánicos de las 13 naves de comercialización del mercado, teniendo como resultado un aproximado de la producción diario de 3350 kg residuos orgánicos entre frutas, vegetales, hortalizas y parecidos. Se tomó muestras representativas de los residuos orgánicos y de los lodos digeridos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Penipe, las cuales fueron transportadas a los laboratorios de Bromatología y Calidad del agua de la ESPOCH; se realizaron las respectivas mezclas de muestras S1:25%-75%, S2:50%-50% y S3:75%-25%, a las cuales se realizaron los análisis físicos-químicos y bromatológicos respectivos. Los resultados obtenidos fueron adaptados para ser ingresados en el modelo de simulación PSM, dando como resultado que por cada 1000 kg de sustrato se produce 146, 163, 196 kg, se evaluó el rendimiento de producción a partir de la cantidad de sólidos volátiles contenido tenido una producción de 0.39, 0,44 y 0,42 m³CH₄/kgSV respectivamente. Al observar que el rendimiento no era óptimo debido a que no tenían una humedad adecuada, se realizó una dilución teórica de cada sustrato, los cuales dieron como resultado una producción de S1-70:0,82m³CH₄/kgSV, S2-70:0,85m³CH₄/kgSV y S3-70:0,90m³CH₄/kgSV; se tuvo como resultado que S3-70 tiene el mejor rango de producción de metano, por lo que se seleccionó para calcular la producción de energía eléctrica, teniendo una producción aproximada de 60 kw/día. Se recomienda realizar un análisis de la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de codigestión anaerobia a gran escala.

PALABRAS CLAVE: <BIOTECNOLOGÍA>, <ENERGÍAS ALTERNATIVAS>; <CODIGESTIÓN ANAEROBIA>, <MEZCLA DE SUSTRATO>; <SIMULACIÓN>, <MODELO DE SIMULACIÓN (PSM)>; <METANO>, <ENERGÍA ELÉCTRICA>.

ABSTRACT

The potential of biogas production was analyzed from the combination of 2 types of waste: organic waste and residual sludge, using a simulation model of anaerobic co-digestion processes, to later evaluate the technical feasibility of Electric power production. For this we selected the wholesale market of Riobamba as a place of study, here was recorded the production of organic waste from the 13 commercial shops of the market, resulting in an approximate daily production of 3350 kg waste Organics between fruits, vegetables, vegetables and like. Representative samples of organic waste and digested sludge were taken from Penipe wastewater treatment plant, which were transported to the bromatology and water quality laboratories of the ESPOCH; The respective mixtures of sample were made S1: 25% -75%, S2: 50% -50% and S3: 75% -25%, to which the physical analyses were made-chemical and bromatological. The results obtained were adapted to be entered in the PSM simulation model, resulting in each 1000 kg of substrate 146, 163, 196 kg was produced, the production yield was assessed from the amount of volatile solids contained Had a production of 0.39, 0.44 and 0.42 m³CH₄ / kgSV respectively. Observing that the performance was not optimal because they did not have adequate humidity, a theoretical dilution of each substrate was carried out, which resulted in a production of S1-70: 0.82m³CH₄ / kgSV, S2-70: 0, 85m³CH₄ / kgSV and S3-70: 0.90m³CH₄ / kgSV; The result was that S3-70 has the best methane production range, so it was selected to calculate the production of electrical energy, having an approximate production of 60 kw / day. It is recommended to carry out an analysis of the technical and economic feasibility of the implementation of a large-scale anaerobic co-digestion system.

KEY WORDS: <BIOTECHNOLOGY>, <ALTERNATIVE ENERGIES>; <ANAEROBIC CODIGESTION>, <SUBSTRATE MIXING>; <SIMULATION>, <SIMULATION MODEL (PSM)>; <METHANE>, <ELECTRIC ENERGY>.

INTRODUCCIÓN

La ciudad de Riobamba consta con 225 741 habitantes entre hombres y mujeres (INEC, 2010), aquí el flujo comercial es más elevado en relación con el resto de la provincia, ya que es una ciudad de paso hacia las principales ciudades del Ecuador, teniendo una producción per cápita de residuos de 0,734 kg/habitante/día (Sempertegui Moreira, 2008, pp. 48-51); el mal manejo de residuos sólidos urbanos es una de las problemáticas que afecta al país, donde el 77% de los hogares elimina la basura a través de carros recolectores y el 23% lo elimina de diversas formas; solo el 28% de los residuos son dispuestos en rellenos sanitarios, el 72% restante son dispuestos en botaderos a cielo abierto los cuales tienen como consecuencia diversos problemas ambientales, proliferación de insectos, roedores y problemas a la salud humana, teniendo el país una producción per cápita de 0,74kg (MAE, 2012). El consumo de combustible fósil y la falta de conocimiento de energías alternativas y amigables con el ambiente han afectado gravemente el ambiente, ya que se emiten grandes concentraciones de CO₂, CH₄, N₂O, óxidos de nitrógeno, CO y los compuestos orgánicos volátiles como consecuencia de la combustión incompleta de dichos combustibles, siendo estos responsables de distintas problemáticas mundiales tales como el calentamiento global, efecto invernadero, entre otros (Agencia Europa de Medio Ambiente, 2014).

Actualmente, en la ciudad de Riobamba no existe planes de manejo y disposición de residuos sólidos orgánicos y de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, los residuos orgánicos son dispuestos directamente en el relleno sanitario de la ciudad y los lodos en algunos casos son dispuestos en piscinas de almacenamiento o trasladado a terrenos para usarlos como abono siendo esta una idea errónea, por lo que surge la interrogante que si será viable a futuro el aprovechamiento de estos residuos para producción de biogás. Se propuso recalcar la importancia de una buena disposición de residuos orgánicos, aprovechando fundamentalmente sus propiedades bromatológicas en procesos de codigestión con lodos activados; potencializando la producción de biogás, en específico de metano, buscando de esta manera dar un valor agregado a la disposición de ciertos residuos que hoy en día significa un problema ambiental en especial en las zonas aledañas de los mercados de la zona urbana de la Ciudad de Riobamba; es así que mediante un análisis técnico se midió la producción aprovechable de bioenergía a partir de estos subproductos; que posteriormente se propuso involucrar procesos que dispongan y utilicen netamente estos contaminantes, también se propuso enfatizar que para que exista una producción de biogás en un

ambiente anaerobio se necesitara parámetros adecuados que conlleven a una producción amplia, limpia y objetiva, por tal motivo la importancia de un análisis técnico previo ayudará a enmarcar. Los procesos de codigestión van a generar una mayor producción de biogás generando una destrucción de residuos sólidos, facilitando una manipulación y eliminación de residuos de alta resistencia a partir de lodos activados o municipales (Tandukar & Pavlostathis, 2015, pp. 432-445), por lo tanto los residuos de vegetales y frutas de los mercados del sector urbano de la Ciudad de Riobamba, junto con los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales fue una combinación de sustratos óptimo para procesos de codigestión anaerobia; por esta razón se realizó un análisis de las diferentes proporciones de mezcla de residuo, para de esta manera encontrar la más adecuada, que nos proporcione los mejores resultados. Los estudios analizados dieron pautas y guías para reproducirlo con los residuos orgánicos generados por en la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, ya que estos estudios aportan información sobre el uso de modelos matemático que simulan en proceso de digestión anaerobia, además nos muestra los buenos resultados obtenidos al realizar procesos de codigestión en donde se involucra varios tipos de residuos orgánicos procedentes de diferentes fuentes, dando resultados de rendimiento mucho mejores a que si se utilizara independientemente un solo tipo de residuo para la obtención de metano.

OBJETIVOS

General

- Analizar el potencial del aprovechamiento de residuos orgánicos del Mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba en procesos de codigestión anaerobia para la producción de biogás.

Específicos

- Determinar el índice estimado de producción de residuos orgánicos entre vegetales y frutas del Mercado Mayorista de la ciudad de Riobamba
- Evaluar los análisis bromatológicos y físico-químicos de las mezclas en diferentes proporciones de residuos orgánicos y lodos residuales involucrados en el proceso de codigestión.
- Simular y validar la producción de biogás conociendo su viabilidad y factibilidad técnica.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes de la investigación

La ciudad de Riobamba cuenta con 225 741 habitantes entre hombres y mujeres (INEC, 2010), siendo la principal ciudad donde se realiza actividades comerciales comparándola con el resto de la provincia de la sierra centro, ya que es una ciudad de paso hacia las principales ciudades del Ecuador, teniendo una producción per cápita de 0,734 kg/habitante/día (Sempertegui Moreira, 2008, p. 49). En épocas actuales el mal manejo de residuos sólidos urbanos (RSU) es una de las problemáticas que afecta a todo el país.

Se registró que en Ecuador el 77% de los hogares elimina la basura a través de carros recolectores y el 23% lo eliminó de diversas formas ya sea quemando la basura, arrojándola a terrenos vacíos, fuentes hídricas o a quebradas y en algunas ocasiones usan los residuos orgánicos restantes para alimentar a animales de granja, esta situación ocurre con regularidad en sectores rurales, donde no existe una buena educación sobre el buen manejo y disposición de residuos, además en ocasiones los sectores rurales alejados no cuentan con sistemas de recolección de desechos o el sistema de recolección pasa 1 vez cada semana como es el caso de la parroquia Candelaria del cantón Penipe; del 77% de los hogares del país depositan sus residuos a través de carros contenedores, el 39% de los residuos son dispuesto en rellenos sanitarios, el 26% en botaderos controlados, 23% en botaderos a cielo abierto y el 12% en celdas emergentes (INEC, 2014), estas dos últimas opciones tienen como consecuencia diversos problemas ambientales, proliferación de insectos y roedores y problemas a la salud humana, se conoce que en el país anualmente se genera 4,06 millones de toneladas métricas de residuos, teniendo una producción per cápita de 0.74kg (MAE, 2012).

Quizhpi (2008, pp. 59-100) con la finalidad de proponer una opción para el aprovechar los residuos orgánicos generados por la Empresa Pública Mercado de Productores Agrícolas (EP-EMMPA) San Pedro de Riobamba propuso la obtención de etanol a partir de los residuos orgánicos generados en la sección frutas del mercado, con el fin de usarlo como sustituto de combustibles derivados de

petróleo, se realizó cuatro tratamientos, donde en el tratamiento, 1 el proceso fermentativo se realizó utilizando la flora microbiana propia de los residuos, el tratamiento 2 el proceso fermentativo se realizó utilizando inóculos de *Saccharomyces cerevisiae*, el tratamiento 3 el proceso fermentativo se realizó con sustrato enriquecido con mezcla y se utilizó la flora microbiana de los residuos y el tratamiento 4 el proceso fermentativo se realizó enriquecimiento en la mezcla y se realizó un inóculo de *Saccharomyces cerevisiae*, donde el tratamiento 4 tuvo el mayor rendimiento, en el que por cada 1,5 Kg de residuales se obtienen 0,07525 L/etanol de 95° realizando una inversión de \$0,80 por litro a nivel de laboratorio para la obtención del producto, aquí se planteó una solución al desperdicio de residuos orgánicos de un mercado local, dando como resultado un subproducto el cual puede ser utilizado como combustible para distintos fines.

En la actualidad la obtención de nuevas técnicas para producir energía eléctrica a partir de nuevos procesos distintos a los convencionales ha sido prioridad en los centros de investigación de varias universidades del mundo, las siguientes investigaciones detalladas a continuación hacen referencia a los trabajos previos realizados en torno a esta temática. García Amador (2009, pp. 12-66) realizó un estudio de codigestión anaeróbica de estiércol y lodos de depuración para producción de biogás, teniendo como resultado el porcentaje adecuado de mezcla estiércol – lodo de EDAR para la codigestión en condiciones termófilas en 55 y 35 °C, aquí se usó 3 tipos de mezclas 25-75%, 50-50% y 75-25%, teniendo como resultado que la combinación 25% estiércol – 75% lodos es la mejor combinación para condiciones termófilas (55°C) teniendo una producción de 200 ml CH₄/g SV y en condiciones mesófilas (35°C) no existió valores muy diferentes entre sí que puedan determinar cual es la mejor combinación de residuos además la producción de metano fue considerablemente baja; así mismo Cendales Ladino (2011, pp. 25-70) realizó un estudio de la producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino con una combinación de 1:1, 2:1 y :3:1, donde se realizó mediciones periódicas de las variables de control tales como pH, alcalinidad, demanda química de oxígeno con el fin de establecer los parámetros de desempeño del proceso, además se realizó la simulación del proceso de digestión anaeróbica bajo condiciones similares a las establecidas durante los ensayos experimentales, mediante la implementación del modelo ADM-1 en el programa MATLAB, posteriormente se programó los datos en el modelador teniendo como resultado que 1:1 produjo 0,33 gDQO-CH₄/gDQO, 2:1 produjo 0,38 gDQO-CH₄/gDQO y 3:1 produjo gDQO-CH₄/gDQO; Nielfa, et al. (2015, pp. 14-21) realizaron la investigación sobre la producción de metano teórico generado por la codigestión de fracción orgánica de residuos sólidos urbanos y lodos biológicos donde se realizó 4 tipo de mezcla teniendo M1 80%-20%, M2 60%-40%, M3 40%-60% y M4 20%-80% respectivamente, el cálculo de

producción teórica de metano se realizó mediante modelos matemáticos, encontrando la cantidad porcentual de residuos adecuada para una producción de biogás siendo 80% fracción orgánica de residuos sólidos municipales y lodos biológicos 20% como el óptimo teniendo una producción de 541,2 ml CH₄/gSV. Estos estudios dieron pautas y guías para reproducirlo con los residuos orgánicos generados por en la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, ya que estos estudios aportan información sobre el uso de modelos matemático que simulan en proceso de digestión anaerobia, además nos muestra los buenos resultados que se obtienen al realizar procesos de codigestión en donde se involucra varios tipos de residuos orgánicos procedentes de diferentes fuentes, dando resultados de rendimiento mucho mejores a que si se utilizara independientemente solo un tipo de residuo para la obtención de metano.

1.2. Mercados de Riobamba

Desde la antigüedad se define el termino mercado al lugar en donde compradores y vendedores realizaban el intercambio de bienes o servicios, aunque la mercadotecnia define el termino mercado al grupo de personas que obtienen bienes y servicios a través del generar, en síntesis, mercado es el lugar público o privado compuesto por tiendas o puestos donde se ofertan productos para su venta, principalmente se ofertan productos alimenticios y de primera necesidad; los mercados se clasifican considerando varios aspectos, pero el principal es la clasificación considerando el flujo de ventas donde se tiene mercados mayoristas donde el flujo de comercialización es alto y mercados minoristas cuyo flujo de comercialización es bajo (Rodríguez Santoyo, 2013, pp. 23-27).

Según el Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2015-2019 (Cadena Oleas, 2015, pp. 44-45) los principales puntos de comercialización de la ciudad de Riobamba se encuentran a lo largo de la urbe, el comercio está en de la zona del centro histórico de la ciudad lo que genera que se cree una alta congestión de tráfico; actualmente existen 12 mercados donde 11 de ellos se encuentran en el radio de influencia los cuales son La Condamine, San Alfonso, Plaza Roja , La Merced, San Francisco, Santa Rosa, El Prado, Gral. Juan Dávalos, La Esperanza 1, La Esperanza 2, Plaza de las Hierbas; en el sur se encuentra en EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, el cual se encuentra en el sur de la ciudad el cual ha generado un nuevo polo de desarrollo para los sectores de Pucará, Fausto Molina, Parque industrial, los Laureles, etc. En la zona norte de la ciudad no existe ningún tipo de equipamiento para procesos de comercialización, lo que provoca que la población de esta zona se

traslade a la zona céntrica para comprar los productos necesarios, lo que encarece el precio de los productos.

1.2.1. Residuos sólidos y su clasificación

Según el Plan Estratégico de desarrollo cantonal (ILUSTRE MUNICIPIO DE RIOBAMBA, 2015, p. 210), señala que la principal fuente de generación de residuos sólidos son los mercados, no se encuentra estipulado por el municipio un sistema de clasificación de residuos, por lo que los mercados generan residuos de todo tipo. El LIBRO VI, Anexo 6 del TULSMA (Texto Unificado de la Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente) define el termino desechos como: “Denominación genérica de cualquier tipo de producto residual, resto, residuo o basura no peligrosa, originado por personas naturales o jurídicas, públicas o privadas, que pueden ser sólidos o semisólidos, putrescibles o no putrescibles” (MAE, 2006, p. 6), en el Ecuador se tiene registros que diariamente aproximadamente se produce 11203,24 toneladas de residuos donde del total de residuos generados el 10% son residuos recolectados de manera diferente que los residuos orgánicos e inorgánicos regularmente estos son residuos peligrosos, biológicos, escombros, etc., del 80% restante, el 53,81% son residuos orgánicos y el 46,19% son residuos inorgánicos (INEC, 2014, pp. 15-16), estos residuos orgánicos no son aprovechados en algún proceso, pudiendo ser una alternativa la producción de metano y de esta manera sustituir el metano de origen fósil, según la UNICEF (United Nations Children's Fund) en el texto “PARTICIPACIÓN CIUDADANA Y GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS” (Bertolino, et al., s.f., p. 11) clasifica a los residuos de la siguiente manera:

➤ ***Según su origen*** Se subdivide en (Bertolino, et al., s.f., p. 12):

- **Domiciliarios:** Residuos generados por domicilios, aseo de calles, limpieza de zonas verdes.
- **Voluminosos:** Residuos que debido a su volumen, peso y forma no pueden ser recogidos por los contenedores de basura.
- **Comerciales:** Residuos generados por todo tipo de establecimiento comercial.
- **Residuos sanitarios:** Residuos generados por hospitales, clínicas laboratorios de análisis clínico y parecido.
- **Construcción y demoliciones:** Residuos generados por la actividad de la construcción.
- **Agrícolas:** residuos generados por actividades agrícolas.

➤ **Según su naturaleza** Se subdividen en (Bertolino, et al., s.f., p. 13):

- **Orgánicos:** Residuos de fácil degradación, por ejemplo, residuos de cocina, residuos de jardín, residuos de comida, residuos de frutas y vegetales, etc.
- **Inorgánicos:** Residuos que para su degradación pueden necesitar varios años, por ejemplo, vidrio, papel, plástico, etc.

1.3. Lodos digeridos

Una planta de tratamiento de aguas residuales es una instalación en la cual las aguas residuales de algún tipo de proceso o actividad se les trata para retirar los contaminantes, para que estas aguas no signifiquen un riesgo para la salud o el ambiente, ya que, al darle una disposición final en mares, ríos lagos, etc. puedan causar alteraciones (ALIANZA POR EL AGUA, 2013, pp. 25-26). La ciudad de Penipe consta de una baja población en el sector urbano, teniendo un total de 800 habitantes en el sector urbano (INEC, 2010), además un bajo flujo comercial, por lo que el GADM Penipe construyó una planta de tratamiento de aguas residuales, constituida por un tanque imhoff, cuya selección se la realizó en base a las características de la población; este tanque imhoff tiene como residuo un volumen de lodos digeridos, el cual no es tratado ni usado en ningún proceso. Se denomina tanque imhoff a la unidad de tratamiento primario la cual tiene como finalidad la remoción de sólidos suspendidos, para comunidades de 5000 habitantes o menos los tanques imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y a digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad suelos (OPS, 2005, p. 11).

Se denomina lodos digeridos o residuales a los sólidos que tiene un contenido de humedad variable, estos provienen de la sedimentación en sistemas de alcantarillado, plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales, los cuales no han sido sometidos a estabilización. (Barrios Pérez, 2009, p. 2); los lodos digeridos tiene la característica de que son el resultado de procesos anaerobios o aerobios, se caracterizan por tener un color negro tierra y tener una carga de materia orgánica de entre 45 al 60% (Herrera, et al., 2007, pp. 490-491). El mal manejo de los lodos provoca la formación de lixiviados, creación de pasivos ambientales, contaminación de fuentes hídricas, contaminación del suelo, alteración de la micro fauna del suelo y sobre todo el desaprovechamiento de un recurso el cual puede ser usado para diferentes propósitos (ASA-JET, 2016), estos se clasifican dependiendo de

sus características y del tipo de proceso del que son producto, esta clasificación se detalla en la Tabla 1-1.

Tabla 1-1: Clasificación de los lodos.

TIPOS DE LODOS Y PROPIEDADES		
Primario	Lodo activado	Lodo químico
Sedimentos primarios	Color café oscuro	Tratamiento primario con químicos
Color grisáceo	Suspensión floculante de biomasa activada	Color café oscuro/negro
Oloroso	Alto contenido de agua	Suspensión semi-floculante
50-60% de sólidos suspendidos	Difícil de deshidratar	Fácil de deshidratar
ST: 4-10%	ST: 0,5-2,0%	ST: 0,5-10,0%
SV: 60-80%	SV: 70-80%	ST: 50-70%

Fuente: (Barrios Pérez, 2009, p. 6)

1.4. Proceso de digestión anaerobia y codigestión

La digestión anaerobia es un tipo de fermentación, la cual se produce en ausencia de oxígeno, la cual da como resultado biogás (mezcla de gases principalmente CH₄ (metano) y CO₂ (dióxido de carbono)) y lodo acuoso el cual que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica (Lorenzo Acosta y Obaya Abreu, 2005, p. 36). Se define codigestión anaerobia a la digestión anaerobia de dos o más residuos de diferente origen, teniendo como ventaja principal el aprovechamiento de la sinergia de mezcla, ya que se compensan las carencias de cada tipo de residuo seleccionado, siendo eficiente en régimen mesofílico y termofílico (BESEL, S.A, 2007, p. 22). Este tipo de digestión tiene como objetivo el aprovechamiento de la complementariedad de los residuos para obtener procesos más eficientes, la unificación de métodos, el amortiguamiento de variables, la reducción de costos y compartir instalaciones (digestores). Varios estudios han demostrado la eficiencia de este procedimiento, consiguiendo buenos resultados con mezclas de residuos vegetales y frutales y lodos de depuradoras, residuos ganaderos y residuos de mataderos (BESEL, S.A, 2007, p. 23).

1.4.1. Etapas de la digestión anaerobia

Según el “Manual del Biogás” (FAO, 2011, p. 19), la digestión anaerobia es un proceso complejo debido a la cantidad de reacciones bioquímicas que están involucradas, todas estas llevadas a cabo por los microorganismos, por lo que el proceso se divide en varias etapas.

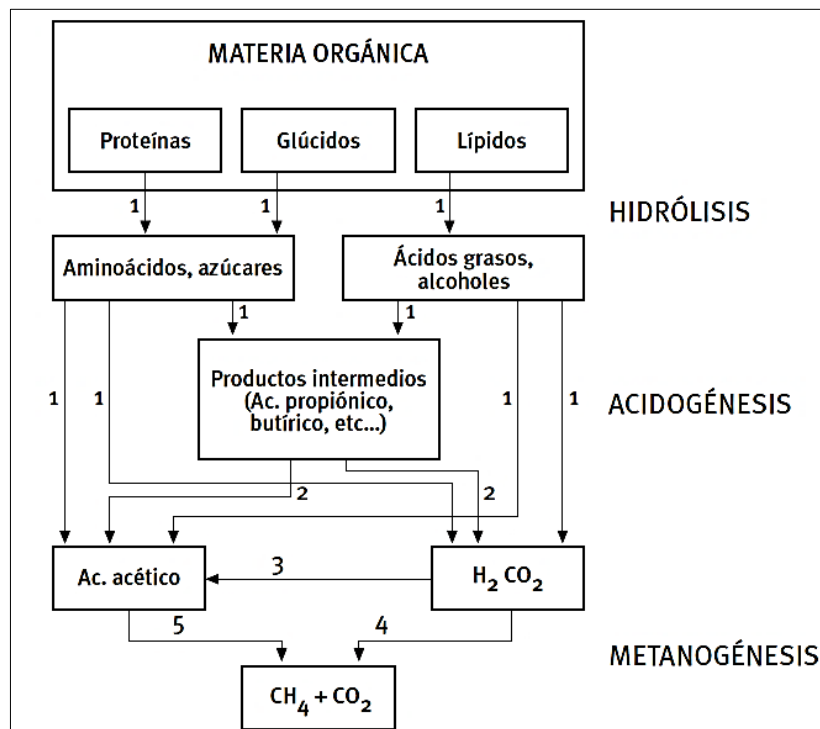


Gráfico 1-1: Esquema del proceso de digestión anaerobia.

Fuente: (BESEL, S.A, 2007, p. 22)

1.4.2. Hidrólisis

Siendo la primera fase, el sustrato compuesto por moléculas complejas tales como proteínas, lípidos y carbohidratos se hidrolizan con ayuda de enzimas extracelulares, estas están producidas por microorganismo fermentativos, ya que el sustrato compuesto por materia orgánica polimérica no puede usarse a menos que transformen en compuestos solubles, y así estos puedan atravesar la pared celular (Corrales, et al., 2015, p. 60). Esta etapa determina la velocidad total del proceso de digestión anaerobia, debido a la cantidad de sólidos totales contenidos en el sustrato, entre más sólidos el proceso demora más; además este depende directamente de la temperatura, tiempos de retención, proposición bioquímica del sustrato, tamaño de partículas, pH, concentración de NH₄ (amonio). La cantidad de proteína contenida en el sustrato es importante debido a estos se

hidrolizan a aminoácidos y péptidos, parte de estos aminoácidos se destinan directamente a producción de nuevo material celular y el resto son degradados a CO₂, ácidos volátiles, H₂, amonio y sulfuro. Los compuestos lignocelulósicos (lignina, celulosa y hemicelulosa) limitan el tiempo del proceso debido a que estos compuestos son muy resistentes a la degradación; la celulosa al ser hidrolizada se produce celobiosa y glucosa, hemicelulosa produce hexosas, pentosas y ácido urónico, para eliminar estos componentes es recomendable realizar tratamientos previos (FAO, 2011, pp. 20-21).

1.4.3. Etapa fermentativa o acidogénica

Es una etapa crucial, donde los productos de la hidrólisis se convierten principalmente a acetato alcohólicos, ácidos grasos de cadena corta, CO₂ y H₂, esta etapa se caracteriza por producir H₂ debido a parte de los electrones que se generaron y no se transfirieron a bases de piridinas se disponen en vías de reducción de protones y dando lugar a la formación de H₂ (Almeida, et al., 2011, p. 17). Esta etapa incluye un gran número de especies microorganismos, estos durante el proceso de producción de metabolitos da como producto final sustancias orgánicas, estas incluyen: acetona, etanol, ácido láctico, ácido acético, butanol y ácido propiónico; esta etapa tiene poca producción de energía, esto es suplido con la metabolización de gran parte de los azúcares (Corrales, et al., 2015, pp. 60-61), aquí se producen varios tipos de fermentación los cuales se detallan en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Tipos de fermentación.

Tipo de fermentación	Producto
F. Láctica	Lactato
F. Alcohólica	Etanol, CO ₂
F. Ácida-Mixta	Etanol, CO ₂ , Formiato, Lactato, Succinato, Acetato
F. Butilénlicólica	Butilénlicol, CO ₂
F. Aceto-Butírica	Etanol, CO ₂ , H ₂ , Butanol, Acetato, Butirato, Acetona

Fuente: (Corrales, et al., 2015, p. 61)

1.4.4. Etapa acetogénica

En esta etapa productos como ácidos grasos volátiles, etanol y algunos compuestos aromáticos son transformados en productos más sencillos como H₂ y acetato por microorganismos acetogénicos,

estos compuestos son más sencillos y pueden ser usados en la etapa de metanogénesis (FAO, 2011, p. 21). Se producen dos mecanismos diferentes para producir ácido acético, las cuales son: acetogénesis con hidrogenación, este reduce el CO₂ y H₂ para producir acetato y la acetogénesis por des hidrogenación este cataliza CO₂ y H₂ para producir acetato, pero aquí los microorganismos se inhiben con poca cantidad de O₂ y utilizan para este proceso la ruta del acetyl-CoA (Corrales, et al., 2015, p. 66). En esta etapa se realizan varias reacciones, las cuales se presentan en el Gráfico 2-1.

<i>Reacciones acetogénicas</i>	$\Delta G^{o'}$ (KJ)
<i>Etol y láctico</i>	
$Etanol + H_2O \rightarrow Acetato + H^+ + 2H_2$	+9,6
$Lactato^{-1} + 2H_2O \rightarrow Acetato^{-1} + H^+ + 2H_2 + HCO_3^-$	-4,2
<i>Acidos Grasos</i>	
$Acetato^{-1} + 4H_2O \rightarrow H^+ + 4H_2 + 2HCO_3^-$	+104,6
$Propionato^{-1} + 3H_2O \rightarrow Acetato^{-1} + HCO_3^- + H^+ + 3H_2$	+76,1
$Butirato^{-1} + 2H_2O \rightarrow 2Acetato^{-1} + H^+ + 2H_2$	+48,1
$Valerato^{-1} + 3H_2O \rightarrow 3Acetato^{-1} + 2H^+ + 4H_2$	+96,2
<i>Aminoácidos</i>	
$Alanina + 3H_2O \rightarrow Acetato^{-1} + HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2H_2$	+7,5
$Aspartato^{-1} + 4H_2O \rightarrow Acetato^{-1} + 2HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2H_2$	-14,0
$Leucina + 3H_2O \rightarrow isovalerato^{-1} + HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2H_2$	+4,2
$Glutamato^{-1} + 4H_2O \rightarrow propionato^{-1} + 2HCO_3^- + NH_4^+ + H^+ + 2H_2$	-5,8
$Glutamato^{-1} + 7H_2O \rightarrow acetato^{-1} + 3HCO_3^- + NH_4^+ + 3H^+ + 5H_2$	+70,3

Gráfico 2-1: Reacciones acetogénicas que ocurren dentro de un sistema anaeróbicos.
Fuente: (Martí Ortega, 2006, p. 8)

1.4.5. Etapa metanogénica

Este es el paso final y el más importante del proceso de digestión anaerobia, donde se tiene como producto final CH₄, para esto actúan bacterias estrictamente anaerobias consideradas las más importantes del consorcio bacteriano, las cuales procesan los productos obtenidos de las anteriores etapas, por esta razón a esta etapa también se la denomina biometanización (FAO, 2011, p. 22). Esta

etapa se da a partir de 2 rutas, siendo la primera la etapa acetoclástica se caracteriza por que los microorganismos aumentan debido a la presencia de acetato como sustrato, y la etapa de hidrogenotrófica se caracteriza por que los microorganismos crecen debido a la presencia de CO₂ y H₂ en el sustrato, este integra vías bioenergéticas y vías biosintéticas para la producción de ATP (Corrales, et al., 2015, p. 66). Para producir CH₄ los microorganismos anaeróbicos utilizan como sustrato los monosacáridos, los átomos de carbono unidos al acetato con enlace covalentes, H₂, CO₂, metanol y algunas metilaminas, en esta etapa ocurre una gran cantidad de reacciones las cuales se detallan las principales en el Gráfico 3-1.

<i>Reacciones hidrogenotróficas</i>	<i>ΔG°(KJ)</i>
$4H_2 + H^+ + 2HCO_3^- \rightarrow \text{Acetato} + 4H_2O$	-104,6
$4H_2 + 4S^o \rightarrow 4HS^- + 4H^+$	-112
$4H_2 + 2HCO_3^- + H^+ \rightarrow CH_4 + 3H_2O$	-135,6
$4H_2 + 4SO_4^{2-} + H^+ \rightarrow HS^- + 4H_2O$	-151,9
$4H_2 + 4 \text{ fumarato} \rightarrow 4 \text{ succinato}$	-344,6
$4H_2 + NO_3^- + 2H^+ \rightarrow NH_4^+ + 3H_2O$	-599,6
<i>Interconversión formato-hidrógeno</i>	
$H_2 + HCO_3^- \rightarrow \text{formato} + H_2O$	-1,3
<i>Metanogénesis acetoclástica</i>	
$\text{Acetato} + H_2O \rightarrow HCO_3^- + CH_4$	-31,0
<i>Metanogénesis a partir de otros sustratos</i>	
<i>Fórmico</i>	
$4HCOOH \rightarrow CH_4 + 3CO_2 + 2H_2O$	
<i>Metanol</i>	
$4CH_3OH \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O$	
<i>Trimetil-amina</i>	
$4(CH_3)_3N + 6H_2O \rightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3$	
<i>Dimetil-amina</i>	
$2(CH_3)_2NH + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2NH_3$	
<i>Monometil-amina</i>	
$4(CH_3)NH_2 + 2H_2O \rightarrow 3CH_4 + CO_2 + 4NH_3$	

Gráfico 3-1: Reacciones metanogénicas (principales).

Fuente: (Martí Ortega, 2006, p. 9)

1.4.6. Reactores usados en modelos de digestión anaerobia

Estos son reactores que debido a sus características son usados para la digestión de residuos orgánicos de cualquier tipo, para llevar a cabo un proceso anaerobio y obtener el producto deseado, sea este biogás o fango enriquecido (BiodiSol, 2010). Según el “Manual del biogás” (FAO, 2011, pp. 84-

94), estos se clasifican según su velocidad, los reactores de baja velocidad no controlan parámetros tales como temperatura, TR (tiempo de retención) y tiene una carga orgánica baja. Los sistemas de alta velocidad tienen un ingreso de alta carga orgánica, y los parámetros ambientales se encuentran controlados.

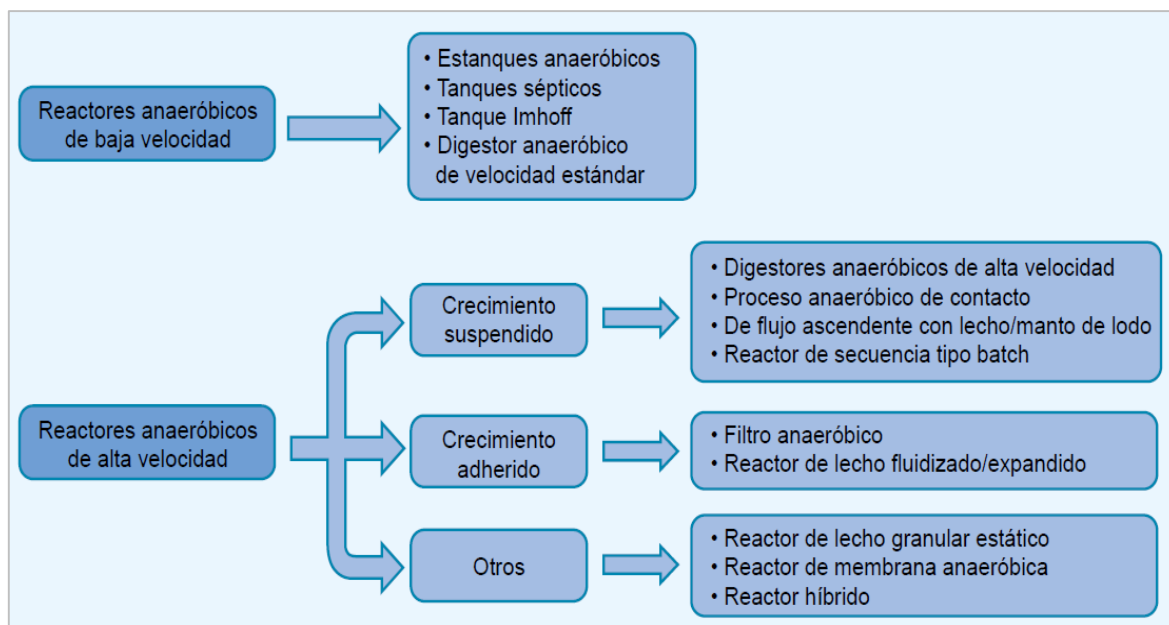


Gráfico 4-1: Clasificación de los reactores anaerobios.

Fuente: (FAO, 2011, p. 85)

Los digestores también se pueden clasificar en función de su capacidad para mantener altas concentraciones de microorganismos (BESEL, S.A, 2007, p. 25). El reactor de mezcla completa sin recirculación tiene un sistema de agitación que mantiene una distribución uniforme, siendo agitación mecánica o neumática cuidando que la velocidad de agitación no sea violenta, tiene un alto TR, mantiene un régimen estacionario como se muestra en el Gráfico 4-1. El sistema discontinuo tiene una curva de evolución temporal de producción de biogás y la curva de crecimiento microbiano siguen la misma tendencia, el TR no tiene un sentido específico, así que solo se habla de tiempo de digestión. Para conseguir una producción de biogás cercano a la continuidad se debe combinar varios reactores discontinuos, estos reactores se utilizan en residuos con una alta concentración de SV los cuales dificultan la adopción de sistemas de bombeo (BESEL, S.A, 2007, p. 29).

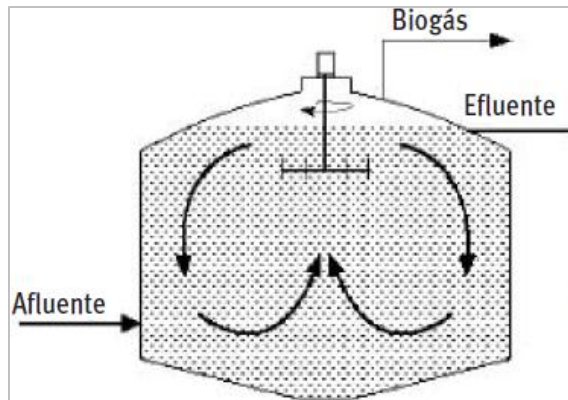


Gráfico 5-1: Reactor de mezcla competitiva sin recirculación.
Fuente: (BESEL, S.A, 2007, p. 26)

1.4.7. Inhibidores de codigestión anaerobia

Estos parámetros están dirigidos directamente para el proceso de metanogénesis, ya que los microorganismos que actúan en esta etapa son muy sensibles a los cambios en las condiciones ambientales, por esta razón los procesos anaeróbicos necesitan un constante monitoreo para así aprovechar al máximo la producción de biogás de la mejor calidad (FAO, 2011, p. 29).

- **Naturaleza y composición bioquímica del sustrato**

El sustrato utilizado en el proceso de digestión anaerobia debe brindar la cantidad de nutrientes necesarios para el óptimo desarrollo de los microorganismos, este no solo debe proporcionar una fuente de carbono y nitrógeno, sino que debe existir un equilibrio de sales minerales tales como níquel, azufre, selenio, fósforo, cobalto, calcio, zinc, hierro, magnesio, manganeso y otras que se encuentran en trazas. Los sustratos con alto contenido de lignina necesitan un tratamiento previo (compostaje, cortado, macerado) con el fin de eliminar al máximo toda sustancia susceptible a formar incrustaciones de lignina en el sustrato, esto debido a que en su estructura la lignina no puede ser aprovechada directamente por los microorganismos que actúan en los procesos anaerobios (FAO, 2011, pp. 30-31). Diversos autores afirman que la relación C:N (Carbono : Nitrógeno) debe variar entre 15-30:1 y la relación C:P (Carbono : Fósforo) debe ser de 75-113:1, esto para lograr un rango óptimo de producción de biogás (Martí Ortega, 2006, p. 15).

- **Sólidos volátiles y sólidos totales**

La cantidad de ST (sólidos totales) contenido en el sustrato cumplen un papel importante debido a que este limita la movilidad de los microorganismos metanogénicos dentro del sustrato, esto conlleva a que mientras crezca la cantidad de ST contenidos en el sustrato, el crecimiento microbiano decrezca, esto afectando directamente la producción del biogás, esto se corrige aumentando el volumen de agua necesario para bajar la concentración de ST, hasta llegar a la óptima. Los SV (sólidos volátiles) son los sólidos que se desprenden de los ST cuando estos son llevados a 600°C por 2 horas, estos son importantes ya que teóricamente estos sólidos son los que en el proceso anaerobio se convierten en metano (FAO, 2011, pp. 38-39).

- **Temperatura**

La velocidad en la que se realizan las reacciones tienen relación directa con la temperatura del proceso, ya que mientras se eleva la temperatura del proceso, la velocidad de reacción y el crecimiento microbiano también aumenta, por lo tanto, acelera el proceso de producción de biogás; en implementación de digestores este es un parámetro principal de diseño debido a que este parámetro influye directamente a la velocidad del proceso (Martí Ortega, 2006, p. 10). Existen 3 rangos de temperatura en la que operan los digestores anaerobios que está directamente relacionado con u_{max} (velocidad máxima específica de crecimiento), los cuales se detallan en la Tabla 3-1.

La alta temperatura en el proceso favorece a la transferencia líquido-gas, actuando sobre gases como NH_3 (amoníaco), H_2 , y H_2S (ácido sulfhídrico) ya que dichos gases son tóxicos para el crecimiento microbiano, también debido a la alta temperatura eleva la solubilidad de las sales en el sustrato volviéndolas más accesibles a los microorganismos; además baja la viscosidad del sustrato lo que implica mejor necesidad de agitación del sustrato. La alta temperatura afecta de forma negativa ya que desciende la solubilidad del CO_2 provocando un aumento de pH lo que provoca una elevada concentración de amonio en los lodos, a la vez aumenta la solubilidad de posibles tóxicos como AGV (ácidos grasos volátiles), amonio-amoníaco libre, los que pueden llegar a inhibir el proceso (FAO, 2011, pp. 39-40).

Tabla 3-1: Rangos de temperatura.

Fermentación	Mínimo (°C)	Óptimo (°C)	Máximo (°C)	T. de fermentación
Psicrophilica	4-10	15-18	20-25	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20	25-35	35-45	30-60 días
Thermophilica	25-45	50-60	75-80	10-15 días

Fuente: (FAO, 2011, p. 39)

- **pH y alcalinidad**

Dependiendo de la etapa del proceso los niveles de pH varían según los siguientes valores:

- Etapa fermentativa: 7,2 – 7,4
- Etapa acetogénica: 7,0 – 7,2
- Etapa metanogénica: 6,5 – 7,5

Los valores deben rondar en torno a la neutralidad, teniendo un valor mínimo de 6,0 y máximo 8,0, ya que el pH no solo determina la producción de biogás sino principalmente la composición de este, al bajar el pH a menos de 6,0 existe una producción de CH₄ muy baja, por lo que la calidad del biogás es mala (Martí Ortega, 2006, pp. 11-12). La alcalinidad es la capacidad de mantener en equilibrio el pH en el proceso (capacidad tampón), ya que al experimentar caídas de pH sobre 8,0 cambia el NH₄ a formas más tóxicas como NH₃; uno de los factores que puede provocar una caída de pH es la acumulación de AGV y por la acumulación de CO₂ llegando a ser tóxico para el proceso (FAO, 2011, pp. 43-45).

- **Otros inhibidores**

En la etapa de metanogénesis, los microorganismos presentes en esta etapa son estrictamente anaerobios lo que significa que la presencia de oxígeno es tóxica, concentraciones de 1µg/l son inhibitoras, a pesar de esto existen otros inhibidores que detienen el proceso momentáneamente hasta que los microorganismos se adapten (FAO, 2011, p. 49), los cuales se detallan a Tabla 4-1.

Tabla 4-1: Otros inhibidores del proceso de digestión anaerobia.

Inhibidor	Concentración inhibidora (mg/l)
SO ₄ ⁻	5000
NaCl	40000
NO ₃ ⁻	0,05
Cu	100
Cr	200
Ni	200-500
CN ⁻	25
Na	3500-5500
K	2500-4500
Ca	2500-4500
Mg	1000-1500

Fuente: (FAO, 2011, p. 49)

En el proceso de digestión anaerobia existen inhibidores y/o tóxicos que altera el proceso, cambiando los resultados esperados, estos pueden venir en la materia prima que forma el sustrato o se pueden formar a partir de procesos químicos internos (Fernández Villagómez, et al., 2002, p. 68), entre los principales inhibidores tenemos:

- **Potencial redox:** Para mantener un adecuado crecimiento microbiano en procesos anaeróbicos se necesita mantener un potencial redox de -220 mV a -350 mV, esto para mantener un ambiente fuertemente reducido para un óptimo funcionamiento de los microorganismos metanogénicos (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005, p. 37).
- **Ácidos grasos volátiles (AGV):** Es el parámetro más usado en sistemas de control debido a que tiene una respuesta rápida a las variaciones del sistema, estos indican la evolución del proceso ya que con regularidad se producen como productos intermedios del proceso anaeróbico, ya que durante la etapa de hidrólisis la materia orgánica pasa a compuestos de bajo peso molecular, entre ellos ácidos grasos de cadena corta como ácido acético, propiónico y butírico (Martí Ortega, 2006, p. 12); para que se realice un proceso óptimo de digestión anaerobia la concentración de AGV debe oscilar en un rango de 50-250 mg AGV/l, pero cuando la relación de simbiosis entre

metanogénicos y acetogénicos se rompe y se produce una acumulación de AGV, ya que este parámetro inhibe el crecimiento de microorganismos metanogénicos (FAO, 2011, p. 47).

- **Nitrógeno amoniacal:** El amónico deriva de la hidrólisis del nitrógeno orgánico contenido en el sustrato, las proteínas producen el 16% de nitrógeno en el sustrato y aunque es un nutriente esencial para el crecimiento microbiano en exceso puede inhibir el crecimiento de los mismos (Martí Ortega, 2006, p. 13). Considerando que nitrógeno amoniacal es la suma de NH_4 y NH_3 , las dos encontrándose en equilibrio químico dependiendo del pH, la cantidad óptima de nitrógeno amoniacal se detalla en la Tabla 5-1.

Tabla 5-1: Concentración óptima de nitrógeno amoniacal en sustratos.

Nitrógeno amoniacal	Efecto
50-100	Beneficioso
200-1000	Sin efectos adversos
1500-3000	Efecto inhibitor a niveles de pH altos
Sobre 3000	Tóxico

Fuente: (FAO, 2011, p. 48)

- **Hidrógeno:** Es un parámetro que aparece como producto intermedio en las reacciones anaeróbicas, este inhibe la etapa de acetogénesis y provoca la acumulación de AGV con más de 2 átomos de C (carbono) (Martí Ortega, 2006, p. 13).
- **Sulfuros y sulfatos:** La presencia de estos componentes puede afectar directamente a la etapa de metanogénesis, ya que en presencia de sulfatos las bacterias metanogénicas compiten con las sulfo-reductoras por el sustrato compuesto por acetato e hidrógeno, dando como resultado una alta concentración de gas H_2S y baja concentración de CH_4 en el biogás producto. La presencia de sulfuros solubles en el sustrato provoca la reducción del crecimiento microbiano en general, pero especialmente el decrecimiento de la población de microorganismos metanogénicos, considerando que una concentración igual o mayor a 50mg/l ya es tóxica para todo el proceso (FAO, 2011, p. 48).
- **Metales pesados:** La presencia de metales pesados es una problemática que tiene que enfrentar los procesos anaeróbicos, debido a su alta vulnerabilidad, llegando a detenerse completamente

la producción de biogás por presencia de estos, la toxicidad de estos depende de la forma química que adopten estos en el sustrato y el nivel de pH que este tenga, siendo peligrosos cuando se encuentran en forma de iones libres y exceda la concentración permitida (Fernández Villagómez, et al., 2002, p. 68), los cuales se detallan en la Tabla 6-1.

Tabla 6-1: Concentración en mg/l de metales pesados inhibidores.

Sustancia	Inhibición	
	Moderada	Fuerte
Na ⁺	3500-5500	8000
K ⁺	2500-4500	12000
Ca ²⁺	2500-4500	8000
Mg ²⁺	1000-1500	3000
Cobre	200	200-0,5 (soluble)
Cromo VI	-	50-70 (total) 3 (soluble)
Cromo III	-	200-260 (total)
Níquel	-	180-420 (total) 2 (soluble)
Zinc	-	30 (total) 1 (soluble)

Fuente: (Fernández Villagómez, et al., 2002, p. 68)

1.5. Metano

La digestión anaerobia tiene varios subproductos que se obtienen después de acabar el proceso, considerando que el proceso tenga una alta carga orgánica y exista una mezcla completa. El principal producto que se obtiene es el biogás, el cual es una mezcla gaseosa de metano, dióxido de carbono y una pequeña cantidad de otros gases como H₂S, H₂, NH₃, N₂ y O₂, la composición del biogás y el volumen de metano depende del sustrato y de la calidad del proceso, en la Gráfico 6-1 se detalla el posible volumen de producción de metano a partir de diferentes sustratos. Un segundo subproducto que se obtiene es el efluente en cual consiste en una mezcla de efluentes estabilizados y biomasa microbiana producida, este efluente tiene una carga orgánica pero mucho más mineralizado mucho menos a la del sustrato inicial, lo que conlleva a un aumento de nitrógeno amoniacal y la disminución del nitrógeno orgánico el cual puede ser usado como fertilizante. (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005, pp. 45-47).

El metano está formado por un átomo de carbono (C) al que se adhiere a 4 átomos de hidrógeno (H), considerado el hidrocarburo más simple, en una temperatura ambiente se comporta como gas y se halla presente en la atmósfera. Con la tecnología actual la captación de CH₄ es una práctica de bajo costo con alta rentabilidad, ya que proporciona múltiples beneficios tales como: reducción de costos, reducción de emisiones, reducción de emisiones de residuos orgánicos a vertederos, atenuar el cambio climático, mejoramiento de las condiciones ambientales, disminución de emisiones de SV, reducción del ozono troposférico, sustitución del combustible fósil (Global Methane Initiative, 2010, p. 2). Se utiliza en la industria química como materia prima para la fabricación de productos sintéticos a partir de material orgánico, se ha demostrado que es una alternativa a fuentes energéticas el cual posee un poder calorífico de 5,5 kcal/m³ aproximadamente (Melendi, 2000).

Componente	Residuos agrícolas	Lodos de depuradora	Residuos industriales	Gas de vertedero
Metano	50-80 %	50-80 %	50-70 %	45-65 %
Dióxido de carbono	20-50 %	20-50 %	30-50 %	34-55 %
Agua	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrógeno	0-2 %	0-5 %	0-2 %	0-1 %
Sulfuro de hidrógeno	100-700 ppm	0-1 %	0-8 %	0.5-100 ppm
Amoníaco	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas
Monóxido de carbono	0-1 %	0-1 %	0-1 %	Trazas
Nitrógeno	0-1 %	0-3 %	0-1 %	0-20 %
Oxígeno	0-1 %	0-1 %	0-1 %	0-5 %
Compuestos orgánicos	Trazas	Trazas	Trazas	5 ppm (terpenos, esterese...)

Gráfico 6-1: Composición del biogás en función del sustrato usado.

Fuente: (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005, p. 46)

1.5.1. Utilidad del metano

El metano ocupa el segundo puesto en la lista de gases que provocan el efecto invernadero en el mundo, pero la molécula de este gas tiene la característica de ser 21 veces más contaminante que una molécula de CO₂ (Comisión Europea, 2003, p. 2). La principal fuente de emisión de metano es la degradación anaerobia producida en botaderos de basura (SoCalGas, 2012), este al no ser un proceso controlado las emisiones se van directamente al aire aumentan los niveles de metano y desaprovechando la utilidad de este gas; el uso que tiene este gas es muy amplio, ya que es un combustible este puede ser usado en labores de cocina, calentadores de agua, e incluso se puede adaptar para que el metano ayude en procesos industriales, pero el uso que mayoritariamente se le

da es como combustible para motores de generación eléctrica (Carmona, et al., 2005, pp. 50-51), a continuación se detalla las fuentes de producción de metano:

- **Combustible fósil:** Este se encuentra en yacimientos de combustible fósil, también se forma a partir de la combustión incompleta de combustible fósiles o combustibles tipo carbono (Agencia Europa de Medio Ambiente, 2014).
- **Vertederos:** Los residuos al ser dispuestos al aire libre y al no ser separados dependiendo del tipo provoca que la descomposición de materia orgánica presente genere grandes cantidades de CH₄, los cuales son emitidos directamente a la atmosfera.
- **Criaderos de animales:** Animales como vacas, ovejas, cabras (rumiantes) emiten al ambiente gran cantidad de CH₄, el cual lo producen por su proceso de digestión, otra forma de emisión es la producida por el estiércol de animales de granja, para esto los dueños de dichas granjas tienen sistemas de tratamiento, en los que se puede encontrar sistemas de aprovechamiento de metano para diferentes procesos.

1.6. Modelo de Simulación de procesos PSM

El modelo de simulación PSM está basado en el modelo ADM-1 el cual fue desarrollado por el grupo de tareas de modelado de digestión anaerobia de la International Water Association (IWA), ya que en el 8° Congreso Mundial de Digestión Anaerobia realizado en 1997 Sendai-Japón se estableció la necesidad de desarrollar un modelo generalizado de digestión anaerobia; la descripción del modelo ADM-1 está publicado en el reporte científico-técnico número 13 de la IWA en el 2002 (Ortiz Cabrera, 2015, pp. 20-24), el modelo consta de 5 pasos fundamentales los cuales son desintegración, hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, el primer paso de solubilidad extracelular se divide en desintegración e hidrolisis, el donde la desintegración consiste en un paso no biológico, aquí la materia orgánica e inorgánica ingresada se transforma en material particulado inerte, carbohidratos, lípidos y proteínas; la hidrolisis es un procesos enzimático donde ocurre 3 procesos en paralelo dando como resultado que carbohidratos, lípidos y proteínas se conviertan en monosacáridos, ácidos grasos de cadena larga y aminoácidos.

Posteriormente se describe el proceso que cumple 2 tipos de bacterias acidogénicas las cuales degradan los monosacáridos y aminoácidos en una mezcla de ácidos orgánicos H_2 y CO_2 (Hernández y Delgadillo, 2011, pp. 31-34), posteriormente un grupo de bacterias acetogénicas convierten los ácidos grasos de cadena larga, propionato, butirato y valerato en los ácidos orgánicos, los cuales son convertidos acetato H_2 y CO_2 ; las bacterias metanogénicas hidrogeno trópicas producen H_2 y las bacterias metanogénicas acetoplásticas producen acetato, posteriormente se realizan las siguientes etapas intracelulares las cuales ya están descritas anteriormente; para simular el proceso intracelular bioquímico se utilizó la ecuación de Monod la cual describe el consumo de cada sustrato.

En este modelo se representa la muerte celular con una cinética de primer orden, además se incluyó inhibidores como pH los cuales se representas en representó con ecuaciones empíricas e inhibidores como H_2 y amonio libre se representó con funciones no competitivas; en este modelo también se incluyó la descripción del proceso fisicoquímicos en reacciones ácido-base y ecuaciones de transición gas-líquido, todos los pasos descritos en el modelo se simulación están representados por ecuaciones de equilibrio ácido-base con un conjunto de ecuaciones algebraicas implícitas, donde se tiene 26 variables de estado dinámico, 19 procesos de cinética bioquímica, 3 procesos de transferencia gas-líquido y 8 variables algebraicas implícitas, dando como resultado 32 variables de estado dinámico y 6 procesos cinéticos de ácido-base por cada corrida.

PSM fue programada en Aspen Plus el cual es un programa que básicamente simula procesos químicos, el cual a más de realizar simulaciones de diagramas de flujo se puede realizar estimaciones de propiedades de compuestos, análisis de sensibilidad de variables de proceso, obtener especificaciones de diseño de procesos y la síntesis y análisis de procesos químicos. Esta, al igual que otros programas consta de una interface de usuario la cual se llama Aspen Plus User Interface, el cual está constituido por una barra de títulos, de menús de herramientas, un espacio de trabajo, una librería de modelos y una barra de estado (Aspen Tech, 2017)

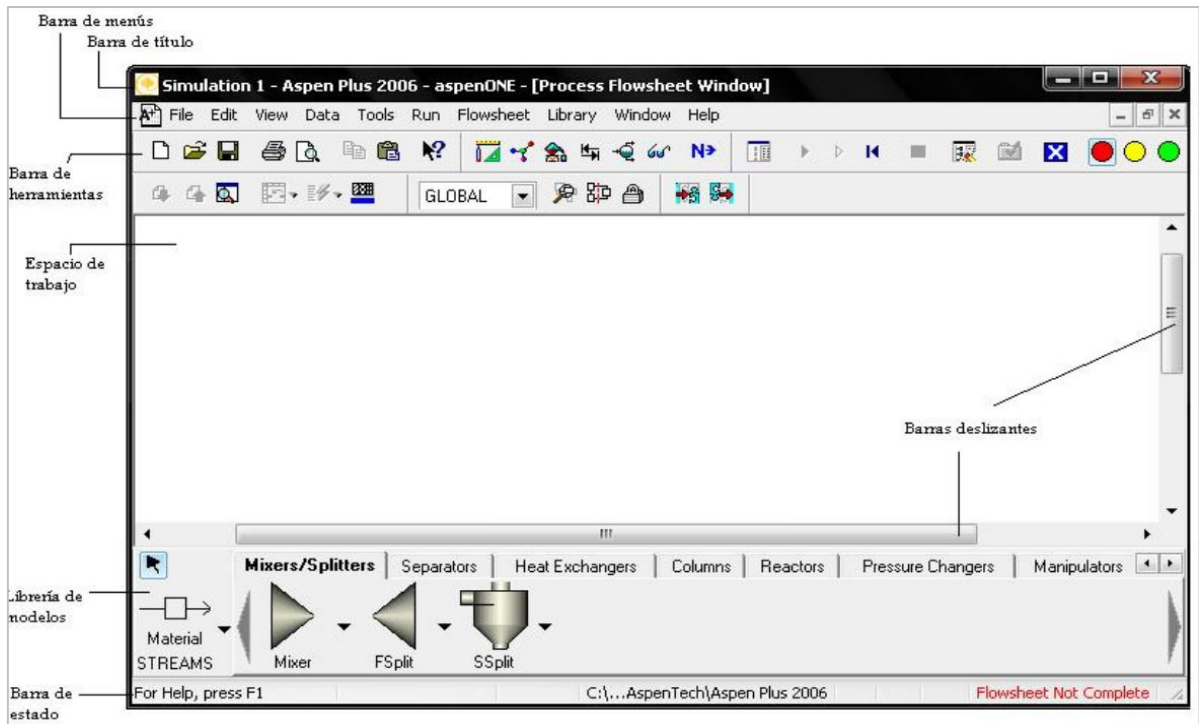


Gráfico 7-1: Ventana de Aspen Plus

Fuente: (Anon., 2011, p. <http://modeladoysimulacioneniqu.webnode.es>)

El modelo de simulación de procesos (PSM) siendo descrito por Rajendran, et al., (2014) tenido un rango de erros del $\pm 10\%$ el cual es un rango aceptable para este tipo de procesos de simulación, este es un modelo de simulación destinado a la estimación de producción de metano, a partir de procesos de cogestión anaerobia de cualquier tipo de residuos orgánicos, esto a partir de las características bromatológicas y físico químicas de los residuos; no se estima la producción de otros productos de la digestión debido a la complejidad del proceso (Rajendran, et al., 2014, pp. 7-13). PSM divide las reacciones de digestión en dos grupos de conjuntos de reacción:

Las reacciones de hidrólisis funcionan en torno al grado de reacción la cual se muestra en la Gráfico 8-1, esta muestra es la conversión fraccionada de reactivos en productos en una escala de 0,0-1,0, este es uno de los pasos limitantes de la velocidad en la digestión anaerobia (AD), se añadió un conjunto de reacción separado, con un conjunto de reacciones separado para la hidrólisis, el efecto del pretratamiento, que mejora la eficiencia de la hidrólisis en diferentes sustratos, podría estudiarse en PSM.

No.	Compound	Hydrolysis reaction
1	Starch	$(C_6H_{12}O_6)_n + H_2O \rightarrow n C_6H_{12}O_6$
2	Cellulose	$(C_6H_{12}O_6)_n + H_2O \rightarrow n C_6H_{12}O_6$
3	Hemicellulose	$C_5H_8O_4 + H_2O \rightarrow 2.5 C_2H_4O_2$
4	Hemicellulose	$C_5H_8O_4 + H_2O \rightarrow C_5H_{10}O_5$
5	Xylose	$C_5H_{10}O_5 \rightarrow C_5H_4O_2 + 3 H_2O$
6	Cellulose	$C_6H_{12}O_6 + H_2O \rightarrow 2 C_2H_6O + 2 CO_2$
7	Ethanol	$2 C_2H_6O + CO_2 \rightarrow 2 C_2H_4O_2 + CH_4$
8	Soluble protein	$C_{13}H_{25}O_7N_3S + 6 H_2O \rightarrow 6.5 CO_2 + 6.5 CH_4 + 3 H_3N + H_2S$
9	Insoluble protein (I.P)	$I.P + 0.3337 H_2O \rightarrow 0.045 C_6H_{14}N_4O_2 + 0.048 C_4H_7NO_4 + 0.047 C_4H_9NO_3 + 0.172 C_3H_7NO_3 + 0.074 C_5H_9NO_4 + 0.111 C_5H_9NO_2 + 0.25 C_2H_5NO_2 + 0.047 C_3H_7NO_2 + 0.067 C_3H_6NO_2S + 0.074 C_5H_{11}NO_2 + 0.07 C_6H_{13}NO_2 + 0.046 C_6H_{13}NO_2 + 0.036 C_9H_{11}NO_2$
10	Triolein	$C_{57}H_{104}O_6 + 3 H_2O \rightarrow C_3H_8O_3 + 3 C_{18}H_{34}O_2$
11	Tripalmitate	$C_{51}H_{98}O_6 + 8.436 H_2O \rightarrow 4 C_3H_8O_3 + 2.43 C_{16}H_{34}O$
12	Palmito-olein	$C_{37}H_{70}O_5 + 4.1 H_2O \rightarrow 2.1 C_3H_8O_3 + 0.9 C_{16}H_{34}O + 0.9 C_{18}H_{34}O_2$
13	Palmito-linolein	$C_{37}H_{68}O_5 + 4.3 H_2O \rightarrow 2.2 C_3H_8O_3 + 0.9 C_{16}H_{34}O + 0.9 C_{18}H_{32}O_2$

Gráfico 8-1: Lista de reacciones de hidrólisis incluida en PSM.

Fuente: (Rajendran, et al., 2014, p. 8)

Este grupo se constituye reacciones de otras fases (reacciones acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas) en el DA que funcionan sobre una base cinética, la Gráfico 9-1 muestra el diagrama de flujo de bloques del PSM. Las constantes cinéticas de las reacciones se obtuvieron a partir de modelos anteriores, tales como ADM-1 y modelos completos, las reacciones de ADM-1 que no se resolvieron para la estequiometría, se equilibraron en PSM, las ecuaciones de hidrólisis se incluyeron como carbohidratos, proteínas y grasas en el conjunto de reacción. Los carbohidratos se incorporaron como celulosa, almidón y hemicelulosas, las proteínas se añadieron basándose en su solubilidad, tales como proteínas solubles y proteínas insolubles, las grasas compuestas de tripalmato, trioleina, palmito-oleina y palmitolinoleina se pueden introducir en PSM, en el conjunto de reacción, se añadió un subconjunto diferente de reacciones para calcular la cinética de las reacciones.

Cada subconjunto tiene un programa FORTRAN para determinar la tasa de reacciones en fases acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas, en total se utilizaron diez subconjuntos o bloques de calculadora diferentes para las reacciones de glicerol, ácido valérico, ácido butírico, ácido propiónico, ácido linoleico, aminoácidos, azúcares, ácido palmítico, ácido oleico, metanogénesis e hidrógeno. Las soluciones repetitiva se obtuvieron haciendo pasar la salida del conjunto de reacción al conjunto de reacción, que funcionaba en reacciones cinéticas, los resultados generados por PSM son una tabla de flujos con balance de masa y energía, donde se puede calcular la cantidad de producción de biogás, en cada bloque de calculadora las inhibiciones en forma de pH, temperatura y amoníaco se incrustaron como bucles lógicos. Para cada entrada fresca o reciclada, los bloques calculan la velocidad de cada reacción haciendo así que la simulación se aproxime a la realidad, además, parámetros del proceso tales como OLR, el volumen del reactor y HRT se arraigaron en el

modelo que cubre los parámetros importantes en la producción de biogás. (Rajendran, et al., 2014, pp. 8-10)

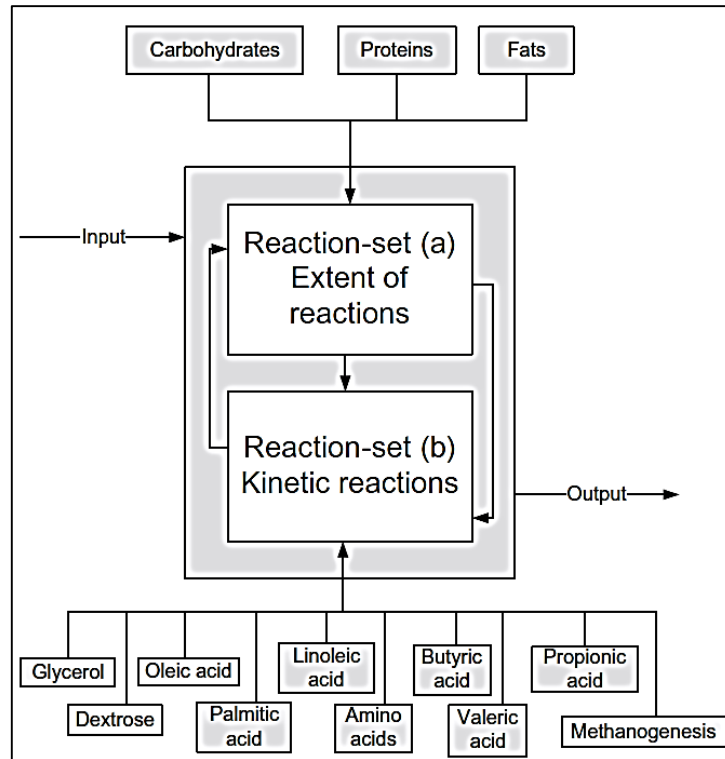


Gráfico 9-1: Diagrama de flujo de bloques del PSM.
Fuente: (Rajendran, et al., 2014, p. 9)

1.7. Producción de energía eléctrica

A partir del metano producido teóricamente en el modelo de simulación se realizó una estimación de la generación de energía eléctrica utilizando ecuaciones descritas posteriormente en metodología, por lo se define energía eléctrica a una forma de energía la cual tiene como cualidad que es fácil de controlar, es un tipo de energía limpia y tiene la característica que es fácil su transformación de energía en trabajo, llegando a ser la energía casi perfecta, pero el problema de la energía eléctrica es su difícil almacenamiento (TWENERGY, 2017). Para que exista el transporte de electrones a través del cable conductor es necesario una pila o un generador, dependiendo del caso, el cual impulse el movimiento de los electrones en un sentido determinado, este sigue el principio de conservación de energía en donde dice que la energía no se crea ni se destruye, solo se transforma, la energía eléctrica se transforma en energía lumínica, térmica o mecánica (Fajardo, 2008, pp. 1-3).

La energía se puede producir a partir de diferentes fuentes, entre la que tenemos al combustionar metano, este método de producción de energía eléctrica está ligado directamente con un generador eléctrico, ya que estos usan un combustible como fuente de energía para mover su rotor interno, dependiendo del tipo de generador se tiene las características de la energía eléctrica obtenida. Para esta estimación se utilizó el dato de rendimiento de producción de un generador eléctrico estándar, por lo que se define generador eléctrico a una máquina capaz de transformar energía mecánica a través de un campo magnético y convertir el movimiento en energía eléctrica, esto se produce por la acción de dicho campo sobre los conductores eléctricos sobrepuestos sobre el estator el cual cuenta con varias partes tales como la armadura metálica interior con hilos de cobre y el rotor esta acciona la turbina. El rotor forma un eje, el cual cuenta con circuitos que cuando pasa una pequeña cantidad de energía eléctrica estos se transforman en electroimanes, cuando el rotor gira a gran velocidad este produce energía eléctrica debido a la energía mecánica que se ejerce sobre la turbina, esta corriente proporciona al generador fuerza electromotriz la cual es capaz de producir energía eléctrica a cualquier sistema al que se conecte (Bulonfer, 2013, p. 1).

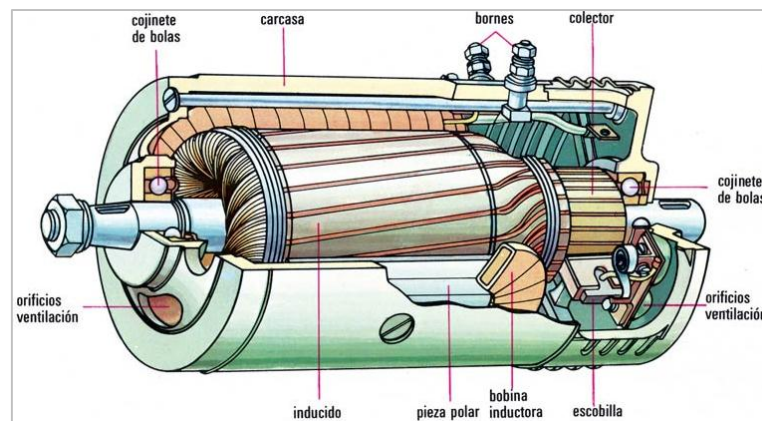


Gráfico 10-1: Generador de corriente continua.

Fuente: (Anon., 2011, pp. <http://www.webscolar.com/generadores-de-corriente-continua>)

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1. Mapa de mercados de Riobamba

Para reconocer cada uno de los 12 mercados de la ciudad de Riobamba se realizó una inspección diaria durante una semana con el fin de identificarlos y recolectar información de cada uno, tales como las coordenadas de los mercados, los días en los que laboran, tipo de residuos que generan y si existe clasificación de residuos, con el fin de identificar los posibles; los mercados fueron divididos en sectores para así realizar los recorridos para, recolectar datos se realizó en un lapso de 5 semanas como se muestra en la Tabla 1-2, con el fin de recorrer las instalaciones de los mercados en los mismos horarios para que cada inspección se realice al final la jornada de trabajo de los mercados (Tandukar y Pavlostathis, 2015, pp. 433-434).

Tabla 1-2: Fechas y horas de inspección en los 13 mercados de la ciudad de Riobamba.

Sector	Fecha	Nombre el mercado	Hora
1	13 de noviembre del 2016 – 19 de noviembre del 2016	La Esperanza 1	5:00
		La Esperanza 2	5:10
		Las Hierbas	5:20
2	20 de noviembre del 2016 – 26 de noviembre del 2016	Plaza Roja	5:00
		El Prado	5:15
		General Dávalos	5:30
3	27 de noviembre del 2016 – 3 de diciembre del 2016	La Merced	5:00
		San Francisco	5:10
		San Alfonso	5:30
4	4 de diciembre del 2016 – 10 de diciembre del 2016	Santa Rosa	5:00
		La Condamine	5:30
5	11 de diciembre del 2016 – 17 de diciembre del 2016	EP-EMMPA	5:00

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Se obtuvo la información mostrada en la Tabla 2-2, la cual nos muestra que EP-EMMPA San Pedro de Riobamba es el mercado con mayor flujo de gente en base al número de días de feria, y que es el único mercado donde se separan los residuos esto ayudó a la captación y manipulación de los residuos para los fines pertinentes.

Tabla 2-2: Características de los mercados de Riobamba.

Nº	Nombre el mercado	Días laborables	Días de feria – alto flujo de personas	Residuo de mayor generación
1	San Alfonso	7	2	Orgánicos
2	La Merced	7	2	Orgánicos
3	Santa Rosa	7	2	Orgánicos
4	La Condamine	7	2	Inorgánicos
5	La Esperanza 1	2	2	Inorgánicos
6	La Esperanza 2	3	2	Orgánicos
7	EP-EMMPA	7	4	Orgánicos
8	El Prado	7	2	Inorgánicos
9	Las Hierbas	2	2	Orgánicos
10	San Francisco	6	2	Orgánicos
11	Plaza Roja	7	2	Inorgánicos
12	General Dávalos	3	2	Orgánicos

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Para realizar el mapa de mercados se tomó las coordenadas de cada extremo de cada uno de los mercados, esto con ayuda de un GPS GARMIN modelo GPS Montana 680, estos datos fueron ubicados y etiquetados en el mapa usando el programa informático AUTOCAD 2017, se incluyó la información de diámetro y área. (SIG DIPROREN, 2014, pp. 7-11), teniendo como resultado del Gráfico 1-2, el cual mostró que el EP-EMMPA San Pedro de Riobamba es único mercado con un área tan extensa, como se muestra a continuación:

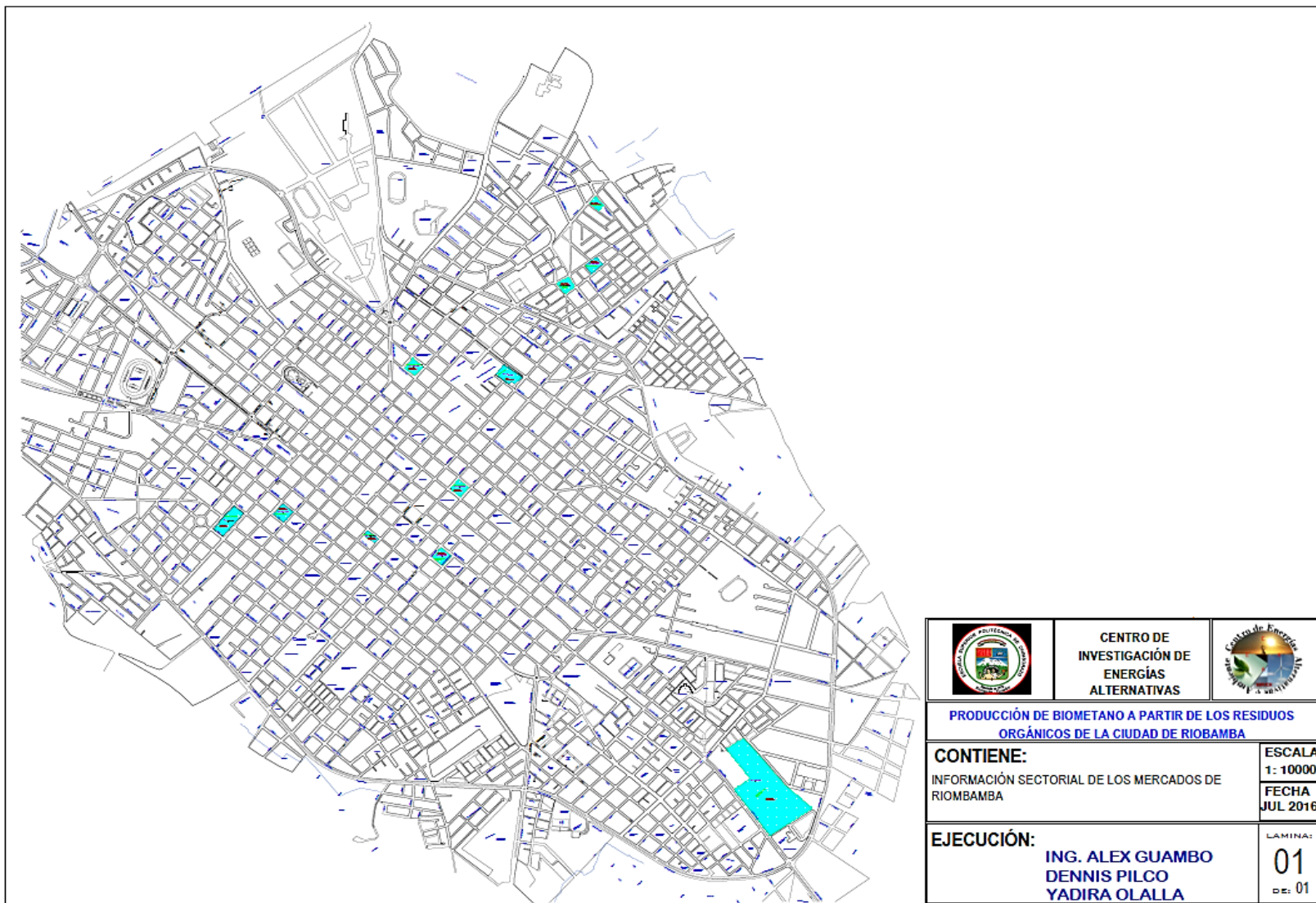


Gráfico 1-2: Informe sectorial de los Mercados de Riobamba.
Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

2.2. Lugar de estudio

2.2.1. EP-EMMPA San Pedro de Riobamba

Considerando los costos de procesamiento de datos, solo se seleccionó un solo mercado para realizar el estudio, ya que al considerar todos los costos serían muy altos, de esta manera se seleccionó a la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba debido a que es uno de los mercados con más afluencia de actividad comercial, siendo uno de los principales mercados de comercialización de la Sierra centro; su flujo de comercio es alto, teniendo 4 días de feria donde se tiene comerciantes de todas las localidades aledañas a Riobamba, los cuales trasladan sus productos para comercializarlos en este mercado como se muestra en el Gráfico 2-2.

Está ubicado en el cantón Riobamba en la zona 17 de América del sur con coordenadas UTM_WGS84 (763371,45 E; 9813509,83 S) delimitado por las calles Av. Leopoldo Freire y Av. Circunvalación. El mercado consta de 12 naves comercializadoras de productos agrícolas (tubérculos, vegetales, hierbas, frutas de la sierra etc.), 1 nave de frutas tropicales, 1 nave de productores (ropa, zapatos, artículos varios), 1 nave de pescados y ajos, y un centro comercial donde se comercializan abarrotes y alimentos procesados (EP-EMMPA PRODUCCIÓN PARA EL DESARROLLO, 2015, pp. 23-26).



Gráfico 2-2: EP-EMMPA San Pedro de Riobamba.
Fuente: (GOOGLE, 2017)

En la actualidad el mercado cuenta con un sistema de separación de residuos, sus autoridades han capacitado a los comerciantes en el uso adecuado de los tachos de basura y separación de residuos orgánicos e inorgánicos, multando a los que no cumplan con la norma, donde los tachos de las naves de comercialización están destinados al almacenamiento exclusivo de residuos orgánicos. Al final de día los residuos son recolectados por la empresa de recolección de basura de la ciudad de Riobamba, el cual mezcla los residuos orgánicos e inorgánicos para ser transportados al relleno sanitario para su disposición final, estos residuos no son aprovechados y se desperdicia su potencial.



Fotografía 1-2: EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, exteriores e interior de mercado.
Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

2.2.2. Selección de naves de estudio

La selección de las naves de muestreo en la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba se realizó en base al tipo de residuo que generan, el cual tiene relación directa con el tipo de producto que comercializa; se buscó información de la distribución de comercialización de productos en las naves, así de esta manera se eligió las naves en las que se realizó el estudio, con esto garantizando que el residuo que se use tenga las características necesarias.

En la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba se seleccionaron 13 naves de comercialización como se muestra en el Gráfico 3-2, de las cuales 12 naves comercializadoras de productos agrícolas (tubérculos, vegetales, hierbas, frutas de la sierra etc.), 1 nave de frutas tropicales, esto debido que estas naves generan los residuos con las características requerida, cada nave está destinada a la

comercialización de un determinado grupo de productos, cuya distribución está establecida por las autoridades de la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba como se muestra en la figura 6-2, cada nave tiene un número, el cual se encuentra visiblemente en la entrada principal y entrada de autos de cada nave.

Las naves de comercialización de pescados y de comida no se consideraron debido a que generan residuos orgánicos con altos contenidos grasos y difíciles de degradar, debido a esto los residuos necesitan un tratamiento previo de desgasificación para ser usados en procesos de cogestión anaerobia (Solarte Toro, et al., 2017, p. 108); las naves restantes se descartaron debido a que a simple vista generan gran cantidad de residuos inorgánicos debido a la actividad que realizan, y los residuos orgánicos que generan no tienen las características adecuadas ya que son residuos de comidas y alimentos procesados, además no se cumple con la normativa de clasificación y los residuos orgánicos e inorgánicos se encuentran mezclados.

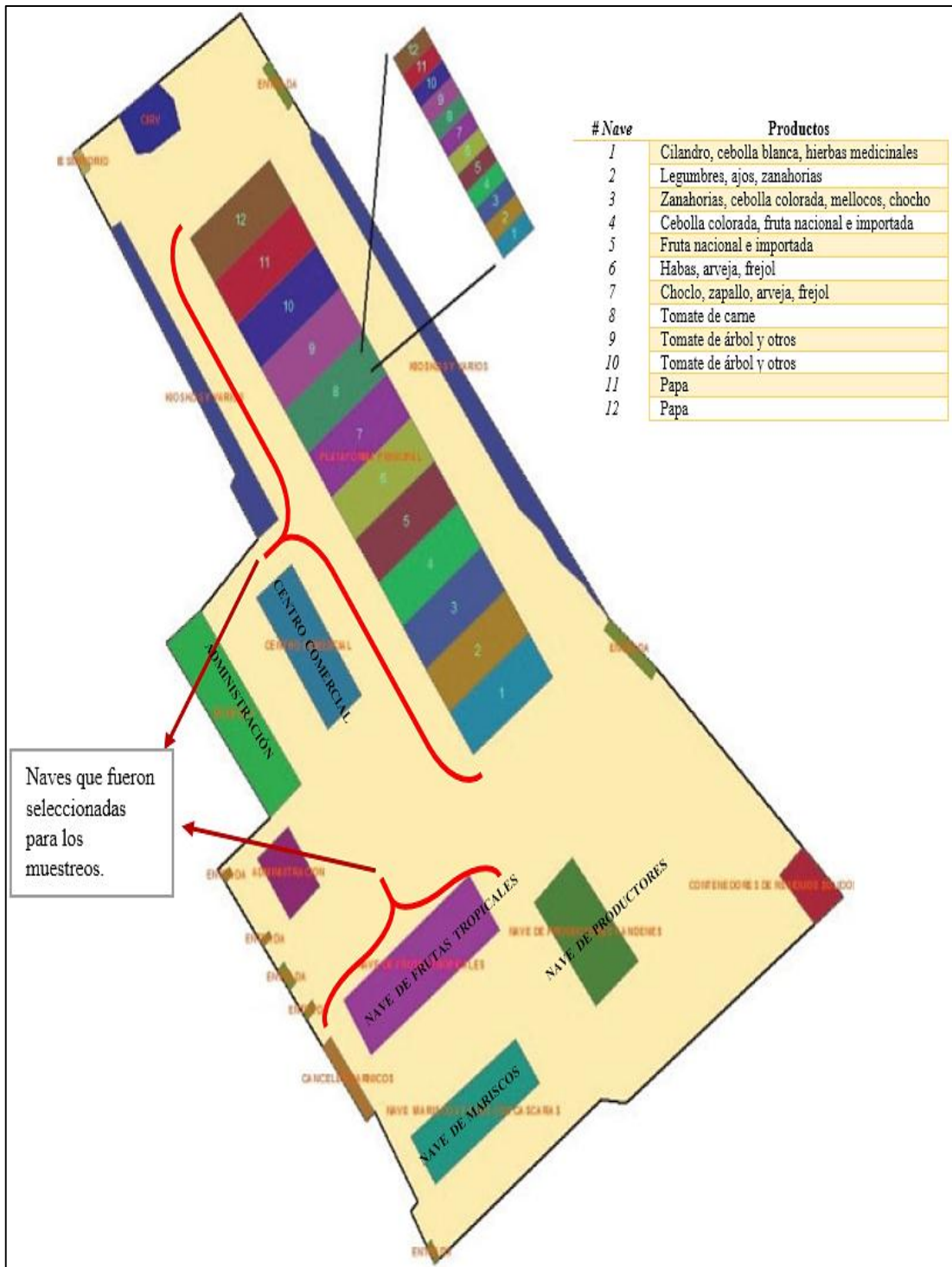


Gráfico 3-2: Naves de la EP - EMMPA en las que se realizó para muestreo.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Fuente: (EP-EMMPA PRODUCCIÓN PARA EL DESARROLLO, 2015, p. 47)

2.2.3. *Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Penipe*

Se consideró la planta de tratamientos de aguas residuales de la ciudad de Penipe, ya que los lodos digeridos debido a sus características son una fuente muy buena de microorganismos útiles para el proceso de codigestión anaerobia como se detalla anteriormente, además los lodos digeridos generados en la planta de tratamiento no son tratados de la manera más adecuada, los cuales son enterrados, colocado en las zonas aledañas a la planta o dispuestos directamente al río, así que es considerado un foco de contaminación y principalmente desaprovechando su potencial como sustrato para procesos de codigestión anaerobia, también se consideró que estos lodos tienen niveles de metales pesados muy bajos, considerando análisis previos que se muestran en el Anexo C los cuales no sobrepasan los noveles permitidos.

La planta está localizada en el cantón Penipe, entre la vía Riobamba-Penipe y el río Chambo, se encuentra a 2 kilómetros del parque central de la ciudad de Penipe, en la Zona 17 de América del Sur delimitada por las coordenadas UTM _WGS84 (774689,36 E; 9827489,60S) a una altura de 2 711m sobre el nivel del mar; esta planta está compuesta por 2 tanques imhoff, los cuales están colocados uno alado del otro.



Fotografía 2-2: Planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Penipe.
Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

2.3. Producción de residuos orgánicos de EP-EMMPA San Pedro de Riobamba

La determinación de la producción de residuos orgánicos de la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba tiene como finalidad la estimación de producción semanal exclusivamente de residuos orgánicos no procesados (frutas, vegetales, tubérculos, hierbas, etc.) del mercado y así determinar los días de mayor/menos producción y la disponibilidad del mismo para los fines pertinentes. Para determinar la producción diaria promedio de residuos orgánicos se pesó la cantidad de residuos generados en cada una de las 13 naves de comercialización de productos agrícolas (Sakurai, 1981, p. 8).

Los datos fueron recogidos al final de la jornada de comercialización del mercado, antes de la recolección de desperdicios, estos datos fueron registrados. A partir de estos se calculó la media diaria de producción de residuos orgánicos generados en la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba. Se eligió una semana comprendida entre el 20 de febrero del 2017 y 26 de febrero del 2017 debido a que es un mes en el que la temporada de producción de productos es regular, no existe una sobreproducción de productos de temporada, el muestreo se lo distribuyó de la siguiente manera detallada en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Fechas de muestreo de la producción de residuos orgánicos.

Día de muestreo	Hora de muestreo
Lunes (20 de febrero)	18:00
Martes (21 de febrero)	18:00
Miércoles (22 de febrero)	19:00
Jueves (23 de febrero)	18:00
Viernes (24 de febrero)	19:30
Sábado (25 de febrero)	20:00
Domingo (26 de febrero)	12:00

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

2.4. Muestras

El proceso de toma y análisis de muestras se realizó 3 veces, durante 3 semanas diferentes en días seleccionados al azar, con el fin de abarcar en lo posible las características de los productos que se comercializan en el mercado y evitar posibles errores.

2.4.1. Selección de los días y puntos de muestreo

Las fechas de inicio de los muestreos fueron elegidos en base a la fecha de disponibilidad de los laboratorios de Bromatología y de Calidad de Agua ESPOCH, en los que realizaron los análisis de las muestras tomadas; con la ayuda del programa informático EXCEL se eligió al azar los días en los que se realizó los muestreos, para esto se los distribuyó cada muestreo en un rango de 5 semanas para tener tiempo necesario para realizar los análisis, las fechas de muestreo se muestran en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Días elegidos para realizar los muestreos (2017).

DÍA SEMANA	1 L	2 M	3 M	4 J	5 V	6 S	7 D
(6-12 marzo)		x					
(13-19 marzo)							
(20-26 marzo)				x			
(27 marzo-2 abril)							
(3-9 abril)			x				

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Las naves de comercialización del EP-EMMPA San Pedro de Riobamba que se seleccionaron para realizar los muestreos fueron las mismas 13 naves seleccionadas para la determinación de la producción de residuos del mercado, debido a que dependiendo de las características del producto ofertante son los residuos generados por cada nave del mercado, y estas naves descritas anteriormente producen los residuos con las características necesarias para nuestro estudio. (EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, 2015).

Para determinar los puntos en los que se van a recoger las muestras de lodos, con la ayuda del programa informático AUTOCAD 2017 se dibujó una grilla sobre los 2 tanques Imhoff donde se almacenan los lodos digeridos, aquí se seleccionó 8 los cuales abarcan los 2 tanques, esto debido a que de esta manera tomaremos una muestra uniforme del fondo de los tanques y que represente las características de los 2 tanques de almacenamiento. (Zagal y Sadzawka , 2007, pp. 2-7)

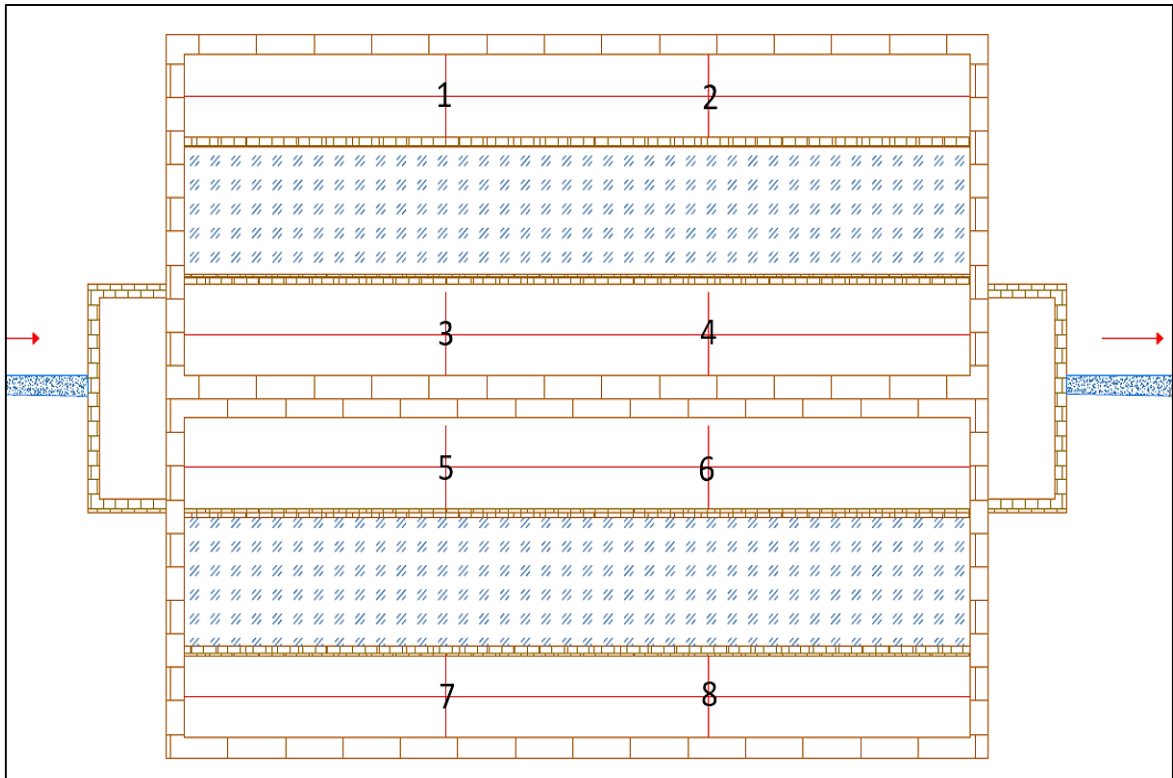


Gráfico 4-2: Puntos seleccionados al azar para muestreo de lodos digeridos.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

2.4.2. Toma de muestra

Se tomó una muestra que represente las características de los residuos orgánicos generados en el mercado, se optó por tomar una muestra compuesta ya que de esta manera la muestra final tendría las características de todas las naves seleccionadas del mercado; se tomó 0,5 kg de residuo por cada nave de producción, 13 muestras en total. Posteriormente estas muestras fueron triturada, mezcladas y homogenizadas en un recipiente, y finalmente tomó 1 kg de muestra, cual se colocó en una funda ziploc, ya que cada nave de producción del mercado está destinada a comercializar un determinado tipo de producto (Ministerio de Minas y Energía de Colombia , 2003, pp. 143-149). Cada muestra se tomó al final del día como se muestra en la Tabla 5-2, antes de que los residuos sean recolectados por los carros del sistema de recolección de basura de la ciudad.

Tabla 5-2: Fecha y hora de muestreo en EP-EMMPA San Pedro de Riobamba.

Muestreo de residuo orgánico	Fecha de muestreo	Hora de muestreo
Muestreo 1	7 de marzo del 2017	17:35 – 17:45
Muestreo 2	23 de marzo del 2017	18:10 – 18:25
Muestreo 3	5 de abril del 2017	18:45 – 18:55

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017



Fotografía 3-2: Muestreo de residuos orgánicos.

Fuente: Yadira E Olalla P. 2017

La toma de muestra de la planta de tratamiento de aguas residuales, se la realizó con la ayuda de una draga, con la cual se recogió los lodos del fondo de los tanques, los cuales se colocaron en un recipiente donde todas las muestras fueron mezcladas, de aquí se tomó 1 kg de muestra el cual se colocó en una botella limpia, con el fin de tener una muestra que represente las características de todo el tanque imhoff (Zagal y Sadzawka , 2007, p. 8). El muestreo se realizó en las horas de la mañana, para tener un fácil acceso al lugar, como se muestra en la Tabla 6-2, esto debido que es un lugar de difícil acceso y para ingresar a la planta de tratamiento se necesita la guía de un técnico del departamento de Ambiente del GADM Penipe.

Tabla 6-2: Fecha y hora de muestreo en la planta de tratamiento de aguas residuales.

Muestreo de residuo orgánico	Fecha de recolección	Hora de recolección
Muestreo 1	7 de marzo del 2017	09:35 – 09:50
Muestreo 2	23 de marzo del 2017	11:40 – 12:05
Muestreo 3	5 de abril del 2017	10:15 – 10:40

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017



Fotografía 4-2: Muestreo de lodos digeridos.

Fuente: Yadira E Olalla P. 2017

Una vez tomadas las muestras de lodo y residuos orgánicos, se las colocó en un cooler, el cual estaba previamente acondicionado con hielo, hasta ser transportados lo más pronto posible a los laboratorios de Bromatología y de Calidad de agua de la ESPOCH, con el fin de mantener las características propias de cada muestra y obtener los resultados de los análisis no nos arrojen resultados erróneos (Zagal y Sadzawka , 2007, p. 13).

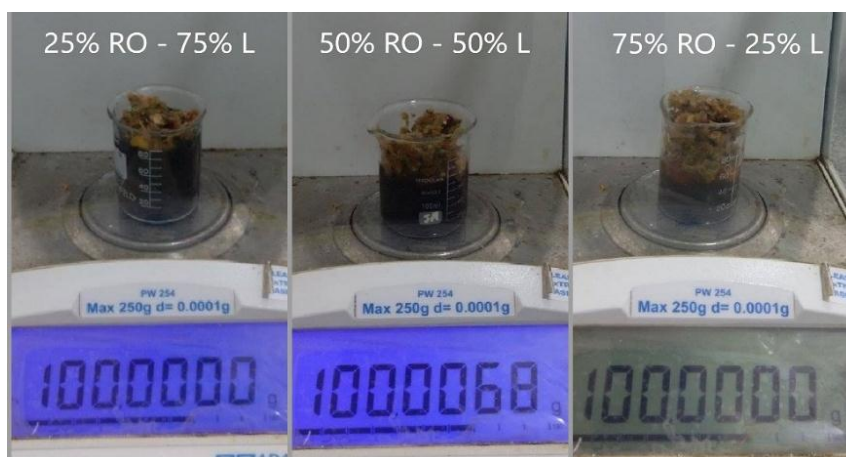
2.4.3. Preparación de las mezclas de residuos usados como sustrato

Para preparar las muestras se realizó 3 combinaciones de sustrato como se muestra en la Tabla 7-2, las proporciones de muestras fueron establecidas tomando en cuenta publicaciones previas donde las mezclas dieron buenos resultados en la producción de metano (Boulanger, et al., 2012, pp. 2258-2263), cada una de las muestras a analizar tuvieron un peso de 100 gramos. La muestra se conservó en refrigeración durante los análisis para que las características de la misma no cambien en el transcurso del tiempo y los resultados no se alejen de la realidad.

Tabla 7-2: Especificación para preparar 100 g de sustrato.

NÚMERO DE SUSTRATO	PROPORCIÓN DE MEZCLA (%)	PESO DE RESIDUOS ORGÁNICOS (g)	PESO DEL LODO (g)	PESO TOTAL (g)
S1	25%RO - 75%L	25	75	100
S2	50%RO - 50%L	50	50	100
S3	75%RO - 25%L	75	25	100

Realizado por: Yadirá E Olalla P. 2017



Fotografía 5-2: Pesaje de las mezclas de residuos orgánicos y lodos.

Realizado por: Yadirá E Olalla P. 2017

2.5. Análisis de muestras

Los análisis de las muestras se realizaron en los laboratorios de Bromatología y de Calidad de agua de la ESPOCH, a partir del día siguiente del muestreo debido a que el muestreo de residuos orgánicos se realizó en horas de la noche y los laboratorios solo están abiertos hasta la 5 de la tarde;

los análisis de las muestras fueron distribuidos en los laboratorios dependiendo de los equipos disponibles en los mismos y la factibilidad de realizar los análisis. Estos análisis se realizaron en un orden específico, en base al tiempo en que el parámetro se altera y a que algunos parámetros están ligados directamente a otro, por lo cual los análisis fueron distribuidos a lo largo de varios días, los cuales se especifican en la Tabla 8-2. Ya preparadas las mezclas de sustrato estas fueron homogenizadas y se procedió a realizar cada uno de los análisis requeridos, cuyas técnicas están detalladas en el Anexo F, donde cada método usado para cada parámetro fue tomado de las siguientes biografías Manual de análisis de agua (Hash Company, 2014, pp. 74-214), Fundamentos y Técnicas de análisis de alimentos (UNAM, 2007-2008, pp. 29-51), Manual de técnicas para laboratorio de nutrientes de pescados y crustáceos (Olvera Novoa, et al., 1993), Normas INEN (INEN, 2017), Manual de métodos generales para determinación de carbohidratos (Cristancho Cruz y Monroy Soler, 2014).

Tabla 8-2: Laboratorio, orden y fechas de análisis.

PARÁMETROS	LABORATORIO	ORDEN	ANÁLISIS - FECHA (año 2017)		
			1	2	3
DBO	Calidad de agua	1	Miércoles, 8 de marzo	Viernes, 24 de marzo	Jueves, 6 de abril
DQO					
Glucosa	Bromatología				
Cloruros	Calidad de agua	2	Jueves, 9 de marzo	Lunes, 27 de marzo	Viernes, 7 de abril
Humedad	Bromatología				
Cenizas					
Sólidos totales					
Sólidos volátiles					
Nitratos	Calidad de agua	3	Viernes, 10 de marzo	Martes, 28 de marzo	Lunes, 10 de abril
Nitritos					
N. amoniacal					
Fosfatos					
Nitrógeno total					
Grasas	Bromatología	4	Lunes, 13 de marzo	Miércoles, 29 de marzo	Martes, 11 de abril
Proteínas					
Fibra cruda	Bromatología	5	Martes, 14 de marzo	Jueves, 30 de marzo	Miércoles, 12 de abril
Extracto libre N					

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Los análisis físicos fueron realizados en el laboratorio de Calidad de agua de la ESPOCH, los cuales están detallados en la Tabla 9-2, con el fin de identificar los coeficientes cinéticos para cada etapa del proceso (Peris Serrano, 2011, pp. 33-36), debido que estos dependen del tipo de sustrato usado en el mismo; los coeficientes cinéticos varían por la presencia de inhibidores que afectan cada etapa del proceso, los cuales determinan la velocidad de cada reacción de las etapas, el tiempo de duración, el tipo y cantidad de producto que se obtendrá después de que se realice la reacción, todo eso en función al tipo de sustrato usado y las condiciones del proceso (Borja , et al., 1999, pp. 87-88). Estos constantes cinéticas fueron calculadas en base a las características del proceso y los resultados obtenidos de los análisis, estas constantes se ingresaron al modelo de simulación PSM utilizando el lenguaje de programación FORTRAN (The IBM Mathematical Formula Translating System). (Rajendran, et al., 2014, p. 9).

Tabla 9-2: Parámetros físicos analizados y métodos a considerar.

PARÁMETROS	MÉTODO STANDARD
DBO (mg/l)	5220-B
DQO (mg/l)	5220-C
Nitratos (mg/l)	4500-C
Nitritos (mg/l)	4500-B
Cloruros (mg/l)	2540-F
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	4500-F
Fosfatos (mg/l)	4500-P
Nitrógeno total (mg/l)	2540-D
Sólidos totales (mg/l)	Gravimétrico
Sólidos volátiles (mg/l)	Gravimétrico

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Los datos obtenidos en los análisis físicos se los utilizó en la programación de las constantes cinéticas de cada una de las etapas de proceso en el simulador, estas están programadas según bloques de entrada, esto debido que para este modelo PSM se utilizó como método de propiedades NRTL (modelo de los líquidos no aleatorios), lo cual garantiza la correlación residuos y facilitando la fase líquida y la fase gaseosa en la producción de biogás (Rajendra , et al., 2014, pp. 8-9). Las constantes cinéticas están relacionadas directamente con la etapa de hidrolisis enzimática, procesos inhibidores, descomposición de masa celular, efecto el pH, descomposición de masa celular,

dependencia de crecimiento del sustrato primario equilibrio físico-químico (Peris Serrano, 2011, pp. 30-32).

El cálculo de las constantes cinéticas se basó en los cálculos usados en la programación del ADM-1, donde se usó las ecuaciones establecidas para el modelo de Angelidaki las cuales se detallan en Anexo D y ecuaciones adaptadas para el modelo de simulación ADM-1 (Peris Serrano, 2011, p. 33); para ingresar las constantes cinéticas al modelo PSM, se debe tener amplios conocimientos de lenguaje FORTRAN, ya que es el lenguaje que se usó para ingresar cada bloque de calculadora de reacciones (Rajendra , et al., 2014, p. 10). Los valores de coeficientes cinéticos que se usaron para la modelación de simulación se detallan en Gráfico 5-2, los cuales fueron programados dentro del simulador usando lenguaje FORTRAN.

No.	Compound	Chemical reactions	Kinetic constant
<i>Amino acid degradation reactions</i>			
1	Glycine	$C_2H_5NO_2 + H_2 \rightarrow C_2H_4O_2 + H_3N$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
2	Threonine	$C_4H_9NO_3 + H_2 \rightarrow C_2H_4O_2 + 0.5 C_4H_8O_2 + H_3N$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
3	Histidine	$C_6H_8N_3O_2 + 4 H_2O + 0.5 H_2 \rightarrow CH_3NO + C_2H_4O_2 + 0.5 C_4H_8O_2 + 2 H_3N + CO_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
4	Arginine	$C_6H_{14}N_4O + 3 H_2O + H_2 \rightarrow 0.5 C_2H_4O_2 + 0.5 C_3H_6O_2 + 0.5 C_5H_{10}O_2 + 4 H_3N + CO_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
5	Proline	$C_5H_9NO_2 + H_2O + H_2 \rightarrow 0.5 C_2H_4O_2 + 0.5 C_3H_6O_2 + 0.5 C_5H_{10}O_2 + H_3N$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
6	Methionine	$C_5H_{11}NO_2S + 2 H_2O \rightarrow C_3H_6O_2 + CO_2 + H_3N + H_2 + CH_4S$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
7	Serine	$C_3H_7NO_3 + H_2O \rightarrow C_2H_4O_2 + H_3N + CO_2 + H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
8	Threonine	$C_4H_9NO_3 + H_2O \rightarrow C_3H_6O_2 + H_3N + H_2 + CO_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
9	Aspartic acid	$C_4H_7NO_4 + 2 H_2O \rightarrow C_2H_4O_2 + H_3N + 2 CO_2 + 2 H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
10	Glutamic acid	$C_5H_9NO_4 + H_2O \rightarrow C_2H_4O_2 + 0.5 C_4H_8O_2 + H_3N + CO_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
11	Glutamic acid	$C_5H_9NO_4 + 2 H_2O \rightarrow 2 C_2H_4O_2 + H_3N + CO_2 + H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
12	Histidine	$C_6H_8N_3O_2 + 5 H_2O \rightarrow CH_3NO + 2 C_2H_4O_2 + 2 H_3N + CO_2 + 0.5 H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
13	Arginine	$C_6H_{14}N_4O_2 + 6 H_2O \rightarrow 2 C_2H_4O_2 + 4 H_3N + 2 CO_2 + 3 H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
14	Lysine	$C_6H_{14}N_2O_2 + 2 H_2O \rightarrow C_2H_4O_2 + C_4H_8O_2 + 2 H_3N$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
15	Leucine	$C_6H_{13}NO_2 + 2 H_2O \rightarrow C_5H_{10}O_2 + H_3N + CO_2 + 2 H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
16	Isoleucine	$C_6H_{13}NO_2 + 2 H_2O \rightarrow C_5H_{10}O_2 + H_3N + CO_2 + 2 H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
17	Valine	$C_5H_{11}NO_2 + 2 H_2O \rightarrow C_4H_8O_2 + H_3N + CO_2 + 2 H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
18	Phenylalanine	$C_9H_{11}NO_2 + 2 H_2O \rightarrow C_6H_6 + C_2H_4O_2 + H_3N + CO_2 + H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
19	Tyrosine	$C_9H_{11}NO_3 + 2 H_2O \rightarrow C_6H_6O + C_2H_4O_2 + H_3N + CO_2 + H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
20	Typtophan	$C_{11}H_{12}N_2O_2 + 2 H_2O \rightarrow C_8H_7N + C_2H_4O_2 + H_3N + CO_2 + H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
21	Glycine	$C_2H_5NO_2 + 0.5 H_2O \rightarrow 0.75 C_2H_4O_2 + H_3N + 0.5 CO_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
22	Alanine	$C_3H_7NO_2 + 2 H_2O \rightarrow C_2H_4O_2 + H_3N + CO_2 + 2 H_2$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
23	Cysteine	$C_3H_6NO_2S + 2 H_2O \rightarrow C_2H_4O_2 + H_3N + CO_2 + 0.5 H_2 + H_2S$	$1.28 \cdot 10^{-02}$
<i>Acidogenic reactions</i>			
24	Dextrose	$C_6H_{12}O_6 + 0.1115 H_3N \rightarrow 0.1115 C_5H_7NO_2 + 0.744 C_2H_4O_2 + 0.5 C_3H_6O_2 + 0.4409 C_4H_8O_2 + 0.6909 CO_2 + 1.0254 H_2O$	$9.54 \cdot 10^{-03}$
25	Glycerol	$C_3H_8O_3 + 0.4071 H_3N + 0.0291 CO_2 + 0.0005 H_2 \rightarrow 0.04071 C_5H_7NO_2 + 0.94185 C_3H_6O_2 + 1.09308 H_2O$	$1.01 \cdot 10^{-02}$
<i>Acetogenic reactions</i>			
26	Oleic acid	$C_{18}H_{34}O_2 + 15.2396 H_2O + 0.2501 CO_2 + 0.1701 H_3N \rightarrow 0.1701 C_5H_7NO_2 + 8.6998 C_2H_4O_2 + 14.4978 H_2$	$3.64 \cdot 10^{-12}$
27	Propionic acid	$C_3H_6O_2 + 0.06198 H_3N + 0.314336 H_2O \rightarrow 0.06198 C_5H_7NO_2 + 0.9345 C_2H_4O_2 + 0.660412 CH_4 + 0.160688 CO_2 + 0.00055 H_2$	$1.95 \cdot 10^{-07}$
28	Isobutyric acid	$C_4H_8O_2 + 0.0653 H_3N + 0.8038 H_2O + 0.0006 H_2 + 0.5543 CO_2 \rightarrow 0.0653 C_5H_7NO_2 + 1.8909 C_2H_4O_2 + 0.446 CH_4$	$5.88 \cdot 10^{-06}$
29	Isovaleric acid	$C_5H_{10}O_2 + 0.0653 H_3N + 0.5543 CO_2 + 0.8044 H_2O \rightarrow 0.0653 C_5H_7NO_2 + 0.8912 C_2H_4O_2 + C_3H_6O_2 + 0.4454 CH_4 + 0.0006 H_2$	$3.01 \cdot 10^{-08}$
30	Linoleic acid	$C_{18}H_{32}O_2 + 15.356 H_2O + 0.482 CO_2 + 0.1701 H_3N \rightarrow 0.1701 C_5H_7NO_2 + 9.02 C_2H_4O_2 + 10.0723 H_2$	$3.64 \cdot 10^{-12}$
31	Palmitic acid	$C_{16}H_{34}O_2 + 15.253 H_2O + 0.482 CO_2 + 0.1701 H_3N \rightarrow 0.1701 C_5H_7NO_2 + 8.4402 C_2H_4O_2 + 14.9748 H_2$	$3.64 \cdot 10^{-12}$
<i>Methanogenic reactions</i>			
32	Acetic acid	$C_2H_4O_2 + 0.022 H_3N \rightarrow 0.022 C_5H_7NO_2 + 0.945 CH_4 + 0.066 H_2O + 0.945 CO_2$	$2.39 \cdot 10^{-03}$
33	Hydrogen	$14.4976 H_2 + 3.8334 CO_2 + 0.0836 H_3N \rightarrow 0.0836 C_5H_7NO_2 + 3.4154 CH_4 + 7.4996 H_2O$	$2.39 \cdot 10^{-03}$

Gráfico 5-2: Coeficientes cinéticos usados en PSM.

Fuente: (Rajendran, et al., 2014, p. 10)

Los parámetros bromatológicos fueron analizados para ingresar los resultados obtenidos en el modelo de simulación PSM, debido a que las características bromatológicas de los sustratos son los datos necesarios para iniciar la secuencia de reacciones que están programadas en este, lo cual nos

dará como resultado la cantidad de CH₄ que se produjo a partir de dichas características las cuales están detalladas en la Tabla 10-2. (Rajendran, et al., 2014).

Tabla 10-2: Parámetros químicos analizados y métodos que se realizaron.

PARÁMETROS	MÉTODO STANDARD
Humedad (%)	Secado en estufa
Cenizas (%)	Calcinación
Grasas (%)	Soxhlet
Proteínas (%)	Kjeldahl
Fibra cruda (%)	Proximal de fibra cruda
Glucosa (%)	Fenol-Sulfúrico
Extracto libre de nitrógeno (%)	Cálculo

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

2.6. Proceso de simulación

2.6.1. Simulación de datos en el modelo de simulación PSM

El modelo de simulación PSM fue proporcionado a la ESPOCH por el Ingeniero Marcelo Calipsa siendo estudiante de maestría en la universidad de NewCastle, Reino Unido, este modelo debido a su lenguaje de programación no utiliza los datos crudos de los análisis bromatológicos, por lo cual se deben transformar los datos obtenidos de los análisis en datos que puede procesar el modelo de simulación, para lo cual primero se calculó la composición másica aproximada contenida en cada sustrato cuya equivalencia se encuentra en la Tabla 11-2 la cual es exclusiva para sustratos compuestos por residuos orgánicos y lodos residuales, debido a que en las ecuaciones ingresadas en el modelo de simulación PSM necesita componentes básicos específicos para la simulación. Obtenido los datos de la fracción másica aproximada se procedió a transformar a fracción molar debido a que el modelo de simulación PSM requiere el ingreso de la fracción molar que componen los sustratos seleccionados para simular las reacciones que se dan en cada proceso del modelo de simulación PSM, estos datos se obtienen con una simple transformación.

Estos datos en forma de fracción másica son ingresados en el modelo de simulación PSM, teniendo en cuenta que la temperatura y presión ingresada es igual a la temperatura y presión del lugar, esto debido a que el modelo de simulación PSM puede adaptarse a las condiciones del lugar en el que se

trabaja para proporcionar datos más cercanos a la realidad del lugar en donde se pretende realizar la simulación (Rajendran, et al., 2014). Se ingresó el programa y se abrió el modelo de simulación PSM que esta previamente guardado y se ingresó los datos obtenidos en el cálculo de la fracción molar aproximada tomando en cuenta que la sumatoria será igual a 1, se ingresó los valores de presión (101325 N/sqm) y temperatura de la zona (296,092°K) (INAMHI, 2016, pp. 7-14) y finalmente se ingresó la cantidad de flujo al reactor (1000kg/día), esta cantidad está establecida para este modelo de simulación PSM. Se ingresó el tiempo de retención, para lo cual se seleccionó 20 días de retención (FAO, 2011) tomando en cuenta las condiciones climatológicas de la zona, el tipo de método que se usa y el tipo de sustrato usado (BESEL, S.A, 2007, pp. 16-20).

Tabla 11-2: Conversión para determinar la composición másica aproximada.

COMPONENTES	EQUIVALENCIA
Agua	Humedad
Celulosa	1/2 Extracto libre de nitrógeno
Hemicelulosa	1/2 Extracto libre de nitrógeno
Trioleina	1/3 Grasa
Tripamitato	1/3 Grasa
Sn-1-0,2 (triglicérido)	1/3 Grasa
Queratina	Fibra Cruda - Glucosa
Inertes	Cenizas
Glucosa	Glucosa
Proteínas	Proteína

Fuente: (Camacho López, 2016, p. 6)

2.6.2. Ingreso de datos en el modelo de simulación

Estos datos en forma de fracción másica son ingresados en el simulador, teniendo en cuenta que la temperatura y presión ingresada es igual a la temperatura y presión del lugar en donde se estaba realizando la simulación esto dará como resultado datos de producción de metano más cercanos a la realidad, para ingresar los datos en el simulador se debe realizar los siguientes pasos:

A. Se ingresó al programa y se abrió el simulador que esta previamente guardado.

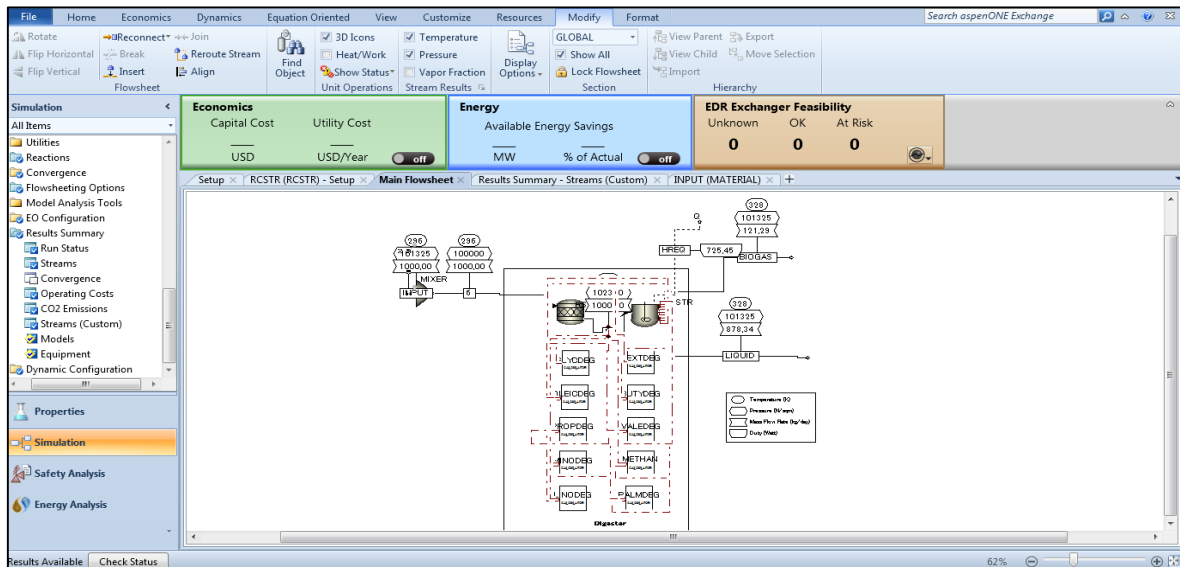


Gráfico 6-2: Diagrama del simulador PSM.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

B. Se dio click en INPUT y se ingresó los datos obtenidos en el cálculo de la fracción molar aproximada tomando en cuenta que la sumatoria será igual a 1, se ingresó los datos de las condiciones en las que se realizó en la simulación especificados anteriormente, como se muestra en el Gráfico 7-2.

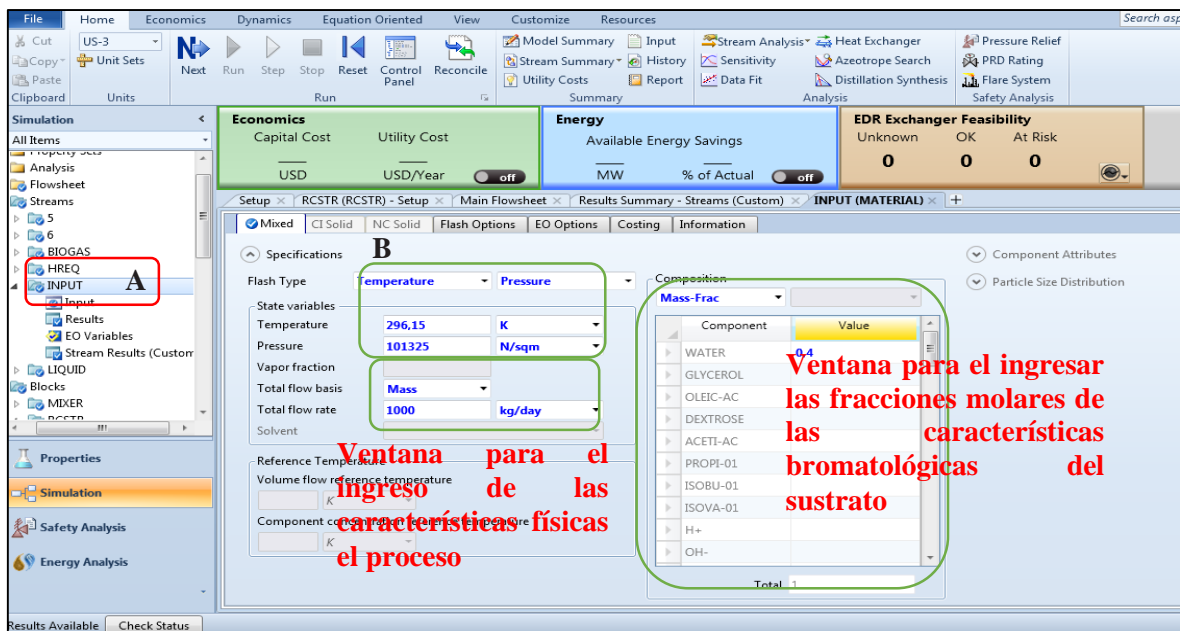


Gráfico 7-2: Ventana donde se ingresan los datos requeridos para simulación.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

C. Se ingresó el tiempo de retención, se seleccionó 20 días como se muestra en el Gráfico 8-2, tomando en cuenta la temperatura recomendada para este tipo de procesos de codigestión (FAO, 2011, p. 41), como se especifica anteriormente.

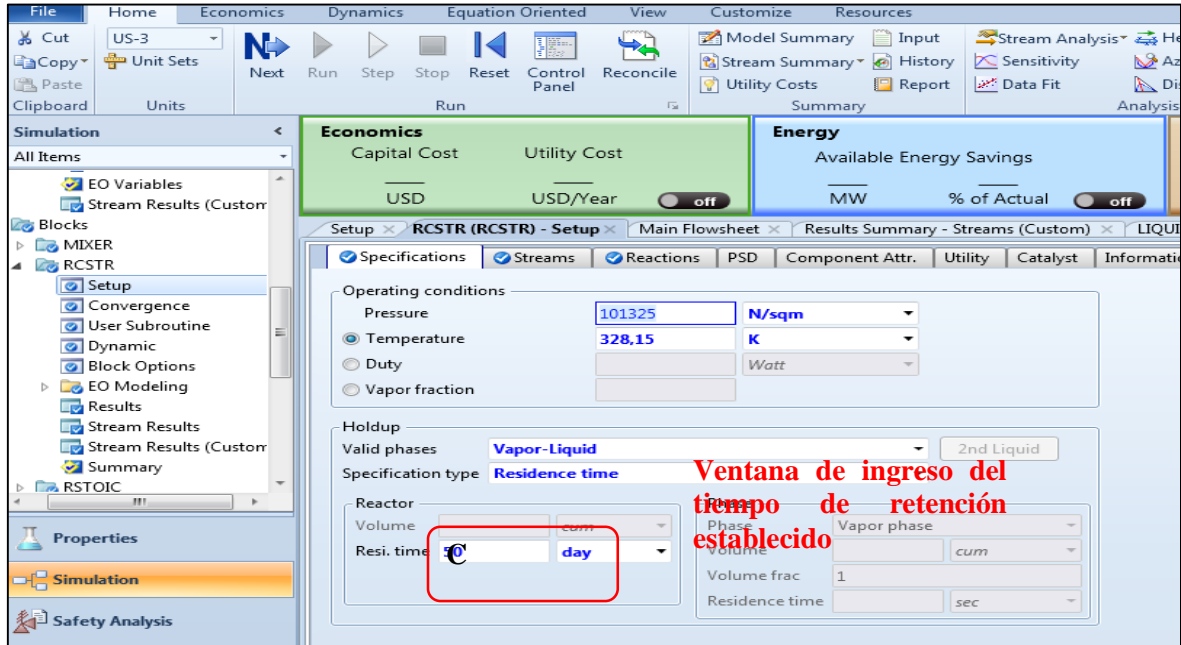


Gráfico 8-2: Ventana donde se ingresa el tiempo de retención.
Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

D. Y finalmente se dio click en Run como se muestra en el Gráfico 9-2, para de esta manera obtener los resultados requeridos de la producción de metano a partir de las características de los residuos analizados.

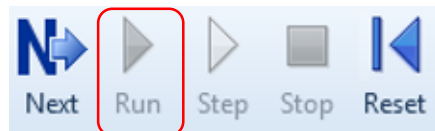


Gráfico 9-2: Botón RUN.
Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

2.6.3. Producción de CH₄/SV

Se determinó la producción de CH₄ en relación a la cantidad de sólidos volátiles (SV) contenido en el sustrato, debido a que la cantidad de SV contenidos en cada sustrato analizado teóricamente se convierte en CH₄ (Kayhanian, 1995, p. 129); los SV representan la cantidad de materia orgánica contenida en el sustrato usado (Jarauta Rovira, 2006, p. 27), por lo que la producción de CH₄ sin tomar en

cuenta la cantidad de SV, no nos refleja el rendimiento de producción verdadero del sustrato analizado. Al alimentar un sistema de digestión anaerobia con una carga de SV más alta a la adecuada, conlleva a que dé como resultado un bajo rendimiento de producción de CH₄ debido a la acumulación de sustancias inhibitoras en el sustrato (Monnet, 2003, pp. 9-12), por lo cual los resultados de producción de CH₄ total se deben expresar en cantidad de CH₄ generadas versus cantidad de SV contenidos en el flujo de ingreso de sustrato. (FAO, 2011, pp. 36-38). Para calcular la masa de CH₄ producido por masa de SV contenidos en el sustrato ocupamos la siguiente ecuación:

$$P_{CH_4} = \frac{m_{1CH_4}}{m_{SV}}$$

Donde:

P_{CH₄}: Producción de CH₄ por cantidad de SV (*g de CH₄/g de SV*).

m_{1CH₄}: Masa de CH₄ producido en 20 días (*g de CH₄*).

m_{SV}: Masa de SV contenidos el flujo de ingreso (*g de SV*).

Para determinar el volumen de CH₄ producido en comparación a los gramos de SV del sustrato se consideró como referencia que el gas CH₄ se comporta como un gas ideal y en condiciones estándar, según la IUPAC, cuyas características se detallan en la Tabla 12-2 (Everett & Koopal, 1971, p. 36).

Tabla 12-2: Condiciones estándar IUPAC.

Condiciones estándar IUPAC			
<i>Parámetro</i>	Símbolo	Valor	Unidades
<i>Temperatura</i>	T	273,15	K
<i>Presión</i>	P	0,9869	atm
<i>Constante universal de los gases ideales</i>	R	0,082	atm*l/mol*K

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Considerando que la masa molar del CH₄ es 16,04 g/mol, tenemos lo siguiente:

$$V_{CH_4} = \frac{\left(\frac{P_{CH_4}}{M}\right) * R * T}{P}$$

Donde:

V_{CH₄}: Producción de CH₄ por cantidad de SV (l de CH₄/g de SV).

P_{CH₄}: Producción de CH₄ por cantidad de SV (g de CH₄/g de SV).

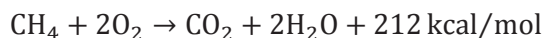
M: Masa molar del CH₄ (g/mol).

Se analizó la producción de CH₄ generado a partir de cada uno de los sustratos, los análisis se realizaron en relación a la cantidad de SV contenidos en estos, ya que de esta manera se pudo comprobar la verdadera eficiencia de los sustratos, y tomar la decisión de cuál sería la combinación de sustrato más adecuada para usarla en una futura planta de codigestión anaerobia y obtener el mejor rendimiento (Carmona, et al., 2005, pp. 51-61).

2.7. Energía eléctrica

2.7.1. Cálculo de producción teórica de energía eléctrica

El cálculo de la producción de energía eléctrica se realizó con el fin de tener una estimación de cuanta energía eléctrica se producirá a partir del CH₄ generado por el sustrato con mejor rendimiento, para lo cual se revisó publicaciones previas, donde se eligió el método más adecuado y confiable (Durandean Stegmann, 2011; Quesada, et al., 2007; Asís, et al., 2007). De acuerdo con la ecuación de combustión de CH₄ (Quesada, et al., 2007, p. 234) se tiene que:



Donde:

$$1 \text{ mol de } CH_4 = 22,4 \text{ l de } CH_4 \xrightarrow{\text{por lo tanto}} 1 \text{ m}^3 = 44,61 \text{ mol}$$

$$212 \text{ kcal/mol} * 44,61 \text{ mol/m}^3 = 9464 \text{ kcal/m}^3$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ de } CH_4 = 9464 \text{ kcal}$$

Considerando que:

$$1\text{kcal} = 0,001163 \text{ kW}$$

$$9464 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3} * 0,001163 \frac{\text{kW}}{\text{kcal}} * P_{\text{CH}_4} \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \%_{\text{ECEG}} = PD_{\text{EE}} \frac{\text{kW}}{\text{día}}$$

Donde:

PD_{EE} = Producción diaria de energía eléctrica (kW/día).

P_{CH_4} = Producción diaria de CH_4 ($\text{m}^3/\text{día}$).

$\%_{\text{ECEG}}$ = Porcentaje de conversión a energía eléctrica del generador eléctrico.

Se obtuvo como resultado la producción diaria de energía eléctrica expresada en kW/día, que se logró a partir del CH_4 generado por el sustrato con mejor eficiencia de producción de CH_4 , la cual se detalló en resultados.

2.7.2. Consumo de energía eléctrica del EP-EMMPA San Pedro de Riobamba

Se envió una solicitud a la Empresa Eléctrica Riobamba S.A. (EERSA) donde se solicitó que proporcione los datos de consumo mensual de energía eléctrica de la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, con el fin de conocer el consumo energético real y comparar la producción teórica de energía eléctrica generada. Se comparó la cantidad de energía eléctrica producida a partir del sustrato con mejor rango de rendimiento de producción de metano con la cantidad de energía eléctrica consumida por la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, donde se analizó si la energía eléctrica producida suplía las necesidades de consumo diario del mismo, y si era factible la implementación de un biodigestor posteriormente. Se comparó los datos obtenidos con datos proporcionados en bibliografía de varios autores para analizar si la producción de energía eléctrica será óptima y adecuada para los fines pertinentes.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Producción de residuos orgánicos

Los datos se los recogió durante una semana completa al final de la jornada de trabajo, donde con ayuda de una balanza electrónica se pesó los residuos orgánicos generados al final del día de las 13 naves del mercado teniendo como resultado los datos detallados en la Tabla 1-3, se determinó que el promedio de generación de residuos orgánicos es de 3350,44 kg/día, además se observó que el día con mayor producción de residuos es viernes con 7217,02 kg esto debido a que se lleva a cabo la feria de productores todas las semanas en ese día, y el día de menos producción es el domingo con 77,16 kg debido a que flujo de vendedores y clientes es bajo y se labora solo media jornada hay que considerar que este valor influye dependiendo de la época del año.

Quizhpi (2008, pp. 73-74) determinó la producción de residuos en el área de frutas de la sierra y de la costa del EP-EMMPA San Pedro de Riobamba en este estudio de determinó que el flujo medio de producción de residuos es 1134,05 kg considerando que solo se tomó un área pequeña de las naves de comercialización, además se observó que los días de mayor producción de residuos son los días viernes y sábado, el día de menos es el domingo; se pudo constar que el patrón de producción de residuos orgánicos del mercado no ha variado a través de los años, ya que se mantienen los mismos días de mayor y menos producción de residuos desde el 2008.

Según la rendición de cuentas 2015 (EP-EMMPA San Pedro de Riobamba, 2015, pp. 27-29), se registró que el mercado registra una producción semanal aproximada de 18 toneladas de residuos orgánicos e inorgánicos, siendo el bloque de 12 naves de comercialización de productos las que generan la mayor cantidad de residuos en todo el mercado, debido a que anualmente la oferta y demanda de productos aumenta la producción de residuos en los mercados también aumenta, en la actualidad solo las 13 naves de producción semanalmente generan 23,44 toneladas de residuos, teniendo un aumento de 5,44 toneladas aproximadamente en 2 años esto debido aumento de la demanda y oferta de productos, lo que da a notar que según pasen los años la cantidad de residuos orgánicos crecerá.

Tabla 1-3: Datos de producción diaria de residuos orgánicos de las 13 naves seleccionadas.

Día	Hora de muestreo	Peso(lb)	Peso(kg)	Peso (t)
Lunes (20 de febrero)	18:00	3700,00	1679,40	1,68
Martes (21 de febrero)	18:00	4300,00	1951,80	1,95
Miércoles (22 de febrero)	19:00	9400,00	4266,70	4,26
Jueves (23 de febrero)	18:00	4700,00	2133,30	2,13
Viernes (24 de febrero)	19:30	15900,00	7217,00	7,21
Sábado (25 de febrero)	20:00	13500,00	6127,70	6,12
Domingo (26 de febrero)	12:00	170,00	77,20	0,08
	Total semanal:	51670,00	23453,05	23,44
	Prom. Diario:	7381,43	3350,44	3,35
	Prom. Mensual:	221442,90	100513,20	100,50

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

3.2. Características físico-químicas y bromatológicas de las muestras

3.2.1. Análisis de muestras

Al tomar las muestras de cada uno de los residuos en las fechas y horas establecidas en la Tabla 5-2 y 6-2, siguiendo el procedimiento adecuado para muestreos especificados anteriormente, las muestras de los residuos orgánicos y los lodos fueron mezclados siguiendo las condiciones establecidas en la Tabla 7-2, para realizar los análisis de respectivos de los parámetros establecidos en la Tabla 8-2 en las fechas y los laboratorios ya establecidos en la misma tabla, aplicando los métodos descritos en el Anexo F, teniendo como resultado las siguientes tablas:

Tabla 2-3: Análisis físicos S1, (25% RO - 75% L).

S1				
PARÁMETROS	M 1	M 2	M 3	PROMEDIO
DBO (mg/l)	8300	7800	8200	8100
DQO (mg/l)	37900	35200	36400	36500
Nitratos (mg/l)	1120	980	1020	1040
Nitritos (mg/l)	9,3	7,9	9,5	8,9
Cloruros (mg/l)	429,95	326,21	434,96	397,04
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	198	142	194	178
Fosfatos (mg/l)	482	416	488	462
Nitrógeno total (mg/l)	27900	26900	27400	27400

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Tabla 3-3: Análisis físicos S2, (50% RO - 50% L).

S2				
PARÁMETROS	M 1	M 2	M 3	PROMEDIO
DBO (mg/l)	23000	18000	19000	20000
DQO (mg/l)	57600	54600	56400	56200
Nitratos (mg/l)	1480	1380	1400	1420
Nitritos (mg/l)	8,90	8,30	8,30	8,50
Cloruros (mg/l)	598,20	559,90	543,50	567,20
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	169	153	158	160
Fosfatos (mg/l)	531	579	612	574
Nitrógeno total (mg/l)	15900	16700	16000	16200

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Tabla 4-3: Análisis físicos S3, (75% RO - 25% L).

S3				
PARÁMETROS	M 1	M 2	M 3	PROMEDIO
DBO (mg/l)	27600	28300	28400	28100
DQO (mg/l)	80100	80600	80800	80500
Nitratos (mg/l)	1800	2050	1850	1900
Nitritos (mg/l)	6,80	7,90	6,30	7
Cloruros (mg/l)	635,39	675,95	645,50	652,28
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	129	146	127	134
Fosfatos (mg/l)	609	687	642	646
Nitrógeno total (mg/l)	5600	6200	6200	6000

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Tabla 5-3: Análisis bromatológicos S1, (25% RO - 75% L).

S1				
PARÁMETROS	M 1	M 2	M 3	PROMEDIO
Sólidos totales (mg/l)	171980	170120	173919	172006
Sólidos volátiles (mg/l)	170020	159970	175451	168480
Humedad (%)	62,98	65,91	64,49	64,46
Cenizas (%)	1,93	2,09	2,13	2,05
Grasas (%)	4,01	3,86	3,74	3,87
Proteínas (%)	4,39	3,98	4,62	4,33
Fibra cruda (%)	3,68	3,59	3,62	3,63
Glucosa (%)	2,29	2,35	2,26	2,30
Extracto libre de nitrógeno (%)	23,01	20,57	21,40	21,66

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Tabla 6-3: Análisis bromatológicos S2, (50% RO - 50% L).

S2				
PARÁMETROS	M 1	M 2	M 3	PROMEDIO
Sólidos totales (mg/l)	203210	209080	201500	204596
Sólidos volátiles (mg/l)	198790	198110	199581	198827
Humedad (%)	45,01	47,02	47,77	46,60
Cenizas (%)	2,82	2,91	2,73	2,82
Grasas (%)	3,21	2,98	3,38	3,19
Proteínas (%)	5,09	6,12	6,19	5,80
Fibra cruda (%)	5,18	5,92	5,22	5,44
Glucosa (%)	3,80	4,20	4,30	4,10
Extracto libre de nitrógeno (%)	38,69	35,05	34,71	36,15

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Tabla 7-3: Análisis bromatológicos S3, (75% RO - 25% L).

S3				
PARÁMETROS	M 1	M 2	M 3	PROMEDIO
Sólidos totales (mg/l)	220250	230020	218000	222756
Sólidos volátiles (mg/l)	219870	217870	208677	215472
Humedad (%)	34,02	31,25	33,28	32,85
Cenizas (%)	2,68	3,52	3,61	3,27
Grasas (%)	2,29	3,01	2,26	2,52
Proteínas (%)	7,01	6,75	7,24	7
Fibra cruda (%)	7,98	8,32	8,75	8,35
Glucosa (%)	7,90	8,60	8,10	8,20
Extracto libre de nitrógeno (%)	46,02	47,15	44,86	46,01

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Obtenidos los datos de los análisis bromatológicos, se pudo notar que los valores de humedad están fuera del rango óptimo, ya que el rango óptimo oscila entre 60-90% (Jarauta Rovira, 2006, p. 26), esto depende del tipo de digestor usado. En el modelo de simulación PSM se usó un digestor de tipo Batch (discontinuo o régimen estacionario) para el cual el rango óptimo de humedad es 60-80% (FAO, 2011, pp. 100-102), se realizó un promedio de este rango donde se obtuvo 70%, este dato se utilizó para la corrección de humedad en los datos.

3.2.2. Corrección de datos.

Debido a que los resultados obtenidos demuestran que la concentración de agua no es la óptima para un buen proceso de codigestión anaerobia, los datos fueron corregidos para alcanzar una humedad del 70%, esto se logró realizando cálculos en donde teóricamente se aumentó la cantidad de agua necesaria a cada sustrato para lograr una dilución y por ende que baje la concentración de cada uno de los parámetros y lograr el valor de humedad requerido, esto se realizó debido a que el costo de los análisis es muy elevados (FAO, 2011, pp. 36-38).

Los cálculos fueron programados en Excel para facilitar y agilizar la valoración de todos los parámetros de cada sustrato corregido, para esto los pesos de residuos orgánicos y lodos contenidos en las nuevas muestras bajan, teniendo como resultado un nuevo porcentaje en peso para formar los nuevos sustratos los cuales se detallan en la Tabla 8-3, a partir de esto se realizó los cálculos respectivos aplicados a los promedios de los parámetros físicos y bromatológicos, teniendo como resultado los siguientes detallados en las tablas 9-3.

Tabla 8-3: Composición porcentual del sustrato corregido para humedad de 70%.

Número de sustrato	Porcentaje de mezcla corregido	Porcentaje de residuos orgánicos (%)	Porcentaje de lodos (%)	Porcentaje de agua (%)	Total (%)
S1-70	25% RO - 75% L	21,11	63,31	15,59	100
S2-70	50%RO - 50% L	28,09	28,09	43,82	100
S3-70	75% RO - 25% L	33,51	11,17	55,32	100

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Tabla 9-3: Datos corregidos de cada sustrato.

PARÁMETROS	S1-70	S2-70	S3-70
DBO (mg/l)	7435,46	15398,25	19917,89
DQO (mg/l)	33505,45	43269,07	57060,13
Nitratos (mg/l)	954,68	1093,28	1346,76
Nitritos (mg/l)	8,17	6,54	4,96
Cloruros (mg/l)	364,47	436,69	462,35
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	163,40	123,19	94,98
Sólidos totales (mg/l)	157894,66	157521,57	157894,75
Sólidos volátiles (mg/l)	154657,82	153079,46	152731,59
Fosfatos (mg/l)	424,10	441,93	457,90
Nitrógeno total (mg/l)	25152,04	12472,58	4252,93
Humedad (%)	70,00	70,00	70,00
Cenizas (%)	1,73	1,58	1,46
Grasas (%)	3,27	1,79	1,13
Proteínas (%)	3,66	3,26	3,13
Fibra cruda (%)	3,06	3,06	3,73
Glucosa (%)	1,94	2,30	3,66
Extracto libre de nitrógeno (%)	18,28	20,31	20,56

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

3.3. Producción de CH₄

3.3.1. Adaptación de datos para ingreso en el modelo de simulación PSM

Para ingresar los datos al modelo de simulación PSM se realizó la adaptación requerida, ya que estos datos deben ser compatibles con el lenguaje de programación que utiliza el programa Aspen en el cual se encuentra el modelo de simulación utilizado, debido que este programa procesa los componentes del sustrato para correr las ecuaciones programadas dentro del mismo, para esto los datos reales que se obtuvieron a partir de los análisis bromatológicos se desglosaron y se transformaron en datos de fracción másica, para este cálculo se utilizó en la Tabla 11-2 descrita anteriormente en el capítulo de metodología y después estos datos fueron transformados en fracción

molar teniendo como resultado la Tabla 10-3, lo mismo se aplicó en los datos corregidos para tener una humedad del 70%, tenido como resultado la Tablas 11-3.

Tabla 10-3: Fracción másica aproximada y fracción molar de los datos reales.

Componentes	S1		S2		S3	
	F. másica	F. molar	F. másica	F. molar	F. másica	F. molar
Agua	64,46	0,65	46,60	0,47	32,85	0,33
Celulosa	8,08	0,08	15,98	0,16	20,61	0,21
Hemicelulosa	8,08	0,08	15,98	0,16	20,61	0,21
Trioleína	2,52	0,03	2,34	0,02	2,72	0,03
Tripamitato	2,52	0,03	2,34	0,02	2,72	0,03
Sn-1-0,2 (triglicérido)	2,52	0,03	2,34	0,02	2,72	0,03
Queratina	1,33	0,01	1,34	0,01	0,05	0,01
Inertes	7,55	0,08	7,02	0,07	8,17	0,08
Glucosa	2,30	0,02	4,10	0,04	8,20	0,08
Proteínas	4,33	0,04	5,80	0,06	7,00	0,07

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Tabla 11-3: Fracción másica aproximada y fracción molar de los datos corregidos.

Componentes	S1-70		S2-70		S3-70	
	F. másica	F. molar	F. másica	F. molar	F. másica	F. molar
Agua	70,00	0,70	70,00	0,70	70,00	0,70
Celulosa	9,14	0,09	10,15	0,10	9,14	0,09
Hemicelulosa	9,14	0,09	10,15	0,10	9,14	0,09
Trioleína	1,09	0,01	0,60	0,01	1,09	0,01
Tripamitato	1,09	0,01	0,60	0,01	1,09	0,01
Sn-1-0,2 (triglicérido)	1,09	0,01	0,60	0,01	1,09	0,01
Queratina	1,12	0,01	0,75	0,01	1,12	0,01
Inertes	1,73	0,02	1,58	0,02	1,73	0,02
Glucosa	1,94	0,02	2,30	0,02	1,94	0,02
Proteínas	3,66	0,04	3,26	0,03	3,66	0,04

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

3.3.2. Producción de CH₄ total y CH₄ en relación a los SV

El modelo de simulación PSM fue adaptado a las condiciones de simulación detalladas en el marco metodológico donde se ingresó los datos de tiempos de retención, flujo de ingreso, temperatura y presión ambiental ya pre establecidos en la metodología, estos datos se ingresaron la ventana del modelo PSM como se muestra en el Gráfico 7-2, posteriormente se ingresó los datos de fracción molar de cada sustrato y de los datos corregidos, dándonos como resultado la producción teórica de CH₄ de cada sustrato, cuyos resultados se detallan en la Tabla 12-3, posteriormente se calculó los datos de producción de CH₄ con relación a la cantidad de SV contenido en la muestra, esto nos reflejó la eficiencia de producción de metano que tiene cada sustrato.

Tabla 12-3: Producción diaria de CH₄ para un tiempo de retención de 20 días (datos reales).

Sustrato	Producción de CH ₄ (kg/día)	Producción de CH ₄ total en 20 días (kg) (±10%)	Rango de producción de CH ₄
S1	7,30	145,91	131,32 – 160,50
S2	8,15	163,02	146,72 – 179,32
S3	9,80	196,01	176,41 – 215,61
S1-70	8,53	184,00	165,60 – 202,40
S2-70	8,80	171,98	154,78 – 189,18
S3-70	9,20	170,18	153,16 – 187,20

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Tabla 13-3: Producción de CH₄ con relación a los SV (datos reales).

Sustrato	PRODUCCIÓN DE CH ₄						
	(kg) en 20 días	$\frac{m^3 CH_4}{día}$	$\frac{kgCH_4}{kgSV}$	$\frac{gCH_4}{gSV}$	$\frac{lCH_4}{gSV}$	$\frac{m^3 CH_4}{kgSV}$	$\frac{m^3 CH_4}{kgSV * día}$
S1	145,91	10,32		0,42		0,59	0,03
S2	163,02	11,53		0,31		0,44	0,02
S3	196,01	13,51		0,30		0,42	0,02
S1-70	184,00	13,02		0,58		0,82	0,04
S2-70	171,98	12,17		0,60		0,85	0,04
S3-70	170,18	12,04		0,63		0,89	0,05

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

La producción de CH₄ observada en la Tabla 12-3 dio como resultado que S3 tiene una producción de metano más alta en comparación a los otros datos analizados, pero la verdadera eficiencia de producción de CH₄ se la puede ver al calcular la producción de CH₄ a partir de la cantidad de SV contenidos en cada muestra, dando como resultado que S3 es el menos eficiente de todos los datos analizados ya que su nivel de degradación de SV es muy bajo en comparación al resto de muestras. La producción de CH₄ con respecto a los SV contenidos es la manera más adecuada de medir la degradabilidad de los residuos orgánicos y la eficiencia del sustrato, esto depende directamente del porcentaje de ST, SV y de humedad, ya que si la concentración de SV aumenta la producción de CH₄ disminuye (Jarauta Rovira, 2006, p. 15), por esta razón se puede observar que S1 con una humedad de 64,46% tuvo una producción de 0,59 l CH₄/g SV en cambio S3 con una humedad del 32,85% tuvo una producción de 0,42 l CH₄/g SV, teniendo diferencias marcadas en las que la falta de humedad en este caso se podría considerar un inhibidor.

Los datos corregidos demuestran que al aumentar la humedad al 70% en cada uno de las muestras analizadas, los datos de producción de CH₄ inicial de 0,59, 0,44, 0,41 l CH₄/g SV aumentaron hasta llegare a 0,82, 0,85, 0,89 l CH₄/g SV respectivamente. Se observa que al aumentar la concentración de lodos residuales en las muestras la capacidad de biodegradabilidad de SV baja, esto debido a que los lodos residuales se caracterizan por tener un nivel más alto de inhibidores en comparación a los residuos orgánicos (FAO, 2011, p. 31); datos tales como grasas (más del 3,87%), nitrógeno amoniacal (más de 178 mg/l) se consideran que producen un efecto inhibidor en procesos metanogénicos, en donde los análisis de S1, S2, S3 y S1-70 muestran que las características de estos parámetros están muy cercanas al rango se considerarse inhibidores (BESEL, S.A, 2007, p. 21).

Se estimó que el rango de producción de CH₄ para residuos de vegetales y frutales es de 0,4 – 0,9 m³ CH₄/kg SV (Cecchi , et al., 2004, pp. 447-450), mientras que los datos de producción que se obtuvo de la simulación de datos reales se encuentra entre el rango de 0,42 - 0,59 m³ CH₄/g SV y los datos corregidos están en un rango de 0,82 - 0,89 m³ CH₄/g SV, lo que demostró que los datos reales no se alejan del rango de producción optimo, pero al corregir la humedad esta producción de metano se eleva. Solarte Toro, et al., 2017 analizó la producción de CH₄ a partir de residuos comida (ST=29%), poda (ST=88,7%) y una combinación de 1:3 (ST=12,8%), donde obtuvo una producción de 0,34 m³ CH₄/gSV, 0,42 m³CH₄/gSV y 0,60 m³CH₄/gSV, observó que la producción de CH₄ aumenta cuando el contenido de ST baja, lo mismo que pasó en nuestros datos (Solarte Toro, et al., 2017, pp. 105-116); se observó que la producción de CH₄ es considerablemente alta en comparación con los datos obtenidos en este estudio analizado, esto pudo darse debido a realizó una planta piloto

en condiciones ideales, la cual pudo arrojar datos reales pero si con considerar posibles fallas que se pueden dar en el proceso. Nielfa, et al., 2015, realizó el análisis del método de Gompertz (error $\pm 10\%$), los residuos utilizados fueron la fracción de los residuos sólidos municipales (OFMSW) y lodos biológicos con un tiempo de retención de 29 días (Nielfa, et al., 2015, pp. 14-21), el cual obtuvo los datos que se muestra en la tabla 37-3.

El dato Co-d 1 y S3-70 se caracterizan por tener las producciones de CH₄ más altas en las 2 investigaciones, y que la concentración de lodo es la más baja en comparación a los otros datos, eso debido que a las características de los lodos residuales tiene altos niveles de inhibidores (BESEL, S.A, 2007, pp. 20-22). Aun así, la producción de CH₄ en relación a los SV contenidos es muy alta en comparación a los datos de la Tabla 14-3, esto refleja que la degradación de los componentes del sustrato llega a su nivel más alto.

Tabla 14-3: Datos de producción de CH₄ (Nielfa, et al., 2015).

Sustrato	OFMSW/LB	Humedad (%)	Producción de CH ₄ (ml CH ₄ /gSV)
Lodos biológicos (LB)	-	93,02	164,50
OFMSW	-	53,21	201,50
Co-d 1	80/20	61,17	220,60
Co-d 2	60/40	69,14	217,50
Co-d 3	40/60	77,10	212,30
Co-d 4	20/80	85,06	200,20

Realizado por: (Nielfa, et al., 2015, pp. 16-18)

3.4. Factibilidad producción de electricidad a partir de CH₄

Se obtuvo que S3 produjo 13,51 m³ de CH₄ diarios a partir de 1000 kg de sustrato, aparentemente siendo el sustrato con mayor de producción de CH₄, pero al analizar la producción de CH₄ en m³CH₄/kg SV se observó que S3-70 produjo 0.89 m³CH₄/kg SV siendo el sustrato aparentemente con mejor eficiente para producir CH₄ y S3 produjo 0,42 m³CH₄/kg SV siendo este el menos eficiente de todos los sustratos analizados. Se observó que entre más bajo sea el porcentaje de humedad contenido en el sustrato, la producción de CH₄ será más baja, esto debido a que la falta de una humedad adecuada en el proceso de codigestión anaerobia actúa como inhibidor en los procesos

(Fernández Villagómez, et al., 2002). El aumento del contenido de agua en los sustratos en un 70% de humedad, dio como resultado que las producciones de CH₄ se eleven, logrando que el déficit de humedad no actué como inhibidor, en general dando un medio adecuado para realizar los procesos de una manera eficiente. (FAO, 2011, pp. 37-38)

Para el cálculo de producción de energía eléctrica se utilizó un generador con motor de combustión interna de biogás natural continuo, el cuál es el más usado para transformar biogás en energía eléctrica debido a sus características y su capacidad de transformación de energía es estándar en los generadores, este generador tiene una eficiencia eléctrica del 42% el resto de energía quemada se pierde como calor en el proceso de combustión (Durandean Stegmann, 2010, p. 18). Este tipo de generadores por lo regular tienen una capacidad de 40 kW y tienen conexión de 120/240V y un espacio de 60Hz, trifásico delta en 4 hilos. El consumo máximo de biogás es de 29 m³/h y necesita de biogás con un mínimo del 61% de CH₄ para su correcto funcionamiento (Quesada, et al., 2007, p. 231). Para el cálculo de producción de energía eléctrica se consideró el sustrato S3-70 debido aparentemente es el más eficiente, teniendo como resultado los siguientes datos detallados en la Tabla 15-3.

Tabla 15-3: Cálculo de producción de energía eléctrica a partir de S3-70.

Producción de CH₄ en 20 tr (m³)	Producción diaria promedio de CH₄ (m³/día)	Producción diaria promedio de energía eléctrica (kW/día)	Producción mensual (30 días) de energía eléctrica (kW/mes)
240,80	13,02	60,18	1805,31

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

3.5. Factibilidad técnica de producción de energía eléctrica.

Según los datos facilitados por la EERSSA se tiene que la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba detallados en la Anexo E, se tiene un consumo mínimo de 10525 kW/mes y llegando a un máximo de 14218 kW/mes, siendo los meses en donde se registra mayor consumo enero, esto puede ser debido a que se terminan las festividades de navidad y año nuevo en las que los gastos de energía eléctrica son grandes, se tuvo que EP-EMMPA San Pedro de Riobamba tiene un consumo promedio de 12075,90 kW/mes; S3-70 tiene una producción estimada de CH₄ de 240.80 m³ de CH₄ en 20 días de retención que es lo que dura el proceso de codigestión, lo que equivale a una

producción diaria de 13,02 m³/día, asumiendo que hay una producción continua de CH₄ durante 30 días se estima que mensualmente se produce 390,54 m³ de CH₄ lo cual genera 1805,31 kW/mes, esta producción suple mensualmente en un 14,95% de la demanda promedio de energía eléctrica del mercado.

El mercado se encuentra en la categoría “Comercial” con un nivel de baja tensión sin demanda, y considerando que su consumo es mayor a 300 kW/mes, el valor a cancelar es de 0,10 USD/kW (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2017, p. 20), se calculó que mensualmente se gasta en promedio 1243,81 USD. Considerando el valor tarifario establecido para el mercado, se tiene la energía producida a partir de S3-70, puede generar un ahorro promedio de 180,53 USD mensuales llegará a cubrir el 14.52% del gasto mensual de energía eléctrica de la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba.

Tomando en cuenta que para la simulación se consideró 1000 kg como flujo de entrada y que se seleccionó como sustrato a S3-70 más óptimo, se tiene que el contenido de 11.17% de lodos residuales y 33.51% de residuos orgánicos, el cual equivale a 335,10 kg de residuos orgánicos en la mezcla, considerando que el mercado produce diariamente en promedio de 3350,44 kg de residuos orgánicos se observa que solo se una el 10% de los residuos orgánicos se utilizaría , lo que llevaría a suponer que si se aprovechara el 100% de los residuos generados en el mercado ampliamente se cubriría la demanda energética total del mercado. Para producir 12075,90 kW es necesario producir una cantidad de 2612,26 m³CH₄, lo cual solo se lograría digiriendo mensualmente una cantidad aproximada de 3634,93 kg de residuos orgánicos y 1205,99 kg de lodos, en condiciones iguales a las especificadas a lo largo de la investigación, lo cual es factible, ya que la producción mensual de residuos orgánicos es de 100513,07 kg, el cual sobrepasa la cantidad requerida para cubrir completamente la producción de energía eléctrica.

3.5.1. Costos de implementación de un digestor anaerobio

El diseño de la implementación de la planta de producción de energía eléctrica se realizó basándonos en el modelo ya implementado en Las Mercedes, Costa Rica en la Universidad EARTH, donde se utilizó los purines de la Finca Pecuaria Integrada con el fin de obtener energía eléctrica para utilizarlo en las actividades que se realizan dentro de la finca que requieran energía eléctrica y de esta manera dejar de depender de la red de electricidad y además utilizar los residuos generados dentro de la misma (Quesada, et al., 2007). El esquema de la planta de producción de energía

eléctrica a partir de metano se muestra en el Gráfico 1-3 la cual muestra el orden de los procesos y los equipos y materiales requeridos para un correcto proceso de codigestión anaerobia y para tener una producción eficiente de energía eléctrica, la cual se re direccionará a cada uno de las áreas donde se requiera energía eléctrica.

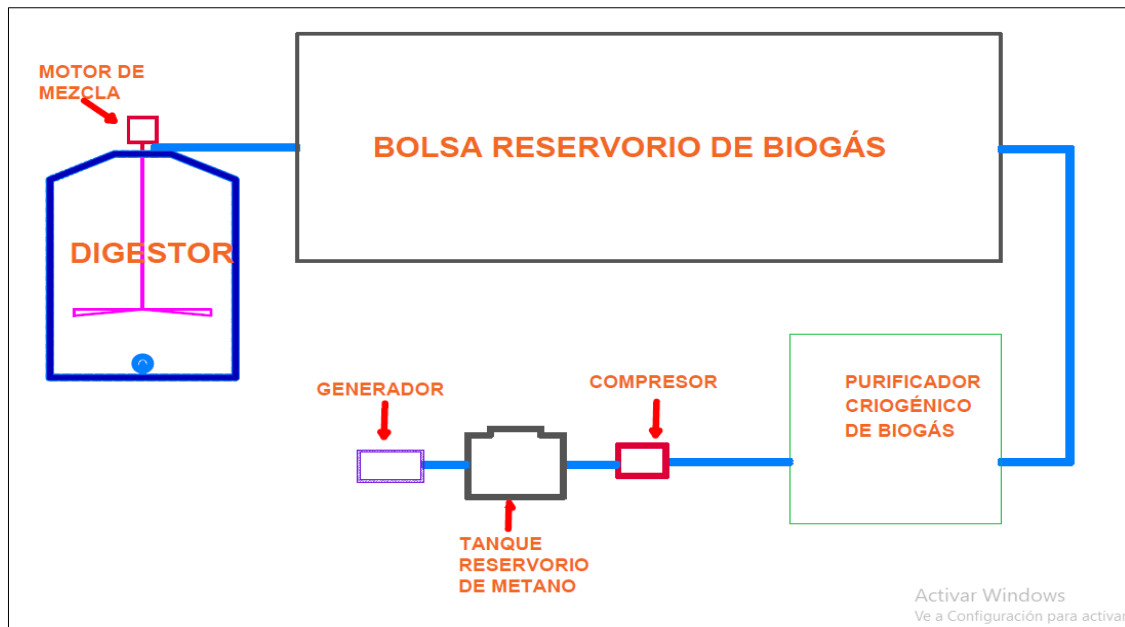


Gráfico 1-3: Esquema de producción de energía a partir de metano en codigestión anaerobia.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

A partir del esquema anteriormente realizado se estableció que para una mayor producción de energía eléctrica se debería implementar 2 digestores con el fin de aumentar la producción de metano y aprovechar al máximo los equipos utilizados en el esquema de producción, y así de esta manera bajar los consumos de energía de la red eléctrica de la ciudad y ahorrar dinero; en la Tabla 16-3 se detalla el costo de inversión de cada uno de los equipos usados para el proceso completo teniendo una inversión aproximada de 13942 dólares, esto asumiendo que los costos de mantenimiento, capacitación de personal, personal de trabajo y costos de captación y transporte de los lodos residuales sean financiados por el GAD-M Riobamba como una iniciativa de apoyo a nuevas tecnologías, además esta planta se instalaría dentro del Mercado en las áreas vacías, así ahorrando costos; el precio calculado cubre todo el equipamiento y la instalación necesarias; la planta en general tiene una vida útil aproximada de 10 años, considerando que cada tanque estaría produciendo cada día aproximadamente $13,02\text{m}^3$ de CH_4 equivalente a 60,18 kw/día, al mes se produciría 3610.62 kw que calcular el valor monetario se ahorraría 361.06 dólares.

Según Bolhar-Nordenkamp, et al. (2004, pp. 906-909), entre mayor sea el volumen de residuos mayor será la producción de metano, lo cual da como resultado en costo-beneficio mucha mayor al que tiene las plantas de producción de metano a baja escala, Alemania es el país líder en producción de energía a partir de metano producido en procesos de digestión anaerobia, produciendo anualmente 23-24 billones de m³ para lo cual utiliza entre el 77 – 85% de los residuos generados en el sector agrícola del país, cubriendo en un 19% la demanda de energía eléctrica del país y en un 20 % la demanda de gas GLP (FvB, 2006); según Besel, S.A. (2007, pp. 34-42) tiene registros de 2 proyectos significativos en el departamento de Lérida- España, primero una planta de codigestión anaerobia ubicado en Vila-sana, el cual procesa anualmente 4300 toneladas anuales de residuos orgánicos y 11500 m³ anuales de purines de cerdo produciendo 1 528 000 kWh anuales, para este proyecto se hizo una inversión de 300 000 euros; el siguiente proyecto está ubicado en Juneda, el cual procesa anualmente 100 000 toneladas residuos; considerando estos proyectos significativos el en el Ecuador no es factible aun realizar un proyecto de esta magnitud, debido a que el volumen de residuos orgánicos captable no es el adecuado, además el país aún no existe una política de separación de residuos orgánicos e inorgánicos lo que dificulta la utilización de los residuos en este tipo de procesos, y en los pocos lugares donde se realiza la separación de residuos, en la disposición final son mezclados, como es el caso de la EP-EMMPA San Pedro de Riobamba que por normativa interna se separan residuos orgánicos e inorgánicos, pero al momento de que el servicio de recolección de residuos recoge los desechos, esos los mezcla en los carros recolectores. Además, se necesitaría la captación de residuos de otros sectores aledaños a la ciudad, utilizando autos especiales para la recolección de residuos orgánicos, los cuales no existen registros de que existan en el país, así que la aún falta recorrer un camino largo para lograr implementar un sistema de digestión anaerobia a gran escala en el país.

Tabla 16-3: Detalle de los materiales y la inversión

Cantidad	Material/ equipo	Costo unitario	Costo total (\$)	Vida útil (años)	Características
2	Tanque digestor	398	796	45	Tanque ROTOPLAS de 1.27x1.64m, cierre hermético
2	Motores	84	168	10	Motor NEO, monofásico, 1/2 hp, 4 polos
2	Bolsas reservorios de biogás	25	50	8	Plástico DISLAM, plástico doble, resistente y hermético, 1.8x5m
1	Sistema de purificación criogénica de biogás	4000	4000	15	Sistema de purificación de metano, da como resultado de 97%-98% de CH ₄ , 2%-3% de CO ₂
1	Compresor	103	103	10	Compresor De Aire Ptk 2 Hp, 24 Litros 110v.
1	Tanque estacionario de gas metano	225	225	20	Tanque ARMEBE, capacidad volumétrica 120lt, capacidad másica 45 kg, acabado fosfatizado.
2	Generadores	1500	3000	10	Generador RPM, 12.5 Kva, 110-220, 60 Hz
1	Hangar	3000	3000	40	Techos, piso paredes, sistemas de agua, ventilación y eléctricos para la planta de producción.
2	Instalaciones eléctricas	500	1000	-	Técnico
2	Adaptaciones de generador para metano	50	100	-	Técnico
1	Instalación del sistema	1500	1500	-	Técnico
TOTAL INVERSIÓN			13942		

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

CONCLUSIONES

Se determinó el índice de producción de residuos orgánicos entre vegetales y frutas del mercado Mayorista, teniendo una producción semanal promedio de 23453,05 kg de residuos netamente provenientes de las 13 naves de comercialización de productos vegetales y frutales, notándose que existe un crecimiento de la producción de residuos según crece la demanda y la oferta.

Se evaluó los análisis bromatológicos y fisicoquímicos de cada una de las mezclas de residuos orgánicos y lodos residuales, teniendo como resultado que las muestras reales sobrepasan los valores límites de grasas (3,87%) y de nitrógeno amoniacal (178mg/l), convirtiéndose estos parámetros en inhibidores en los procesos metanogénicos. Además, se observó que los rangos de humedad no eran los adecuados para procesos de codigestión anaerobia, por lo que se corrigió teóricamente los datos, llevando cada una de las mezclas a una humedad de 70%, teniendo como resultado 3 muestras teóricas, las cuales al ser diluidas teóricamente los parámetros de grasa y nitrógeno amoniacal bajaron hasta estar en rangos en donde no se consideran un inhibidor. Los seis datos fueron adoptados a fracción molar utilizando la tabla 11-2, debido ha que el modelo de simulación PSM está diseñado para procesar datos de fracción molar de las muestras.

Se simuló los datos de las mezclas de residuos teniendo como resultado la tabla 12-3, donde se observa que aparentemente S3 tiene una mayor producción de metano, pero al analizar la producción de metano en relación a los SV contenidos en la muestra se tuvo que S3-70 tuvo un rango de producción más amplio con $0,89 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgSV}$ y S3 produjo $0,42 \text{ m}^3\text{CH}_4/\text{kgSV}$. Se consideró S3-70 como el más óptimo para la producción de energía eléctrica, esta muestra produjo teóricamente $240,80 \text{ m}^3$ de CH_4 a partir de 1000kg de sustrato en 20 días de retención, lo que equivale a una producción diaria promedio de $13,02 \text{ m}^3$ de CH_4 , esto equivale a una producción diaria promedio de 60,18kw de energía eléctrica. Si se produjera todos los días esa cantidad de energía eléctrica se tendría un ahorro mensual de 1805.31kw que tiene un precio monetario de 180,06 dólares, cubriendo en un 14.52% el gasto mensual de energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

Realizar una actualización al modelo de simulación PSM en la que se incluyan inhibidores del proceso metanogénico que actualmente no están incluidos en el modelo de esta investigación.

Evaluar los diferentes sustratos comprometidos en procesos de codigestión anaerobia utilizando residuos orgánicos del mercado Mayorista de Riobamba, para comparar la eficiencia en producción de metano.

Establecer políticas de separación de residuos orgánicos e inorgánicos y de buen manejo de residuos en la ciudad de Riobamba.

Analizar la factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema de codigestión anaerobia para producir biogás para beneficio de la población de Riobamba a gran escala.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD. *Pliego tarifario para las empresas eléctricas* [En línea]. Ecuador: 2017. [Consulta: 12 octubre 2017]. Disponible en: <http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/01/Pliego-y-Cargos-Tarifarios-SPEE-2017.pdf>

ALMEIDA, A. et.al. “Expresión genética en la digestión anaerobia: un paso adelante en la comprensión de las interacciones tróficas de esta biotecnología”. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, vol. 3, n° 6 (2011), (Coahuila-México) pp. 14-34.

ANGELIDAKI, Irini; ELLEGAARD, Lars; AHRING, Birgitte. “A Comprehensive Model of Anaerobic Bioconversion of Complex Substrates to Biogas”. *Biotechnology and Bioengineering*, vol. 63, n°3 (1998), (Dinamarca) pp. 363-372.

ASÍS, Hermán; DOPAZO, Fabián; GIANOGLIO, Paulo. *Producción de energía a partir de biogás obtenido de residuos sólidos urbanos* [En línea]. San Francisco-Argentina: 2012. [Consulta: 14 julio 2017]. Disponible en: http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytal_frm/CyTAL_2012/TF/TF019.pdf

ASPEN TECH. *Aspen Plus* [En línea]. Estados Unidos: 2017. [Consulta: 16 octubre 2017]. Disponible en: <http://home.aspentech.com/products/engineering/aspn-plus>

BESEL, S.A. *Biomasa: Digestores anaerobios* [En línea]. Madrid-España: IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), 2007. [Consulta: 14 noviembre 2017]. Disponible en: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10737_Biomasa_Digestores_Anaerobios_A2007_0d62926d.pdf

BORJA, R.; et.al. “Estudio cinético del proceso de digestión anaerobia de aguas de lavado de aceitunas de almazara en reactores de mezcla completa con microorganismos inmovilizados”. *Grasas y Aceites*, vol.50, n° 2 (1999), (España) pp. 87-93.

BOULANGER, A.; et.al. “Effect of inoculum to substrate ratio (I/S) on municipal solid waste anaerobic degradation kinetics and potential”. *Waste Management*, vol. 32, n° 12 (2012), (Estados Unidos) pp. 23-26.

CAMACHO LÓPEZ, Christian Orlando. *Proceso de simulación de Biogás utilizando Aspen Plus*. Riobamba –Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Centro de Energías Alternativas, 2016. pp. 1-15.

CENDALES LADINO, Edwin Darío. *Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de la mezcla de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable* [En línea] (Tesis). (Magíster) Universidad de Colombia, Facultad de Ingeniería. Bogotá-Colombia. 2011. pp. 1-126. [Consulta: 20 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4100/1/edwindariocendalesladino.2011.parte1.pdf>

CORRALES, L.; et.al. “Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta”. *NOVA*, vol. 13, n° 23 (2015), (Colombia) pp. 55-81.

ECUADOR. EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL MERCADO DE PRODUCTORES AGRÍCOLAS (EP-EMMPA) SAN PEDRO DE RIOBAMBA. *Rendición de cuentas 2015*. Riobamba-Ecuador: 2015.

EVERETT, D.; KOOPAL, L. *Manual of Symbols and Terminology for Physicochemical Quantities* [En línea]. Washington DC-USA: International Union of Pure and Applied Chemistry, 1971. [Consulta: 29 octubre 2017]. Disponible en: http://old.iupac.org/reports/2001/colloid_2001/manual_of_s_and_t.pdf

FERNÁNDEZ, Georgina; VÁZQUEZ, Elizabeth; MARTÍNEZ, Pedro. “Inhibidores del proceso anaerobio: compuestos utilizados en porcicultura”. *Ingeniería*, vol. 6, n° 3 (2002), (Yucatán-México) pp. 67-71.

ECUADOR. GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE RIOBAMBA. *Plan estratégico de desarrollo cantonal* [En línea]. Riobamba-Ecuador: 2015. [Consulta: 23 noviembre 2017]. Disponible en: http://pep2022.posadas.gov.ar/uploads/pep2022/Riobamba_2020_Plan_Estrategico.pdf

GARCÍA AMADO, Karina. *Codigestión anaeróbica de estiércol y lodo de depuradora para producción de biogás* [En línea](Tesis). (Máster). Universidad de Cádiz, Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales. Andalucía-España: 2009, págs. 1-76. [Consulta: 20 noviembre 2017]. Disponible en: <http://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/7413/VERSION%20FINAL.pdf?sequence=1>

HASH COMPANY. *Manual de análisis de agua*. 2º ed. Loveland-Estados Unidos: HACH, 2010. pp. 53-214.

HERNÁNDEZ, M.; DELGADILLO, R. “Aplicación del modelo Adm1 en la digestión anaerobia de aguas residuales y desechos sólidos”. *Revista Tumbaga*, vol. 1, n° 6 (2011), (Colombia) pp. 29-42.

HERRERA, L.; et.al. “Tratamiento biológico de efluentes de industrias procesadoras de cangrejo azul usando lodos activados”. *Interciencia*, vol. 32, n° 7 (2007), (Chile) pp. 490-495.

ECUADOR. SERVICIO METEOROLÓGICO E HIDROLÓGICO NACIONAL DEL ECUADOR (INAMHI). *Boletín climatológico semestral 2016* [En línea]. Ecuador: INAMHI, 2016. [Consulta: 13 septiembre 2017]. Disponible en: http://www.serviciometeorologico.gob.ec/meteorologia/boletines/bol_sem.pdf

ECUADOR. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS (INEC). *Ecuador en cifras* [En línea]. Ecuador: INEC, 2017. [Consulta: 20 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>

ECUADOR. SERVICIO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN). *Servicio Ecuatoriano de Normalización* [En línea]. Ecuador: INEC, 2017. [Consulta: 23 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.normalizacion.gob.ec/>

JARUTA ROVIRA, Laura. “Digestión anaerobia para el tratamiento de residuos orgánicos: estudio de las necesidades para la implantación en Perú”. *Cuadernos internacionales de tecnología para el desarrollo humano*, vol. 1, n° 5 (2006), (Perú) pp. 1885-8104.

KAYHANIAN, Masound. “Biodegradability of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste in a High-Solids Anaerobic Digester”. *ISWA*, vol. 13, n° 1 (1995), (Austria) pp. 123-136.

KDM Energía S.A. *Biogás: Un combustible sustentable* [En línea]. Concepción-Chile: Universidad San Sebastián, 2010. [Consulta: 13 octubre 2017]. Disponible en: <http://www.uss.cl/pdf/Biogas%20Combustible%20Sustentable%20-%20Sergio%20Durandean%20-%20Gerente%20General%20KDM%20Energia%207-09-2011%20.pdf>

LIBRO VI ANEXO 6. *Norma de calidad ambiental para el manejo y disposición de desechos no peligrosos.*

LORENZO ACOSTA, Yaniris; OBAYA ABREU, Ma Cristina. “La Digestión Anaerobia”. *ICIDCA*, vol. 39, n° 1 (2005), (La Habana-Cuba) pp. 35- 48.

ECUADOR. MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR (MAE). *Programa ‘PNGIDS’ Ecuador* [En línea]. Ecuador: MAE, 2012. [Consulta: 22 octubre 2017]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/programa-pngids-ecuador/>

MARTÍ ORTEGA, Nuria. *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process* [En línea]. Boca Raton-Estados Unidos: 2006. [Consulta: 28 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.bookpump.com/dps/pdf-b/1123329b.pdf>

MINENERGIA, et.al. *Manual del biogás* [En línea]. Santiago-Chile: Proyecto CHI/00/G32, 2011. [Consulta: 28 agosto 2017]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/as400s/as400s.pdf>

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. *Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia* [En línea]. Colombia: 2003. [Consulta: 20 noviembre 2017]. Disponible en: <https://biblioteca.minminas.gov.co/pdf/ATLAS%20POTENCIAL%20ENERGETICO%20BIOMASA%20RESIDUAL%20COL.%20UPME.pdf>

MONNET, Fabien. *An introduction to anaerobic digestion of organic waster* [En línea]. Reino Unido: Remade Scotland, 2003. [Consulta: 03 octubre 2017]. Disponible en: <http://www.remade.org.uk/media/9102/an%20introduction%20to%20anaerobic%20digestion%20nov%202003.pdf>

NIELFA, A.; CANO, R.; FDZ-POLANCO, M. “Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge”. *Biotechnology Reports*, vol. 5, n° 1 (2015), (Reino Unido) pp. 14-21.

ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS (OEA). *Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala* [En línea]. Guatemala: Servicios Manufactureros, 2012. [Consulta: 17 octubre 2017]. Disponible en: <http://www.oas.org/dsd/Energy/Documents/SimposioG/3%20Panel%20I%20Biogas.pdf>

ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD (OPS). *Tanques imhoff y lagunas de estabilización* [En línea]. Lima-Perú: 2005. [Consulta: 1 noviembre 2017]. Disponible en: http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacg/guialcalde/2sas/d24/053_Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lag/Dise%C3%B1o_tanques_s%C3%A9pticos_Imhoff_lagunas_estabilizaci%C3%B3n.pdf

ORTIZ CABRERA, Marco Antonio. *Desarrollo de un simulador numérico basado en ADM1 de un reactor anaerobio ASBR* [En línea] (Tesis). (Máster). Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona-España. 2015. pp. 20-64. [Consulta: 29 octubre 2017]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/80317/TFM_MARCO_ORTIZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PERIS SERRANO, Roger. *Biogas process simulation using Aspen Plus* [En línea]. Cataluña-España: Universidad politécnica de Catalunya, 2011. [Consulta: 12 octubre 2017]. Disponible en: <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/14429/Biogas%20Process%20Simulation%20using%20Aspen%20Plus%20v3.pdf?sequence=1>

PLANTAS DE TRATAMIENTO ASA-JET. *Plantas de tratamiento de aguas residuales modular ASA-JET* [En línea]. Guadalajara-México: 2016. [Consulta: 05 octubre 2017]. Disponible en: https://plantasdetratamiento.com.mx/Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-1?gclid=Cj0KCQiA_5_QBRC9ARIsADVww14ZEqlfTf3dEcCfrsTReMh4uEVgXj7fMa6oAQmMsHFmfigiTz4fcH50aAnnOEALw_wcB

QUESADA, R., SALAS, M.; BOTERO, R. “Generación de energía eléctrica a partir de biogás”. *Tierra tropical*, vol. 3, n° 2 (2007), (Costa Rica). pp. 227-235.

QUIZHPI LÓPEZ, Luis Fernando. *Obtención de etanol a partir de los residuos orgánicos de la sección de frutas del Mercado Mayorista de Riobamba. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Tesis).* (Pregrado). ESPOCH, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2008. pp. 1-124.

RAJENDRA, et.al. “A novel process simulation model (PSM) for anaerobic digestion using Aspen Plus”. *Bioresource Technology*, vol. 168, n°168 (2014), (España) pp. 7-13.

RUIZ DUQUE, Héctor Alberto. *Generadores Eléctricos* [En línea]. Medellín-Colombia: Universidad EAFIT, 2011. [Consulta: 20 octubre 2017]. Disponible en: <https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/2981/ANEXO%20G-Generadores%20El%C3%A9ctricos.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

SAKURAI, Kunitoshi. *Programa regional OPS/EHP/CEPIS de mejoramiento de la recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos* [En línea]. Washington-Estados Unidos: 1981. [Consulta: 02 septiembre de 2017]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011978/011978-a.pdf>

SEMPERTEGUI MOREIRA, Jhosep Santiago. *Determinación de la producción de residuos sólidos domésticos y sus principales componentes de la ciudad de Riobamba. Riobamba 2008* (tesis). (Pregrado). ESPOCH, Facultad de Ciencias, Riobamba-Ecuador. 2008. pp. 48-59.

SIG DIPROREN. *Protocolo de uso del GPS* [En línea]. Bogotá-Colombia: 2014. [Consulta: 02 octubre 2017]. Disponible en: http://svyv.sag.gob.cl/dec_cos/apuntes/protocolo_toma_de_datos_sag.pdf

SOLARTE, J.; MARISCAL, J.; ARISTEZÁBAL, B. “Evaluación de la digestión y co-digestión anaerobia de residuos de comida y de poda en biorreactores a escala laboratorio”. *ION*, vol. 30, n°1 (2017), (Colombia) pp. 105-116.

TANDUKAR, Madan; PAVLOSTATHIS, Spyros. “Co-digestion of municipal sludge and external organic wastes for enhanced biogas production under realistic plant constraints”. *Water Research*, vol. 87, n° 1 (2015), (Canadá) pp. 432-445.

TWENERGY. *Energía eléctrica* [En línea]. Barcelona-España: 2017. [Citado el: 21 octubre 2017].
Disponible en: <https://twenergy.com/energia/energia-electrica>

MÉXICO, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM). *Fundamentos y técnicas de análisis de alimentos* [Manual]. México DF-México: Laboratorio de alimentos I, 2008, pp.1-28.

WIKISPACES. *Extracción sólido-líquido*. [En línea]. España: 2017. [Consulta: 24 agosto 2017].
Disponible en: <http://procesosbio.wikispaces.com/Extracci%C3%B3n+s%C3%B3lido-l%C3%ADquido>

ANEXO

Anexo A. PROCESO EXPERIMENTAL



Fotografía 1A. Inspección de la planta de tratamiento de aguas residuales Penipe.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017



Fotografía 2A. Toma de muestra de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017



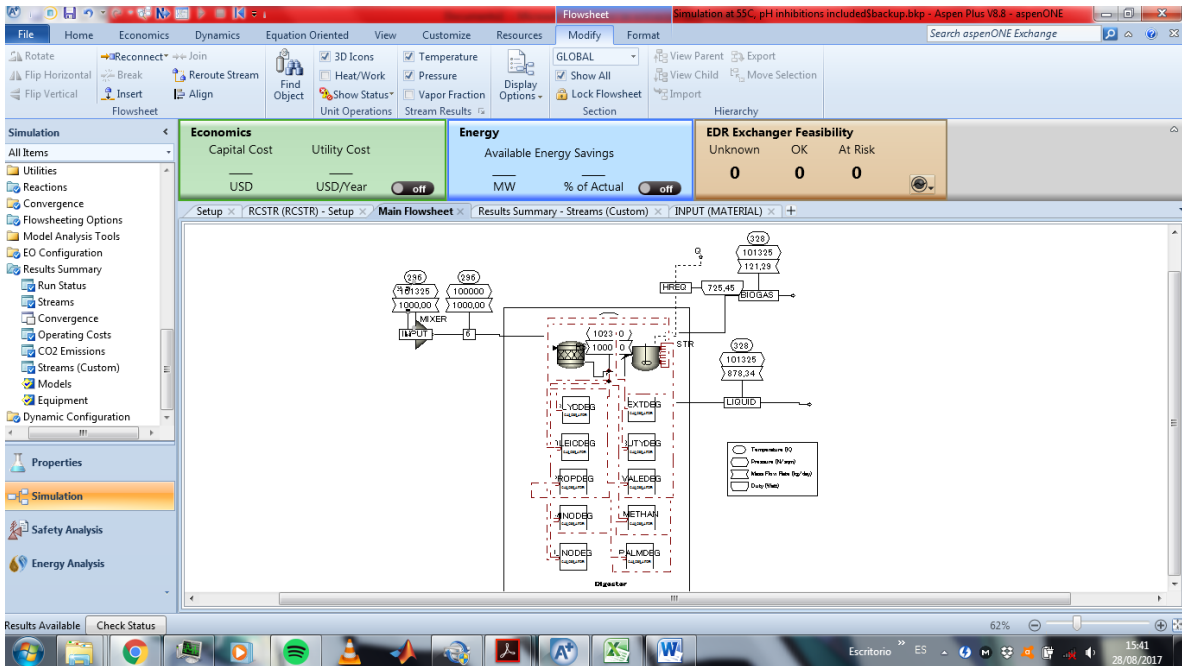
Fotografía 3A. Toma de muestra del mercado Mayorista de Riobamba.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017



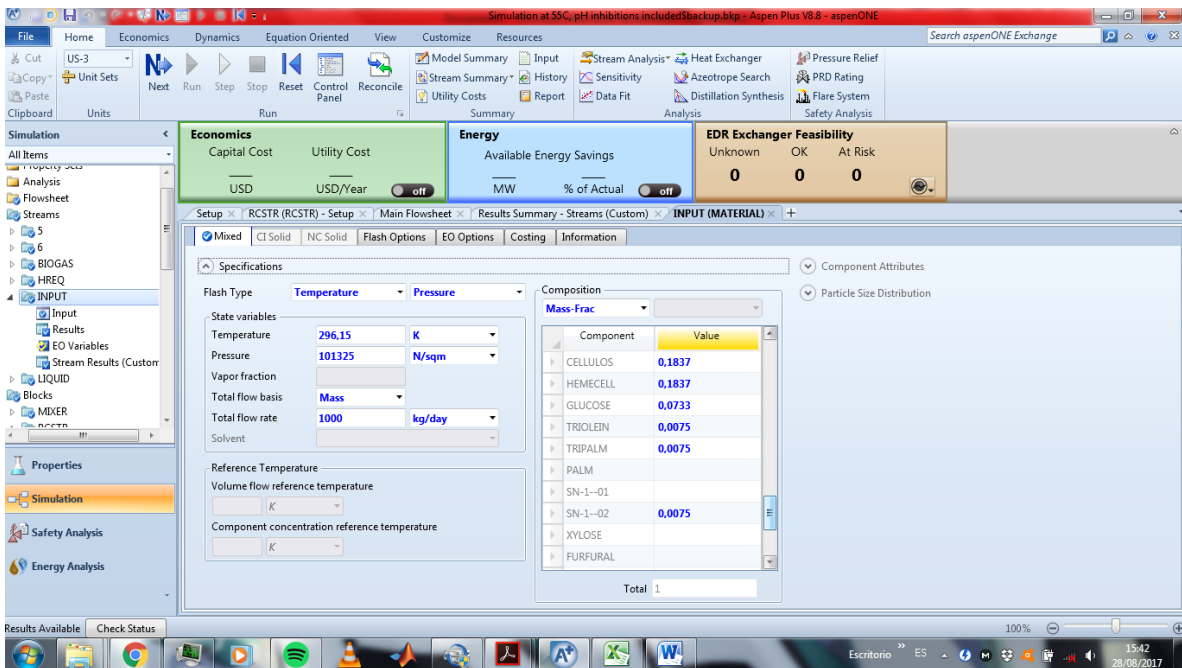
Fotografía 4A. Análisis de las muestras.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017



Fotografía 5A. Diagrama de flujo del modelo de simulación PSM.

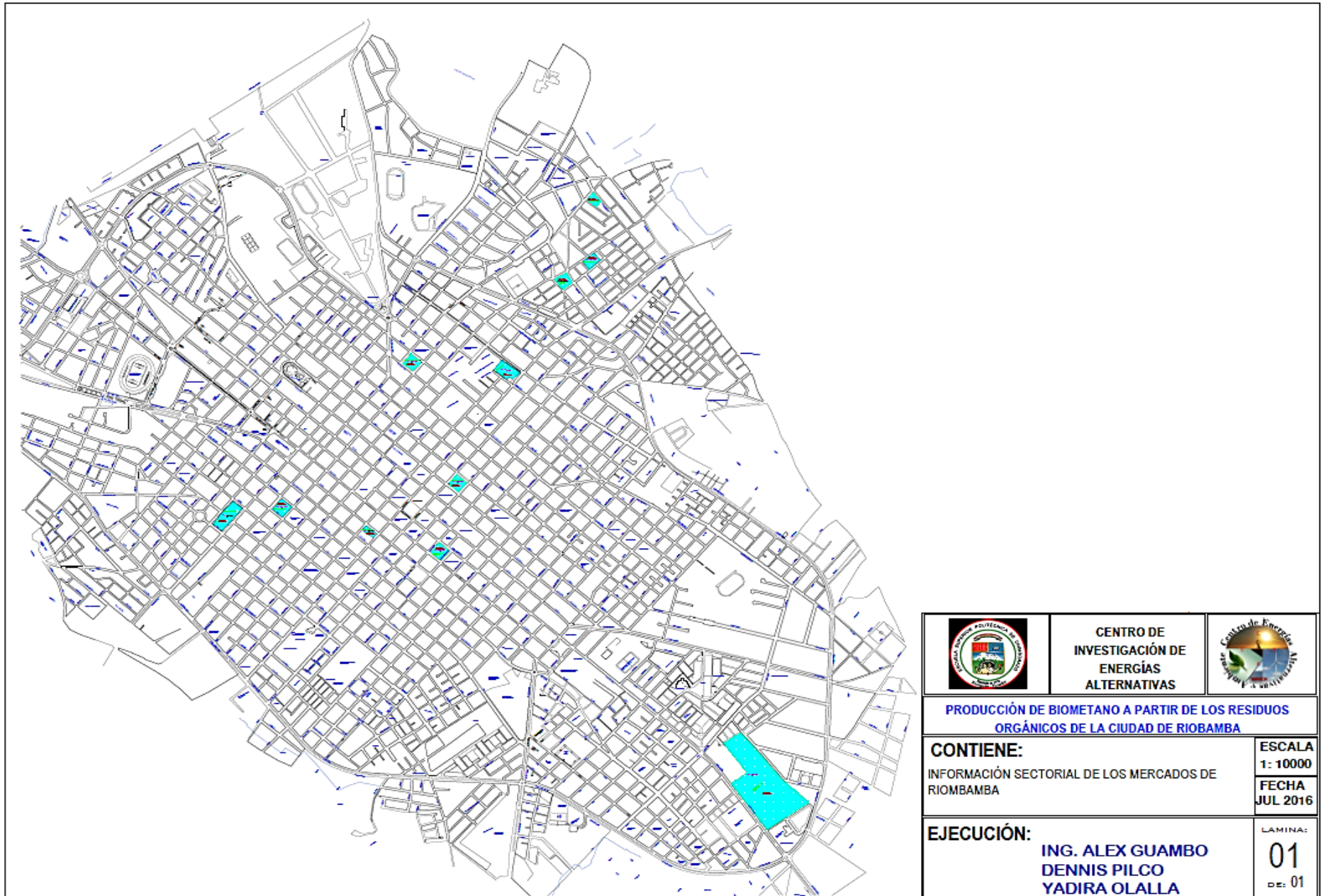
Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017



Fotografía 6A. Ventana de ingreso de datos en el modelo de simulación PSM.

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Anexo B. MAPA DE MERCADOS DE LA CIUDAD DE RIOBAMBA



Anexo C. ANÁLISIS PREVIO DE LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA CIUDAD DE PENIPE.



CORPLAB

Rigoberto Heredia Oe6 157 y Huachi
 Quito Ecuador
 T + 59 3 2341 4080
 ABN 84 0009 936 029
 www.corplab.net
 www.alsglobal.net

PROTOCOLO N°: 117504/2016-1.0	RJ-49
SISTEMA INTEGRADO DE GESTIÓN	Revisión: 08
	Página 2 de 3

RESULTADOS OBTENIDOS

PARÁMETROS ANALIZADOS	METODOLOGÍA DE REFERENCIA	METODO INTERNO CORPLAB	UNIDAD	11/27/2016 SI	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE	CRITERIO DE RESULTADOS
FÓSFORO(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012, 4500-P B y 4500-P C	PA - 49.00	mg/kg	<10,0	NO APLICA	NO APLICA
NITRÓGENO TOTAL KJELDAHL	Standard Methods Ed. 22, 2012, 4500-Norg C	PA - 72.00	mg/kg	613,1	NO APLICA	NO APLICA
POTENCIAL DE HIDRÓGENO	Standard Methods Ed. 22, 2012, EPA 9045 D, Rev. 04, 2004	PA - 05.00	UpH	7,17	6 a 8	CUMPLE
CADMIO(*)	Standard Methods Ed. 22, 2012, 3120 B / EPA 3050 B, diciembre 1996	TERCERIZADO (PARÁMETRO ACREDITADO)	mg/kg	<0,10	0,5	CUMPLE
COBALTO	EPA 3050 B Rev. 02, 1996 EPA 7200 Rev. 0, 1986	PA - 24.00	mg/kg	6,6	10	CUMPLE
CROMO TOTAL	EPA 3050 B Rev. 02, 1996 Standard Methods Ed. 22, 2012, 3111 B	PA - 18.00	mg/kg	7,3	54	CUMPLE
MERCURIO	EPA 7471 B Rev. 02, 2007 Standard Methods Ed. 22, 2012, 3112 B	PA - 57.00	mg/kg	<0,10	0,1	CUMPLE
NÍQUEL	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996 Standard Methods Ed. 22, 2012, 3111 B	PA - 08.00	mg/kg	16,0	19	CUMPLE
PLOMO	EPA 3050 B, Rev. 02, 1996 Standard Methods Ed. 22, 2012, 3111 B	PA - 09.00	mg/kg	16,3	19	CUMPLE
MATERIA ORGÁNICA(*)	WALKLEY BLACK, 1934	PA - 35.00	%	2,76	NO APLICA	NO APLICA
HUMEDAD(*)	EPA 160.3	PA - 85.00	%	11,77	NO APLICA	NO APLICA



Acreditación N° OAE LE 20 05-005
 LABORATORIO DE ENSAYOS


Anexo D. TABLA DE ECUACIONES PARA CÁLCULO DE CONSTANTES CINÉTICAS SEGÚN MODELO DE ANGELIDAKI.

Conversion	Kineic equation
Acidogenic glucose degrading step	$\mu = \mu_{\max}(T) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_s(T)}{[(C_6H_{10}O_5)_S]}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_{s,NH_3}}{[T - NH_3]}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{[LCFA]}{K_{i,LCFA}}} \right) F(pH)$
Lipolytic step	$\mu = \mu_{\max}(T) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_s}{[GTO]}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_{s,NH_3}}{[T - NH_3]}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{[LCFA]}{K_{i,LCFA}}} \right) F(pH)$
Amino-acid degrading step	$\mu = \mu_{\max}(T) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_s}{[A]}} \right) F(pH)$
LCFA acetogenic step	$\mu = \mu_{\max}(T) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_{s,LCFA}}{[LCFA]} + \frac{[LCFA]}{K_{i,LCFA}}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_{s,NH_3}}{[T - NH_3]}} \right) F(pH)$
VFA (propionate, butyrate) acetogenic step	$\mu = \mu_{\max}(T) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_s(T)}{[A]}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_{s,NH_3}}{[T - NH_3]}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{[HAC]}{K_{i,HAC}}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{[LCFA]}{K_{i,LCFA}}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{[H_2]}{K_{i,H_2}(T)}} \right) F(pH)$
Aceticlastic methanogenic step	$\mu = \mu_{\max}(T) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_s(T)}{[HAC]}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_{s,NH_3}}{[T - NH_3]}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{[NH_3]}{K_{i,NH_3}}} \right) \left(\frac{1}{1 + \frac{[LCFA]}{K_{i,LCFA}}} \right) F(pH)$
Hydrogen utilizing step	$\mu = \mu_{\max}(T) \left(\frac{1}{1 + \frac{K_s(T)}{[H_2]}} \right) F(pH)$
pH effect	$F(pH) = \frac{1 + 2 \cdot 10^{0,5(pH_i - pH_k)}}{1 + 10^{(pH - pH_k)} + 10^{(pH_i - pH)}}$; Lower and upper inhibition [ADM1] $F(pH) = \begin{cases} pH < pH_{UL} & e^{-3 \left(\frac{pH - pH_{UL}}{pH_{UL} - pH_{LL}} \right)^2} \\ pH > pH_{UL} & I = 1 \end{cases}$; Only lower inhibition [ADM1]
Types of inhibition	Free ammonia and hydrogen inhibition (7-12): Non competitive inhibition; $I = \frac{1}{1 + S_i/K_i}$ Secondary substrate inhibition (5-12): $I = \frac{1}{1 + K_i/S_i}$

Fuente: (Angelidaki, et al., 1998, p. 68)

Anexo E. DATOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA PROPORCIONADOS POR ERSSA.

SdC CsmCns Consulta de histórico de consumos



EMPRESA ELÉCTRICA RIOBAMBA
Trabajamos para

Abonado: **127993-4 EP-MUNICIPAL MER.PRODUC.A.SAN PEDRO** Ruta: **110**
500

Lec.Ant: **956564** Lec.Act: Consumo actual: **0** Prome
592

Situat en (año/mes). . . . Medidor: **ZDE**

Teclee opciones, pulse Intro

5=Consultar

Opc	Año/Mes	Lectura	Consumo	Demda	Tar	Fecha	Pago	Tipo	Reg.
_	2015 10	838105	11782 *	43	MNH	2015/10/20		LECTURA	
_	2015 9	826802	10525	44	MNH	2015/09/21		PROMEDIO	
_	2015 8	815174	11349	45	MNH	2015/08/19		LECTURA	
_	2015 7	803211	12035	45	MNH	2015/07/23		LECTURA	
_	2015 6	790885	11499	45	MNH	2015/06/29		PROMEDIO	
_	2015 5	778040	12356	43	MNH	2015/05/26		LECTURA	
_	2015 4	764811	13124	44	MNH	2015/04/27		LECTURA	
_	2015 3	751217	13054	46	MNH	2015/03/27		LECTURA	
_	2015 2	738014	13509	51	MNH	2015/02/26		LECTURA	
_	2015 1	724845	14218	46	MNH	2015/01/27		PROMEDIO	
_	2014 12	712000	11881	45	MNH	2014/12/15		PROMEDIO	

F3=Salir F7=Imprimir F8=Lectura PgUp/PgDn=Paginar



Abonado: **127993-4 EP-MUNICIPAL MER. PRODUC. A. SAN PEDRO** Ruta: **210**
500 Lec. Ant: **956564** Lec. Act: Consumo actual: **0** Prom
592 Situación en (año/mes). Medidor: **ZDE**

Teclee opciones, pulse Intro

5=Consultar

Kwh

Cantidad de energía usada en kWh de tiempo

Opc	Año/Mes	Lectura	Consumo	Demda	Tar	Fecha	Pago	Tipo	Reg.
-	2016 8	956564	11110	50	MNH			LECTURA	
-	2016 7	944972	10621	48	MNH	2016/07/19		LECTURA	
-	2016 6	932530	12583	46	MNH	2016/06/20		LECTURA	
-	2016 5	920239	11571	47	MNH	2016/05/24		LECTURA	
-	2016 4	907974	13173	45	MNH	2016/04/29		LECTURA	
-	2016 3	895480	12130	49	MNH	2016/03/29		PROMEDIO	
-	2016 2	883382	11491	48	MNH	2016/02/22		LECTURA	
-	2016 1	871521	13862	49	MNH	2016/01/28		LECTURA	
-	2015 12	860353	10940	44	MNH	2015/12/10		LECTURA	
-	2015 11	849324	10781	44	MNH	2015/11/18		LECTURA	
-	2015 10	838105	11782	43	MNH	2015/10/20		LECTURA	

F3=Salir F7=Imprimir F8=Lectura PgUp/PgDn=Paginar

AÑO	MES	Consumo mensual (kW/mes)	Consumo diario promedio (KW/día)
2014	12	11881	396,033
2015	1	14218	473,933
2015	2	13509	450,300
2015	3	13054	435,133
2015	4	13124	437,467
2015	5	12356	411,867
2015	6	11499	383,300
2015	7	12035	401,167
2015	8	11349	378,300
2015	9	10525	350,833
2015	10	11782	392,733
2015	11	10781	359,367
2015	12	10940	364,667
2016	1	13862	462,067
2016	2	11491	383,033
2016	3	12130	404,333
2016	4	13173	439,100
2016	5	11571	385,700
2016	6	12583	419,433
2016	7	10621	354,033
2016	8	11110	370,333
PROMEDIO TOTAL		12075,904	402,530

Realizado por: Yadira E Olalla P. 2017

Fuente: ERSSA. 2017

Anexo F. TÉCNICA DE ANÁLISIS PARA PARÁMETROS BROMATOLÓGICOS Y FÍSICO QUÍMICOS

DBO

- Se diluyó 20 ml de muestra aforada con agua destilada hasta 100ml.
- Se colocó la muestra aforada en un frasco ámbar, se agregó nutrientes de Mg, Ca y Fe, y KOH y se añadió un agitador magnético.
- Las botellas ámbar se taparon con los cabezales BOD SENSOR SYSTEM 6.
- Las mediciones fueron tomadas diariamente y se reportaron los datos durante 5 días, el dato del último día se toma para los análisis.

DQO

- Se encendió el HACH DR2800 en el método 435.
- Se diluyó 20 ml de muestra aforada con agua destilada hasta 100ml.
- Tomamos 2 ml de muestra diluida y se colocó en un tubo de HACH CAT 2125925.
- Se colocó los tubos en el reactor durante 30 minutos a 180°C, pasado el tiempo dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Leímos el blanco (agua destilada) en el HACH DR2800 y dejamos el equipo en CERO.
- Se tomó las lecturas de cada muestra.

NITRATOS

- Se encendió el HACH DR2800 en el método 4500-C y calibrar en longitud de onda 500 nm.
- Se llenó una celda con 25 ml de muestra y agregar el contenido de una bolsa de reactivo de nitrato NitraVer 5, se hizo lo mismo con el blanco (agua destilada).
- Las celdas fueron agitadas enérgicamente durante 1 minuto.
- Leímos el blanco en el HACH DR2800 y dejamos el equipo en CERO.
- Se tomó las lecturas de cada muestra.

NITRITOS

- Se encendió el HACH DR2800 en el método 4500-B y calibrar en longitud de onda 507 nm.
- Se llenó una celda con 10 ml de muestra y se agregó el contenido de una bolsa de reactivo de nitrato NitraVer 3, se hizo lo mismo con el blanco (agua destilada).
- Las celdas se agitaron enérgicamente hasta disolver el polvo.
- Leímos el blanco en el HACH DR2800 y dejamos el equipo en CERO.
- Se tomó las lecturas de cada muestra.

CLORUROS

- Se encendió el HACH DR2800 en el método 2540-F y calibrar en longitud de onda 530 nm.
- Se llenó una celda de 25 ml con 10 ml de muestra y se agregó el contenido de una bolsa de reactivo polvo de cloro DPD y completamos los 25 ml de la celda con agua destilada.
- Las celdas se agitaron enérgicamente hasta disolver el polvo.
- Leímos el blanco en el HACH DR2800 y dejamos el equipo en CERO.
- Se tomó las lecturas de cada muestra.

NITRÓGENO AMONIAICAL

- Se encendió el HACH DR2800 en el método 4500-F y se calibró en longitud de onda 425 nm.
- Se llenó una probeta con 25 ml de cada muestra y de blanco (agua destilada)
- Se agregó 3 gotas de estabilizador mineral a cada probeta.
- Se añadió 3 gotas de agente de dispersión de alcohol polivinílico en cada probeta y se agitó.
- Se colocó 1 ml de reactivo Nessler a cada probeta y se agitó.
- Las muestras se colocaron en las celdas de lectura y se leyó el blanco en el HACH DR2800 y dejamos el equipo en CERO.
- Se tomó las lecturas de cada muestra.

FOSFATOS

- Se encendió el HACH DR2800 en el método 4500-P y se calibró en longitud de onda 890 nm.
- Se colocó 5 ml de muestra en un tubo para Fosforo total, se realizó los mismos pasos con el blanco (agua destilada).
- Se colocó en cada tubo 1 bolsa de persulfato de potasio para fosfatos, se tapó y agitó hasta disolver.

- Los tubos se pusieron en el reactor durante 30 minutos a 150°C, pasado el tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Se añadió 2 ml de hidróxido de sodio 1.54 N a los tubos y se agitó.
- Se agregó el contenido de 1 bolsa de reactivo de fosfatos PhosVer en los tubos.
- Leímos el blanco en el HACH DR2800 y dejamos el equipo en CERO.
- Se tomó las lecturas de cada muestra.

NITRÓGENO TOTAL

- Se encendió el HACH DR2800 2540- y se calibró en longitud de onda 460 nm.
- En tubos de Nitrógeno total HR hidróxido se colocó 0.5 ml de solución y el contenido del reactivo nitrógeno persulfato.
- Se colocó los tubos en el reactor 30 minutos a 105°C, pasado el tiempo se dejó enfriar a temperatura ambiente.
- Se agregó a cada tubo el contenido del reactivo A de nitrógeno total (TN), se agitó por 15 segundos y se dejó reposar 3 minutos.
- Se añadió el reactivo B de Nitrógeno total (TN) se agitó 15 segundos y se dejó reposar 2 minutos.
- En tubos de TN Reagent C se adicionó 2 ml de muestra digerida en los tubos anteriores y se agitó hasta que estén calientes al tacto.
- Se consideró blanco al segundo tubo (TN Reagent C).
- Se esperó 5 minutos ya que el color amarillo puede inferir en la lectura.
- Leímos el blanco en el HACH DR2800 y dejamos el equipo en CERO.
- Se tomó las lecturas de cada muestra.

SÓLIDOS TOTALES Y HUMEDAD

- Se preparó la estufa a 105°C.
- Se rotuló y pesó los crisoles limpios y secos que se usaron para la práctica.
- Se dejó los crisoles en la estufa durante 2 horas.
- Transcurrido el tiempo se colocó los crisoles en el desecador 1 hora y se pesó, se repitió el proceso hasta que los pesos sean constantes.
- Al momento que los pesos de los crisoles son constantes, se colocó en cada crisol 10 gramos de muestra.

- Se dejó los crisoles con la muestra en la estufa a 105°C por 24 horas, transcurrido el tiempo se colocó los crisoles con la muestra en el desecador 1 hora y se tomó los pesos.
- Se volvió a colocar los crisoles con la muestra por 2 horas en la estufa, transcurrido el tiempo se colocó los crisoles con la muestra en el desecador durante 1 hora y se pesó. Se repitió el procedimiento hasta que los pesos sean constantes.

–

Para calcular los datos requeridos tenemos las siguientes ecuaciones:

Pi=peso inicial de muestra

Pf=peso final de muestra

ρ = densidad de la muestra

$$\text{SÓLIDOS TOTALES} = \left(\frac{\rho * Pf}{Pi} \right) * (1000) (\text{mg/l})$$

$$\text{HUMEDAD} = \left(\frac{(Pi - Pf) * 100}{Pi} \right) (\%)$$

SÓLIDOS VOLÁTILES Y CENIZAS

- Se usaron los crisoles con muestra del procedimiento para calcular sólidos totales.
- Se llevó los crisoles con muestra a una parrilla y se quemó lentamente la muestra hasta que no desprenda humo, evitando que la flama toque la muestra.
- Los crisoles fueron colocados en una mufla a 600°C por 1 horas, transcurrido el tiempo se los dejó enfriar en un desecador durante 1 hora y se pesó.
- Se regresó los crisoles a la mufla por 1 hora, transcurrido el tiempo se los dejó enfriar en un desecador durante 1 hora y se pesó, se repitió este paso hasta que los pesos sean constantes.

Para calcular los datos requeridos tenemos las siguientes ecuaciones:

Pi=peso inicial de muestra

Pf=peso final de muestra sin calcinar

ρ = densidad de la muestra

Pff=peso final de muestra calcinada

$$\text{SÓLIDOS VOLÁTILES} = \left(\frac{\rho * (Pf - Pff)}{Pi} \right) * (1000) (\text{mg/l})$$

$$\text{CENIZAS} = \left(\frac{P_{ff} * 100}{P_i} \right) (\%)$$

GRASAS

- Se secó 25 gramos de muestra en la estufa a 105°C por 24 horas, ya seca la muestra se molió.
- Se coció un dedal de papel filtro para cada muestra y se pesó.
- Se secó el dedal y el matraz en la estufa durante 30 minutos, se colocó en el desecar 10 minutos y se pesó, se repitió este paso hasta que el peso sea constante.
- Se pesó 5 gramos aproximadamente de muestra dentro del dedal de papel filtro.
- Se puso el matraz de extracción en el sistema soxhlet el dedal en el tubo de extracción y se adicionó el solvente al matraz.
- Se calentó el matraz con el benceno a máximo 65°C.
- Se extrajo la muestra con el solvente por 5 horas a una velocidad constante.
- Una vez terminada la extracción se eliminó el solvente por evaporación en baño María bajo la campana de absorción hasta que no se detecte olor a Benceno.
- Se secó el matraz con la grasa en estufa a 105°C por 10 min, se dejó enfriar en el desecador y se pesó.

Para calcular el dato requerido tenemos la siguiente ecuación:

m=peso de la muestra

m1=tara del matraz vacío

m2=peso del matraz con grasa

$$\text{GRASA} = \frac{(m_2 - m_1) * (100 - \% \text{HUMEDAD})}{m} (\%)$$

FIBRA CRUDA

- Se pesó 3 gramos de muestra desgrasada y seca.
- Se colocó la muestra en un matraz de cuello esmerilado y se adicionó 200 ml de ácido sulfúrico 0.255N.
- Se colocó el condensador y se llevó a ebullición por 30 minutos exactos, moviendo constantemente el matraz para las partículas que se adherían a las paredes.

- Se instaló en embudo Buchner con papel filtro, donde se filtró al vacío el contenido del matraz, lavando el matraz y el filtro con agua hirviendo.
- Se transfirió el residuo al matraz con la ayuda de una pizeta que contenía 200 ml de solución de NaOH 0.313N y se dejó hervir por 30 minutos y repitió el paso del filtrado en vacío.
- Se filtró el contenido del matraz en un crisol de filtración, se lava los residuos con agua hirviendo, con solución de HCl al 1% y muévanle con agua hirviendo, y realizamos el último lavado con éter de petróleo.
- Se dejó los crisoles en la estufa a 105°C por 12 horas, enfriarlos en un desecador y pesar sin tocarlos directamente.
- Se llevó los crisoles a una mufla a 550°C por 3 horas, se los dejó enfriar en un desecador
- y se pesó.

Para calcular el dato requerido tenemos la siguiente ecuación:

m=peso de muestra

m1=peso del crisol con muestra seca

m2=peso de crisol llevado a la mufla

$$\text{FRIBRA CRUDA} = \frac{(m1 - m2) * (100 - (\% \text{HUMEDAD} + \% \text{GRASA}))}{m}$$

PROTEÍNAS

- Se pesó un 1g de muestra y colóquelo en el matraz Kjeldahl.
- Se agregó 10g de sulfato de potasio, 0.5 de sulfato cúprico y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado (98%).
- Se conectó el matraz a la trampa de absorción que contiene 250 ml de hidróxido de sodio al 15 %.
- Se calentó en baño María y una vez la solución estaba transparente, se dejó en ebullición 15 minutos más.
- Se enfrió y agregó 200 ml de agua.
- Se conectó el matraz al aparato de destilación y se agregó lentamente 100 ml de NaOH al 30 % por el embudo, y cerrar la llave.
- Se conectó el matraz a la unidad de destilación, se calentó y se colectó 50 ml del destilado conteniendo el amonio en 50 ml de solución indicadora.

- Al terminar de la destilación se sacó el matraz el matraz receptor y se tituló con la solución estándar de ácido clorhídrico al 0.1N.

Para calcular el dato requerido tenemos la siguiente ecuación:

m= peso de la muestra

A=Ácido clorhídrico usado en la titulación (ml)

N= normalidad estándar del ácido estándar.

$$\text{PROTEÍNA} = \left(100 * \left\{ \left[\frac{(A * N)}{m} \right] * 0.014 \right\} \right) * 6.25 (\%)$$

GLUCOSA

Para realizar el análisis del parámetro glucosa se realiza el siguiente procedimiento:

- Preparación de la muestra
 - En tubos de ensayo de puso 2 ml de alícuota de solución de hidrato de carbono, a cada muestra se añadió 1 ml de solución al 5 % de fenol y 5ml de ácido sulfúrico concentrado y mezclar.
 - Se dejó reposar durante 10 minutos, transcurrido el tiempo se agitó vigorosamente durante 30 segundos, y se colocó 20 minutos a baño María con temperatura de 25°C, hasta que cambie de color.
 - Se realizó los mismos con las muestras y el blanco.
 - Con la ayuda de un espectrómetro se leyó la absorbancia a una longitud de onda de 490 nm.
- Preparación de la curva patrón
 - Se determinó las diferentes concentraciones del carbohidrato partiendo de 0.01 % que indicaba 0.1 gramos en 1000 ml de agua.
 - Posteriormente se tomó alícuotas de 0.1; 0.2; 0.3 y se completó a volumen para 1.0 ml con agua destilada.
 - Por último, se añadió el fenol y el ácido sulfúrico siguiendo la metodología anteriormente mencionado, para ser leídas en el espectrofotómetro.

Tabla 1D: Preparación de las soluciones patrón para la elaboración de la curva patrón.

Nº de tubos	patrón del azúcar (0.1 g/ 1000 ml)	agua (ml)	fenol 5% (ml)	H ₂ SO ₄ (ml)	Concentración µ/ml	Absorbancia
1	0.1	0.9	1.0	5.0	10 µ/ml	-
2	0.2	0.8	1.0	5.0	-	-
3	0.3	0.7	1.0	5.0	-	-
4	0.4	0.6	1.0	5.0	-	-
5	0.5	0.5	1.0	5.0	-	-
6	0.6	0.4	1.0	5.0	-	-
7	0.7	0.3	1.0	5.0	-	-
8	0.8	0.2	1.0	5.0	-	-
blanco	0.9	0.1	1.0	5.0	-	-

Fuente: (Cristancho Cruz & Monroy Soler, 2014, p. 6)

Para el cálculo de la concentración molar de carbohidrato patrón se usó la relación:

$$X(\mu/ml) = \frac{0.1ml * X_{gramos\ de\ azucar}}{1000ml}$$

- Se calibró el espectrómetro usando el blanco que se tiene provisto, ajustándolo al 100% de transmitancia y 0,000 de absorbancia.
- Una vez que se midió las absorbancias de cada concentración se hizo una gráfica de absorbancia vs concentración de cada solución.
- La ecuación de linealidad que nos dio la gráfica de la curva patrón se tomó como referencia para hallar matemáticamente la concentración del azúcar presente en nuestras muestras.
- Después se procedió a medir la absorbancia de las muestras.

Para esto tenemos que la ecuación de linealidad en la curva patrón es:

Y= absorbancia del analito

M=pendiente

x=el valor que buscamos

b=es el intercepto

$$Y = mx + b$$

La ecuación nos arrojó datos de concentración diluida en ppm, para ello se realizó los cálculos necesarios para determinar la concentración en gramos de la muestra analizada.

EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO

Para calcular el dato requerido tenemos la siguiente ecuación:

H=porcentaje de humedad

P=porcentaje de proteína

G=porcentaje de grasa

F=porcentaje de fibra cruda

C=porcentaje de ceniza

$$\text{EXTRACTO LIBRE DE NITRÓGENO} = [100 - (H + P + G + F + C)](\%)$$