



**FACULTAD DE POSTGRADO**

**TESIS DE POSTGRADO**

**VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS PARA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO  
AUTOCONSUMO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE JUTICALPA, OLANCHO**

**SUSTENTADO POR:**

**OSVAL OMAR SÁNCHEZ VARELA**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE**

**TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS,**

**C.A.**

**ABRIL 2016**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA  
UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**LUIS ORLANDO ZELAYA MEDRANO**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**VICERRECTOR ACADÉMICO**

**MARLON BREVÉ REYES**

**DECANO DE LA FACULTAD DE POSTGRADO**

**JOSÉ SERMEÑO LIMA**

**VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS PARA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO  
AUTOCONSUMO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE JUTICALPA, OLANCHO**

**TRABAJO PRESENTADO EN CUMPLIMIENTO DE LOS  
REQUISITOS EXIGIDOS PARA OPTAR AL TÍTULO DE**

**MÁSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE**

**ASESOR METODOLÓGICO**

**WILFREDO CESAR FLORES CASTRO**

**ASESOR TEMÁTICO**

**GEOVANY PINEDA BENÍTEZ**

**MIEMBROS DE LA TERNA**

**MOISÉS STARKMAN**

**JORGE CENTENO**

**CARLOS ZELAYA OVIEDO**



**FACULTAD DE POSTGRADO**

**VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS PARA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO  
AUTOCONSUMO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE JUTICALPA, OLANCHO**

**AUTOR:**

**OSVAL OMAR SÁNCHEZ VARELA**

**RESUMEN**

Honduras presenta un crecimiento poblacional acelerado, y esto genera carga extra sobre los sistemas de tratamiento de aguas residuales existentes, por lo que las autoridades competentes han creado planes estratégicos, para mejorar las plantas de tratamiento y ampliar la cobertura del

servicio en el área urbana y rural; esta ampliación la planean lograr mediante la instalación de nuevos proyectos. Cabe mencionar que las plantas de tratamiento existentes incurren en gastos operacionales que usualmente no pueden ser absorbidos por el estado, lo que causa el abandono de las instalaciones o bien, que las mismas funcionen de forma limitada. También dicha ampliación considera la modernización de los métodos de tratamiento de aguas residuales, utilizando nuevos componentes como ser los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB por sus siglas en inglés). Estos nuevos proyectos no consideran el uso de los subproductos como ser el biogás o del biofertilizantes, por lo tanto los disponen al medio ambiente sin ningún control. El presente estudio desea proponer un caso práctico, aprovechando la modernización de las plantas de tratamiento y usando el biogás para generar electricidad que supla las necesidades propias de la planta, todo esto nos servirá para brindar una solución de sostenibilidad ambiental, social y económica para que el resto de proyectos puedan replicarla y así brindar un servicio óptimo a la población, sin incurrir en problemas económicos ni de mantenimiento

**Palabras claves:** aguas residuales, biogás, Honduras, UASB, saneamiento, sostenibilidad.



**FACULTAD DE POSTGRADO**

**VIABILIDAD DE LA UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS PARA  
GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA COMO  
AUTOCONSUMO EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE JUTICALPA, OLANCHO**

**BY:**

**OSVAL OMAR SÁNCHEZ VARELA**

**ABSTRACT**

Honduras has an accelerated population growth, and this generates extra load on the current sewage water treatment systems. Authorities have established strategic plans to improve the treatment plants and to expand service coverage in urban and rural areas; they plan to achieve this expansion by installing new projects. It is noteworthy to mention that the existing treatment plants

incur operating expenses that usually can not be absorbed by the state, causing limited function or the abandonment of the facility. Additionally, the expansion considers the modernization of sewage water treatment methods, using new components such the Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor (UASB). These new projects will not consider the use of by-products such as biogas or bio-fertilizers; therefore they are disposed into the environment without control. This study would like to propose a case study that will take advantage of the modernization of treatment plants and use the biogas to generate electricity that meets the needs of the plant. All of this will help provide a sustainable environmental, social, and economical solution for the rest of the projects to replicate and thus provide optimal service to the population without incurring economic or maintenance problems.

**Keywords:** wastewater, biogas, Honduras, UASB, sanitation, sustainability.

## **DEDICATORIA**

PRIMORDIALMETE A DIOS, POR SER EL SUSTENTO NECESARIO PARA MANTENERME CON SALUD Y PARA CULMINAR UNA ETAPA MÁS DE MI VIDA PROFESIONAL, POR ILUMINAR MI MENTE Y AYUDARME EN TODO MOMENTO QUE LE PEDÍ DIRECCIÓN PARA CULMINAR CON ÉXITO EL PRESENTE ESTUDIO.

A MIS PADRES, POR SER UN APOYO INCONDICIONAL EN TODO MOMENTO.

A MI ESPOSA, POR ESTAR SIEMPRE A MI LADO Y SER EL MOTIVO POR EL CUAL SIGO ADELANTE.

**OSVAL OMAR SÁNCHEZ VARELA**

## **AGRADECIMIENTO**

AGRADEZCO A MI ASESOR METODOLÓGICO DR. WILFREDO CESAR FLORES CASTRO POR BRINDARME LAS DIRECTRICES NECESARIAS PARA LA ELABORACIÓN DE LA PRESENTE TESIS DE GRADUACIÓN.

AL ING. GEOVANY PINEDA BENÍTEZ, POR SU APOYO COMO CATEDRÁTICO Y ASESOR TEMÁTICO. A TODOS LOS CATEDRÁTICOS POR COMPARTIR SUS CONOCIMIENTOS A LO LARGO DE MI CARRERA.

A LAS AUTORIDADES PROFESIONALES DEL SISTEMA AUTÓNOMO DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS POR SU COLABORACIÓN Y LA INFORMACIÓN BRINDADA.

A LAS AUTORIDADES PROFESIONALES DE CONSULTORES ASOCIADOS DE HONDURAS S.A. DE C.V. POR SU INMENSA COLABORACIÓN Y LA INFORMACIÓN BRINDADA.

A MI FAMILIA POR SU APOYO INCONDICIONAL A LO LARGO DE ESTA ETAPA.

**OSVAL OMAR SÁNCHEZ VARELA**

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN .....	1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA .....	2
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA .....	4
1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO .....	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	5
1.5 JUSTIFICACIÓN .....	6
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>8</b>
2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL.....	8
2.1.1 ANÁLISIS DEL MACRO ENTORNO.....	8
2.1.3 ANÁLISIS INTERNO.....	28
2.2 TEORÍA DE SUSTENTO .....	37
2.2.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....	37
2.2.2 ETAPAS DE DIGESTIÓN O PROCESO ANAEROBIO .....	38
2.2.3 REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA O USAB).....	40

2.2.4 PROCESOS DE CAPTACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS .....	43
2.2.5 METANO Y EL CAMBIO CLIMATICO .....	47
2.2.6 ESTIMACION DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS .....	48
2.2.7 ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ELÉCTRICIDAD .....	49
2.2.8 VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS .....	49
2.2.9 SOSTENIBILIDAD DEL SANEAMIENTO .....	50
2.3 CONCEPTUALIZACIÓN.....	51
2.3.1 PARAMETROS FISICOS.....	51
2.3.2 PARAMETROS QUIMICOS.....	52
2.3.3 TIEMPO DE RETENCIÓN Y TIEMPO DE RESIDENCIA.....	54
2.4 INSTRUMENTOS.....	54
2.4.1 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	54
2.4.2 PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS.....	55
2.5 MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL.....	55
2.5.1 MARCO JURIDICO.....	55
2.5.2 MARCO INSTITUCIONAL .....	57
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>62</b>
3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA .....	62
3.1.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES .....	63

3.1.3 HIPÓTESIS .....	66
3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS.....	66
3.3 MATERIALES .....	68
3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....	68
3.4.1 POBLACIÓN.....	69
3.4.2 MUESTRA .....	69
3.4.3 UNIDAD DE ANÁLISIS .....	69
3.4.4 UNIDAD DE RESPUESTA.....	70
3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS .....	70
3.5.1 INSTRUMENTOS.....	70
3.5.2 TÉCNICAS.....	71
3.6 FUENTES DE INFORMACIÓN .....	71
3.6.1 FUENTES PRIMARIAS .....	71
3.6.2 FUENTES SECUNDARIAS .....	72
3.7 LIMITANTES DEL ESTUDIO.....	72
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>74</b>
4.1 PROCESO ACTUAL .....	74
4.2 DEFINICIÓN.....	75
4.3 MEDICIÓN.....	75

4.3.1 CAUDAL.....	75
4.3.2 TEMPERATURA AMBIENTE .....	77
4.3.3 EFICIENCIA DEL SISTEMA Y CANTIDAD DE DQO.....	78
4.3.4 ESTIMADO DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA.....	79
4.4 ANÁLISIS .....	80
4.4.1 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS .....	80
4.4.2 PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD .....	81
4.5 MEJORAS AL SISTEMA.....	82
4.7 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO.....	83
4.7.1 ANÁLISIS DE COSTOS.....	83
4.7.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN .....	83
4.7.1.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	84
4.7.1.3 SIMULACIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN .....	85
4.7.2 ANALISIS DE BENEFICIOS.....	91
4.8 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS .....	92
4.9 CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS Y SU HALLAZGO .....	93
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>95</b>
5.1 CONCLUSIONES .....	95
5.2 RECOMENDACIONES.....	96

<b>CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD .....</b>	<b>98</b>
6.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA.....	98
6.2 INTRODUCCIÓN .....	98
6.3 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN .....	99
6.3.1 PLAN DE ACCIÓN A CORTO PLAZO .....	99
6.3.2 PLAN DE ACCIÓN A LARGO PLAZO .....	101
6.4 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN .....	102
6.4.1 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN PLAN DE CORTO PLAZO .....	102
6.4.2 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN PLAN DE LARGO PLAZO .....	103
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>105</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>111</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Países de Europa con mayor producción primaria de biogás en los años 2011-2012 (ktep) .....	10
Tabla 2. Países de Europa con mayor producción bruta de electricidad a partir del biogás en los años 2011-2012 (GWh) .....	10
Tabla 3. Potencial de Electricidad a partir del Biogás generado por estiércol de ganado en Brasil .....	11
Tabla 4. Potencial de Electricidad a partir del Biogás generado por la codigestion de la vinaza y el bagazo de caña.....	12
Tabla 5. Potencial de producción de Metano y energía eléctrica de la región municipal de Sao pablo y Brasil, según IPCC .....	12
Tabla 6. Descripción de las instalaciones de aprovechamiento de Biogás .....	13
Tabla 7. Potencial de producción de biogás, almacenamiento y uso en las instalaciones de Estados Unidos.....	14
Tabla 8. Unidades Productivas apoyadas por FIRCO, para el aprovechamiento del biogás (biodigestor + moto generador).....	15
Tabla 9. Distribución del tipo de saneamiento según el área de ubicación .....	18
Tabla 10. Tecnologías o soluciones más usadas en Honduras. ....	19
Tabla 11 Parámetros de diseño de PTAR Juticalpa, Olancho. Etapa I .....	29

Tabla 12 Composición aproximada del biogás.....	42
Tabla 13 Propiedades físicas del biogás. ....	42
Tabla 14 Intervalos de temperatura en las que trabajan las bacterias anaeróbicas. ....	51
Tabla 15 Matriz Metodológica .....	62
Tabla 16 Operacionalización de las variables.....	64
Tabla 17. Cantidad de DQO de las muestras analizadas .....	78
Tabla 18. Estimado del consumo eléctrico de PTAR Juticalpa .....	79
Tabla 19. Carga orgánica promedio en las aguas residuales .....	80
Tabla 20. Potencial de biogás (60% de metano) en las aguas residuales .....	81
Tabla 21. Potencial de energía térmica. ....	82
Tabla 22. Potencial de energía eléctrica. ....	82
Tabla 23. Costos de inversión de las opciones del equipo generador.....	83
Tabla 24. Costos de Operación y Mantenimiento del equipo generador de 40 y 50 kW ....	84
Tabla 25. Resultado de simulación de los costos.....	91
Tabla 26. Flujo de caja de la inversión y el ahorro de la implementación del generador ...	92
Tabla 27. Resumen de cumplimiento de Objetivos establecidos.....	94

Tabla 28. Flujo de caja de la inversión Generador 50 kW conectado a la red. .... 100

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del tipo de saneamiento a nivel Nacional .....	17
Figura 2 Ubicación de PTAR Juticalpa .....	29
Figura 3 Plano de Conjunto de PTAR Juticalpa .....	36
Figura 4 Composición media de las aguas residuales urbanas (ARU) .....	38
Figura 5. Etapas de la fermentación anaeróbica .....	40
Figura 6 Proceso de Captación y utilización del Biogás .....	43
Figura 7 Diagrama de Instituciones del sector agua potable y saneamiento .....	57
Figura 8 Diagrama de variables .....	63
Figura 9 Flujograma de la metodología .....	65
Figura 10 Estructura Metodológica. ....	67
Figura 11. Gráfico del caudal entrante a la PTAR Juticalpa.....	76
Figura 12. Variación histórica de la temperatura ambiental .....	77
Figura 13. Esquema del Sistema de generación 40 y 50kW .....	85
Figura 14. Serie de tiempo para la Potencia de salida del generador (kW).....	86
Figura 15. Serie de tiempo para el Consumo de combustible diario (kg de biogás) .....	87

Figura 16. Comportamiento del generador de 40 kW .....	88
Figura 17. Comportamiento del generador de 50 kW .....	89
Figura 18. Exceso de energía por generador.....	90
Figura 19. Ubicación de proyectos con potencial de explotación .....	101
Figura 20. Cronograma de Plan de Corto Plazo .....	102
Figura 21. Plantas de tratamiento con eliminación o aprovechamiento de biogás .....	103
Figura 22. Cronograma de Plan de Largo Plazo .....	104

## **ANEXOS**

Anexo 1. Inventario de Plantas de tratamiento en Honduras.....	111
Anexo 2. Datos obtenidos de Caudal.....	114
Anexo 3. Datos Estación pluviométrica “La Conce” .....	117

# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo encontraremos la información para la “Viabilidad de la utilización del biogás para generación de energía eléctrica como autoconsumo, en la planta de tratamiento de aguas residuales de Juticalpa, Olancho”, se describe el objeto de estudio partiendo de la introducción y los antecedentes que lo fundamentan. Así mismo, se plantea la formulación del problema, la definición del objetivo general, los objetivos específicos y la justificación que define la necesidad de la investigación.

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Desde la última década los gobiernos de Honduras (desde 2001 hasta la fecha) han priorizado estudios para implementar estrategias a nivel de país que alivien o reduzcan el alto grado de pobreza que afecta nuestra región. Gran parte de estas estrategias están enfocadas a mejorar la calidad de vida de los pobladores especialmente aquellas zonas urbanas sin cobertura y áreas rurales de difícil acceso. Dentro de esas mejoras se contemplan el aumento en la cobertura de los servicios de agua y saneamiento con el fin de disminuir problemas como ser la mortalidad infantil, mortalidad materna, altas tasas de desnutrición, entre otras.

Con ese mismo afán el gobierno de Honduras a partir del año 2001 se propone la meta de mejorar la cobertura de agua y saneamiento, estableciendo aumentar al 95% para el año 2015 la cobertura del servicio a la población (Gobierno de Honduras, 2001). En la actualidad Honduras está gestionando proyectos en los cuales se establecen el uso de nuevas tecnologías, como ser los reactores anaerobios para el tratamiento de aguas residuales de carácter urbano y semi-urbano.

Este cambio es muy aceptado ya que la tecnología anaerobia ha tomado mucha fuerza debido a su gran potencial para tratar aguas residuales con altas concentraciones de carga orgánica mostrando una buena eficiencia en la eliminación de la carga orgánica (Álvarez, 2003).

La tecnología anaerobia tiene muchas ventajas, entre ellas es la producción de biogás y lodos más estabilizados (pueden ser utilizados como fertilizantes), en el caso que no se desee aprovechar tales subproductos se deberá de planificar la mejor manera de eliminarlos ya que pueden provocar aumento en la producción de gases de efecto invernadero y contaminación del medio ambiente.(Pistonesi, 2010)

Los nuevos proyectos que se concibieron en Honduras durante la última década no están diseñados para el aprovechamiento de tales sub productos, ni para la eliminación eficaz de los mismos creando una carga adicional para el transporte y posterior eliminación de los antes mencionados. Razón por la cual surge el presente estudio que va dirigido a la evaluación de los aspectos técnicos de la utilización del biogás, en la generación de energía eléctrica para autoconsumo en la planta de tratamiento de aguas residuales de Juticalpa, Olancho.

## 1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En Honduras, desde la puesta en vigencia de la ley de marco del sector agua potable y saneamiento que fue publicada en el año 2003 en donde se establecen los lineamientos para la coordinación, planificación y regulación de los servicios.(Gobierno de Honduras, 2003, p. 1)

La ley marco del sector agua potable y saneamiento establece dentro de sus objetivos el uso eficiente de las obras de saneamiento así como una gestión ambiental para la protección de fuentes de agua y el manejo adecuado de las descargas de los efluentes a los cuerpos receptores como quebradas, ríos, lagunas, etc...

Sumado a dicha ley se establece la estrategia de reducción de la pobreza (ERP) la cual tiene como meta en el sector agua potable y saneamiento alcanzar una cobertura del servicio del 95% a nivel nacional. Sobre las anteriores mencionadas es que surge un proceso de modernización con el fin de mejorar la calidad de los servicios, así como satisfacer la demanda actual y la futura; creando

proyectos que incorporan nuevas tecnologías de manera que sean auto sostenibles en aspectos ambientales, técnicos y financieros. (Gobierno de Honduras, 2001)

Dentro de los cambios que proponen es la utilización de sistemas anaerobios para el tratamiento de las aguas residuales de origen urbano o semi urbano, como ser filtros y reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA o UASB por sus siglas en ingles). Dentro de las ventajas de utilizar estos reactores podemos mencionar que necesitan menos o ninguna fuente de energía para su proceso lo cual reduce sus costos de operación si los comparamos con los antiguos sistemas aerobios (Pistonesi, 2010).

Además estos sistemas utilizan menos espacio y tienen la posibilidad de utilizar los subproductos del proceso como ser los lodos estabilizados (conocido en algunos países con biól o digestato) y el biogás. El biól generado en el proceso tiene características adecuadas para su utilización como fertilizantes y el biogás puede aprovecharse para sustituir fuentes tradicionales de energía como ser la electricidad (Hernández, 2014).

Actualmente en Honduras se han establecido proyectos, en los cuales los subproductos antes mencionados no se están aprovechando. Teniendo que disponer de lugares para depositar los lodos y el biogás lo descartan a la atmosfera haciéndolo pasar por una cámara con sello de agua, dicha acción la realizan como precaución y para eliminar el ácido sulfhídrico que provoca emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El presente estudio está dirigido a la evaluación técnica-económica de la utilización del biogás, en la generación de energía eléctrica como autoconsumo en la planta de tratamiento de aguas residuales de Juticalpa, Olancho.

Este estudio es de vital importancia para los proyectos de agua y saneamiento como los mencionados anteriormente, ya que los mismos deben poseer un grado de sostenibilidad para que sean ejecutados. Dicha sostenibilidad se enfoca en primer lugar ambientalmente, ya que se manejan las aguas residuales de forma óptima y no habrá contaminación en los cuerpos

receptores como ser ríos o quebradas; también se disminuirá la generación de GEI al aprovechar el biogás en vez de liberarlo a la atmósfera, y finalmente disminuirémos la dependencia de fuente de energía tradicional (eléctrica generada con combustibles fósiles) utilizando biogás para generar electricidad y cubrir la demanda energética del mismo proyecto.

En cuanto a la sostenibilidad social, podemos decir que la generación de un subproducto como ser el biól puede ayudar a los pequeños o medianos agricultores, brindando biofertilizantes ricos en nutrientes y de producción local.

Finalmente, este estudio puede ayudar a la sostenibilidad económica, debido que puede reducir o eliminar el costo de la factura eléctrica, reducción de costos de operación y mantenimiento (del Rio, 2009).

Las reducciones anteriormente mencionadas con regularidad se trasladan a los usuarios finales del sistema de saneamiento.

### 1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

A continuación se presenta el enunciado y la formulación del problema, y las interrogantes de investigación.

#### 1.3.1 ENUNCIADO DEL PROBLEMA

En Honduras, actualmente se están implementando proyectos con nuevas tecnologías de sistemas anaerobios, los cuales se usan para el tratamiento de aguas residuales de origen urbano. Dichos proyectos no tienen un aprovechamiento de los residuos del proceso anaerobio como ser el biogás y biól, de tal manera que realizan descargas semi controladas al medio ambiente, representando una amenaza latente para el medio ambiente y para el desarrollo de la comunidad (Borjas, 2010).

Después de todo lo anterior surge la interrogante: ¿Es factible la utilización de biogás para la generación de electricidad como autoconsumo en la planta de tratamiento de Juticalpa, Olancho?

### 1.3.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

Partiendo de la definición del problema y de la pregunta general se derivan las siguientes interrogantes de investigación.

1. ¿Existe el recurso necesario para la producción de biogás en la planta de planta de tratamiento de Aguas Residuales en Juticalpa, Olancho?
2. ¿Las condiciones ambientales del emplazamiento son las óptimas para dicha generación?
3. ¿Será rentable la inversión para sustituir la fuente de energía eléctrica o disminuir la factura eléctrica con el uso de biogás?

## 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

A continuación se presenta el objetivo general y los objetivos específicos, que ayudarán a expresar con claridad lo que se aspira con la presente investigación.

### 1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar técnica y financieramente un sistema que permita la utilización del biogás para generación de energía eléctrica como autoconsumo en la planta de tratamiento de aguas residuales de Juticalpa, Olancho.

### 1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A continuación se listan los objetivos específicos:

1. Estimar la calidad y cantidad del recurso (aguas residuales de origen urbano) para la generación de biogás y posteriormente energía eléctrica para autoconsumo.
2. Determinar si la temperatura ambiental es la óptima para la producción de biogás.
3. Estimar los parámetros (VAN y TIR), que nos permita evaluar la rentabilidad económica de la inversión para la generación de energía eléctrica.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se debe llegar a cabo ya que nos ayudará para evaluar si es técnicamente posible la explotación del biogás generado en este tipo de sistemas de tratamiento, disminuyendo así las emanaciones directas de biogás a la atmosfera. Los lodos generados tendrán un buen uso como fertilizantes en las zonas de influencia del proyecto. También vale la pena mencionar que se dejará de utilizar una fuente de energía tradicional lo que equivale a menos toneladas de CO<sub>2</sub> liberadas al ambiente.

Con la implementación de este estudio se crearán fuentes de empleo, a lo largo del proceso de distribución y explotación de los subproductos del sistema anaerobio. También se tendrán mejoras económicas, ya que la inversión inicial se puede recuperar en menor tiempo debido al ahorro en la factura eléctrica. De igual forma este estudio es importante para entidades de diseño, desarrollo, financiamiento, juntas de agua y sobre todo para las alcaldías municipales como ser la de Juticalpa, Olancho. Ya que los actores anteriores son los encargados de diseñar, construir, administrar y operar las plantas de tratamiento; teniendo en cuenta lo anterior el presente trabajo les servirá como referencia para establecer la presente idea de aprovechamiento, así como la implementación para futuros proyectos transformándolos en auto sostenibles energéticamente.

La tesis está estructurada en los siguientes capítulos:

Capítulo I: nos resume brevemente el estado actual del saneamiento que tenemos en Honduras, la problemática del mismo y las posibles oportunidades de explotación de los recursos generados en el proceso anaerobio. El capítulo II: encontraremos una reseña bibliográfica de las

teorías que sustentan nuestro estudio, así como estudios que avalan la problemática y todos los cambios que se deben realizar para asegurar el éxito y la sostenibilidad de los proyectos de agua y saneamiento. El capítulo III: presenta la metodología a utilizar para abordar las ideas, objetivos y preguntas de investigación. Esto se realiza con el fin de satisfacer las necesidades encontradas en los primeros capítulos.

Capítulo IV: está formado por los resultados obtenidos y todo lo que conlleva su análisis. Dichos resultados fueron procesados con software estadístico y de simulación para encontrar los escenarios que se pueden presentar a futuro. Capítulo V: se describe las recomendaciones y conclusiones basadas en los resultados encontrados y conforme al conocimiento recabado en el estudio del arte. Y finalmente el Capítulo VI establece la aplicabilidad del presente estudio y sus resultados.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

De acuerdo al problema planteado en el capítulo 1, a continuación se presenta el análisis de los diferentes niveles: internacional (análisis del macro entorno), nacional (análisis del micro entorno) y de la comunidad (análisis interno).

#### 2.1.1 ANÁLISIS DEL MACRO ENTORNO

A nivel mundial cada día hay mayor conciencia sobre la problemática del medio ambiente, llegando al extremo de generar políticas estrictas dirigidas a disminuir la contaminación. Esta problemática se ha agudizado debido al crecimiento descontrolado de la población mundial y que cada día exigimos más de nuestro planeta, sin tener consideración del mismo. Como consecuencia del crecimiento de la población es necesario construir nuevas ciudades y asentamientos humanos, acompañado a este crecimiento aumenta la cantidad de desechos generados por la población. Gran parte de los desechos generados son las aguas residuales, que son inevitables y su volumen es aproximadamente el 80% de la dotación de agua para consumo (SANAA, 2004).

La mayoría de los países a nivel mundial concuerdan que los nuevos proyectos que se generen deben de tener un componente de sostenibilidad y de cuidado al medio ambiente, ya que el mismo es esencial para lograr un desarrollo en todos los aspectos incluyendo el económico, social y medio ambiental. Dichos proyectos están encaminados a la explotación, utilización y recuperación de los recursos cuidando el medio ambiente.

Para la problemática de las aguas residuales los países a nivel mundial utilizan técnicas de tratamiento de aguas residuales como ser la digestión anaerobia, tal como lo expresa ONUDI:

Cada vez hay más conciencia de que las precauciones ambientales son esenciales para la continuidad del desarrollo económico a largo plazo. Son necesarios objetivos globales para lograr beneficios económicos y medioambientales a través de proyectos sostenibles para la recuperación y utilización de recursos y programas para los países en desarrollo. El uso de la digestión anaerobia

en un sistema de recuperación integrada de los recursos en estos países es importante para resolver tanto problemas ecológicos como económicos. (ONU, s/f, p. 9)

La digestión anaerobia es un proceso biológico en el cual se descompone la materia orgánica presente parte en sustratos simples o más conocidos como lodos y otra parte en biogás que se caracteriza aproximadamente 70% en metano, el restante en dióxido de carbono y otros gases (Caicedo, 2006). El uso del biogás ha despertado gran interés en la mayoría de países del mundo, ya que es una tecnología de fácil implementación y que puede traer muchos beneficios; incluyendo la sostenibilidad de los proyectos solucionando problemas ambientales como ser las aguas residuales, producción de lodos (pueden ser utilizados como fertilizantes) y energía térmica y/o eléctrica.

Ahora analizaremos la situación de países referentes en el tema de la utilización del biogás producido con aguas residuales:

#### 2.1.1.1 UNIÓN EUROPEA

En los países de la Unión Europea existen políticas bien establecidas que orientan a la generación de energía a partir de fuentes renovables y esto ha permitido que se use el biogás como una fuente energética confiable dentro de los países miembros. Estas políticas mantienen incentivos económicos, cuotas y/o certificados verdes y algunos precios mínimos en las tarifas y/o primas. El certificado verde es una cantidad de dinero que se destina al productor de energía con fuentes renovables, con el fin de añadir ese valor al obtenido por la venta del bien en el mercado eléctrico. Lo utilizan países como Bélgica, Reino Unido, Italia.

Las tarifas fijas garantizan que durante cierto tiempo las empresas tendrán que comprar la energía procedente de fuentes renovables, este método lo utilizan países como: Dinamarca, Francia, Estonia, Alemania, España, entre otras (IDAE, 2011).

La mayor parte de los países miembros de la Unión Europea ha establecido pequeñas plantas, en donde explotan el biogás generado por procesos en los cuales tratan los desechos urbanos,

agroindustriales, domésticos, y todos los procedentes de fábricas instaladas dentro y fuera de las grandes ciudades. Alemania a partir del 2006 se ha puesto a la cabeza en la generación de biogás.

**Tabla 1. Países de Europa con mayor producción primaria de biogás en los años 2011-2012 (ktep)**

País	2011				2012			
	Biogás producido en vertederos	Biogás Producido por lodos de depuradoras	Otros tipos de producción de Biogás	Total de Biogás	Biogás producido en vertederos	Biogás Producido por lodos de depuradoras	Otros tipos de producción de Biogás	Total de Biogás
Alemania	144.4	368.2	4,667.9	5,180.5	123.8	372.1	5,920.3	6,416.2
Reino Unido	1,515.7	285.0	0.0	1,800.7	1,533.9	277.3	0.0	1,811.2
Italia	377.4	21.3	705.2	1,103.9	364.7	42.0	772.0	1,178.8
Francia	273.0	71.9	24.5	369.4	279.1	79.6	53.3	412.0
República Checa	31.3	38.3	180.3	249.8	31.7	39.4	303.8	374.9
Países Bajos	32.6	51.5	208.8	292.9	29.9	53.1	214.5	297.5
España	145.0	32.0	110.0	287.0	131.6	28.8	100.1	260.5

Fuente: Barometer prepared by Observ'ER (EurObserv'ER, 2013, p. 47)

Alemania siempre está a la cabeza de los países que generan electricidad a base de biogás, tal como lo muestra la siguiente tabla.

**Tabla 2. Países de Europa con mayor producción bruta de electricidad a partir del biogás en los años 2011-2012 (GWh)**

País	2011			2012		
	Plantas de generación	Plantas de Cogeneración	Total de Electricidad	Plantas de generación	Plantas de Cogeneración	Total de Electricidad
Alemania	4,752.0	16,436.0	21,188.0	5,917.0	21,322.0	27,239.0
Reino Unido	5,232.3	624.6	5,857.0	5,243.1	631.3	5,874.4
Italia	1,868.5	1,536.2	3,404.7	2,160.6	2,459.3	4,619.9
República Checa	59.0	869.0	928.0	55.0	1,412.0	1,467.0
Francia	775.7	353.5	1,129.2	754.9	530.0	1,284.9
Países Bajos	72.0	964.0	1,036.0	68.0	940.0	1,008.0
España	709.0	166.0	875.0	710.0	223.0	933.0

Fuente: Barometer prepared by Observ'ER (EurObserv'ER, 2013, p. 47)

En su mayoría los países de la Unión Europea han aumentado la generación de electricidad a base de biogás, ya sea en generación o cogeneración.

### 2.1.1.2 BRASIL

Brasil es uno de los países pioneros en energía renovable, cuenta con una gran variedad de fuentes de energía renovable y no renovable. La producción brasileña de biogás tiene diferentes orígenes, a partir de la digestión anaerobia de los desechos de la agricultura, agro-industria, efluentes urbanos (aguas residuales), vertidos de residuos sólidos urbanos (RSU) y la vinaza generada en la producción de alcohol (Ett et al, 2013).

Los residuos de estiércol de animal son muy aprovechado en todo Brasil, especialmente en la parte sudeste del país, esta parte es de vocación agropecuaria y se concentran las granjas de diferentes animales. A continuación se presenta el potencial de biogás con los residuales de animales.

**Tabla 3. Potencial de Electricidad a partir del Biogás generado por estiércol de ganado en Brasil**

Estado	Número de granjas	Cantidad de Animales	Potencial kW/día	Potencial MW/mes
Goiás	486	1,059,480	847,584	25,430
Sao Paulo	121	263,780	211,024	6,331
Mato Grosso	160	348,800	279,040	8,370
Minas Gerais	424	924,320	739,456	22,183
Mato Grosso do Sul	73	159,140	127,312	3,820
TOTAL	1,264	2,756.201	2,204,960	66,150

Fuente: (Ett. et al, 2013, p. 47)

En Brasil la vinaza es considerada como el principal subproducto de la fabricación de alcohol y esto se debe a la alta carga de materia orgánica que posee, debido a esto las autoridades brasileñas

restringieron su uso para riego ya que los productores lo utilizaban como fertilizante de uso directo. Por lo tanto los productores de alcohol decidieron implementar una codigestion anaerobia de la vinaza con el bagazo de caña teniendo el siguiente potencial (Craveiro, Soares, & Netto, 1986).

**Tabla 4. Potencial de Electricidad a partir del Biogás generado por la codigestion de la vinaza y el bagazo de caña.**

Dato	Día	Mes	Temporada de cosecha (220 días)
Etanol (m <sup>3</sup> )	1,515.45	46,363.50	333,399.00
Vinaza (m <sup>3</sup> )	15,154.55	463,636.50	3,400,001.00
MWh (mínimo)	16.85	505.36	3,705.97
MWh (máximo)	320,218.30	9,606,548.30	70,448,020.70

Fuente: (Ett et al., 2013, p. 42)

Otra fuente de generación de biogás son los residuos municipales, esta forma de producción es reciente en Brasil y solamente existen dos vertederos o rellenos sanitarios que aprovecha dicho biogás; uno de ellos se ubica en Sao Pablo y el otro en San Joao. La capacidad de generación de biogás y de electricidad fue calculada utilizando el método del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), dicha generación se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 5. Potencial de producción de Metano y energía eléctrica de la región municipal de Sao pablo y Brasil, según IPCC**

Lugar	Población	Metano generado por residuos sólidos GgCH <sub>4</sub> /año	kWh	Metano generado por aguas residuales GgCH <sub>4</sub> /año	kWh
Municipalidad de Sao Paulo	10,886,518	62.261	147,826,248	3,973.579	18,868.951
Región Metropolitana	19,956,590	114.134	270,987,274	7,284,155	34,589.565
Estado de Sao Paulo	41,262,199	235.982	560,292,656	15,060,703	71,517.303
Brasil	190,732,694	1,090.817	2,589,928,075	69,617,433	330,585.577

Fuente: (Ett et al., 2013, p. 43)

Como hemos visto Brasil es una potencia en la producción de energía a partir de los desechos urbanos y sobre todo en la utilización de las aguas residuales.

### 2.1.1.3 ESTADOS UNIDOS

Estados Unidos desde 1920 cuenta con instalaciones para la recuperación y reutilización de las aguas residuales (WRRF's por sus siglas en inglés) las cuales utilizan la digestión anaerobia para la producción de biogás con fines de obtener calor y electricidad. Actualmente para mejorar la producción se está ensayando prácticas de codigestion, agregándole grasas, restos de comida y aceites de diferentes fuentes. Todas ellas con el fin de mejorar la producción de biogás, a continuación se les identifica en la siguiente tabla:

**Tabla 6. Descripción de las instalaciones de aprovechamiento de Biogás**

Instalación	Localización	Flujo de la Planta de Tratamiento (M gal/día)		Digestor anaerobio (M gal/día)
		Flujo Promedio Seco (ADWF por sus siglas en inglés)	Capacidad	Capacidad
CMSA	San Rafael, CA	7.0	125.0	2.0
EBMUD	Oakland, CA	60.0	168.0	22
Hill Canyon	Thousand Oaks, CA	9	14	2.8
Sheboygan	Sheboygan, WI	18.4	56.8	4.8
West Lafayette	West Lafayette, IN	7.8	10.5	1.0
Janesville	Janesville, WI	12.5	25	2.5

Fuente: (EPA, 2014, p. 5)

Las plantas antes enlistadas tienen las siguientes producciones de biogás:

**Tabla 7. Potencial de producción de biogás, almacenamiento y uso en las instalaciones de Estados Unidos.**

Instalación	CMSA	EBMUD	Hill Canyon	Sheboygan	West Lafayette	Janesville
Porcentaje de incremento de codigestión	60%	Mayor del 100%	250%	150-300%	N/A	40%
Producción promedio de biogás (Pie <sup>3</sup> /día)	252,000	2,400,000	450,000	560,000	92,160	120,000
Uso del biogás producido	Combinación de Energía y Calor (CHP). Motores de combustión interna (ICE). Calderas.	Combinación de Energía y Calor (CHP). Motores de combustión interna (ICE). Calderas. Turbinas	Combinación de Energía y Calor (CHP). Motores de combustión interna (ICE). Calderas.	Combinación de Energía y Calor (CHP). Microturbinas. Calderas	Combinación de Energía y Calor (CHP). Microturbinas.	Combinación de Energía y Calor (CHP). Microturbinas para la compresión de gas natural (CNG)
Electricidad Generada (MWh/año)	3,460	52,000	4,600	2,300	679	1,717
Calor generado (BTU/año)	150,612	2,300,000	3,000,000	84,000	No hay medición	>65,000
Combustible (galones equivalentes de gasolina/año)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1,982
Almacenamiento del biogás	Cobertura de membrana flexible	Domo de membrana sobre digestor	Exceso del quemador	Almacenamiento mínimo del digestor	Exceso del quemador	Cobertura de membrana flexible
Capacidad de almacenamiento (pie <sup>3</sup> )	200,000	200,000	Ninguno	Despreciable	Ninguno	102,000
Porcentaje de electricidad demanda y generada en el sitio (promedio anual)	60%	128%	80-85%, próximamente 100%	90%	16-18%	27%

Fuente: (EPA, 2014, p. 19)

#### 2.1.1.4 MÉXICO

Para México el biogás es una excelente fuente de energía, capaz de sustituir las fuentes tradicionales, la Secretaria de Energía (SENER) considera que existe un potencial aproximado de 3,000 MW provenientes del aprovechamiento del metano. En México se aprovecha los residuos de

animales, lo residuos sólidos urbanos (RSU) y el tratamiento de aguas negras o residuales (Weber et al, 2012).

El número de biodigestores a nivel de país no es suficiente para tratar los volúmenes de desechos de la población, razón por se ha creado programas como son Iniciativa de Metano a Mercados (M2M) y el Fideicomiso de Riesgo Compartido (FIRCO) que está a cargo de la Secretaría de Agricultura, ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Los proyectos que se encuentran inscritos y documentados por la SAGARPA suman un total de 966 digestores a nivel nacional (Weber et al., 2012).

En la siguiente tabla enlistamos los proyectos documentados con mayor relevancia en México:

**Tabla 8. Unidades Productivas apoyadas por FIRCO, para el aprovechamiento del biogás (biodigestor + moto generador).**

Estado/Región	Razón Social	Tipo de Unidad	Existencia animal (cabezas)	Generación de excretas (t/año)	Producción de Biogás (m3/año)	Consumo de energía (kWh/año)	Producción de energía (kWh/año)	% Reducción de emisiones
Yucatán	Grupo Porcícola Mexicano S.A. de C.V	Granja Porcina	32,483	115,315	2,538,389	52,072	255,528	14,027
Yucatán	Chan Rancho, S.P.R. de R.L. de C.V	Granja Porcina	10,058	35,706	785,984	93,552	87,873	4,334
Comarca Lagunera	Establo Chilchota S.A. de C.V	Establo lechero	2,000	7,100	401,500	1,082,176	691,891	367
Comarca Lagunera	La Torreña Agroindustrias S.A. de C.V.	Establo lechero	650	2,307	36,500	810,032	615,014	327

Fuente: (Weber et al., 2012, p. 37)

## 2.1.2 ANÁLISIS DEL MICRO ENTORNO

El análisis del micro entorno del presente trabajo considera la situación actual de Honduras, inicialmente se estudiará la cobertura del servicio de saneamiento, posteriormente identificaremos cuantos son los proyectos y la tecnología usada para erradicar dicha problemática de las aguas residuales, finalmente de los proyectos identificados cuales generan biogás y cuales lo explotan.

### 2.1.2.1 COBERTURA DEL SERVICIO DE SANEAMIENTO

La cobertura del servicio de saneamiento no tiene buena reputación dentro de la población ya que no es equitativa la distribución de los proyectos, en teoría se debe ayudar al que más necesita pero generalmente las autoridades que están en el poder persiguen otros interés como el económico y político.

López (2009) afirma:

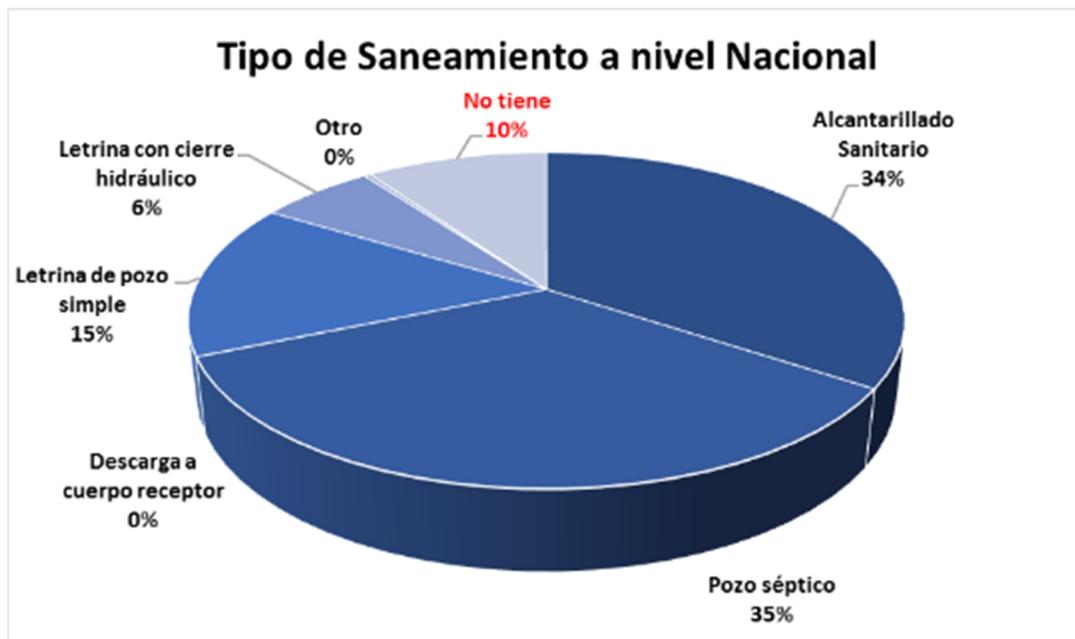
El saneamiento urbano en Honduras generalmente ha consistido en la construcción de redes de alcantarillado sanitario, que cubren aquella parte de la población que por razones de ubicación, presunta capacidad de pago o necesidades de desarrollo de obras de pavimentación, dejando fuera de la planificación y de los beneficios del saneamiento a aquellas porciones de la población que no cumplen el perfil anterior. (p.1)

Producto de todas esas prácticas o malas costumbres en la gestión del servicio de saneamiento es la construcción de alcantarillados sin plantas de tratamiento o viceversa. Al final de cuentas, lo importante es planificar un servicio y/o un sistema adecuado que involucre la tecnología, recursos económicos, características del lugar, tenencia de la tierra, y cualquier factor que venga a ser de utilidad para eliminar los desechos producidos por la población.

A pesar de todo lo antes descrito Honduras ha tenido un crecimiento en la cobertura de saneamiento, esto se debe a la implementación de esfuerzos para alcanzar los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) que propone en su objetivo N°7 “Garantizar la sostenibilidad Ambiental” y específicamente en la meta 10 propone la reducción a la mitad la proporción de

personas que no cuentan con acceso sostenible a los servicios de agua potable y saneamiento; y la Estrategia de Reducción de la Pobreza (ERP) que se propone como meta lograr el acceso al agua potable y saneamiento para un 95% de la población en el año 2015 (López, 2009).

Honduras ha experimentado grandes avances en esta área, la cobertura total de acceso en saneamiento para el año 2004 era de 82.2%, según el censo de vivienda del 2013 la cobertura ha mejorado llegando a un 90.2% (INE, 2013).



**Figura 1. Distribución del tipo de saneamiento a nivel Nacional**

Fuente: (INE, 2013)

La figura anterior destaca el tipo de saneamiento más utilizado en Honduras, a nivel nacional, la mayoría de la población utiliza el pozo séptico (35%) y el alcantarillado sanitario (34%), finalmente se destaca que menos del 10% de la población no tiene un sistema de saneamiento.

**Tabla 9. Distribución del tipo de saneamiento según el área de ubicación**

Tipo de Saneamiento	Área Urbana (viviendas)	Área Rural (viviendas)	Total (viviendas)
Alcantarillado Sanitario	595,383	35005	630,389
Pozo séptico	280,370	351772	632,143
Descarga a cuerpo receptor	286	104	390
Letrina de pozo simple	111,884	163402	275,287
Letrina con cierre hidráulico	23,074	90949	114,024
Otro	2,582	3572	6,155
No tiene	23,537	156601	180,139
	56.41%	43.59%	100%

Fuente: (INE, 2013)

Vale la pena mencionar que la encuesta antes mencionada puede proporcionarnos una mala impresión ya que la misma no recoge información técnica sobre el funcionamiento, eficiencia y eficacia de los sistemas de tratamientos de las aguas residuales.

#### 2.1.2.2 PROYECTOS DE TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

Lastimosamente en Honduras no hay registro confiable y continuo de los proyectos de tratamiento de aguas residuales de origen urbano, por lo que se dificulta llevar un seguimiento y control de las mismas. Actualmente El SANAA es la entidad que opera y controla la mayoría de sistemas de tratamiento, a excepción de algunas plantas que se han concesionado a entidades privadas como ser: la empresa “Aguas de San Pedro” en San Pedro Sula, Cortés y “Aguas de Puerto Cortes”, en Puerto Cortes. Ambas fueron cedidas del SANAA a la municipalidad correspondiente y posterior a las empresas concesionarias.

La infraestructura existente de saneamiento en el país es en general está obsoleta y como expresa Suazo & Reyes (s/f):

.....las pocas plantas de tratamiento existentes están constituidas en su mayoría por lagunas de estabilización, instalaciones que no cubren en su mayoría las necesidades de descarga de las localidades en las cuales están instaladas y su eficiencia es variable En el más extremo de los casos existen comunidades que carecen por completo de algún tipo de sistema de disposición de excretas y de desechos sólidos, provocando que el destino final de éstos sea inevitablemente los cuerpos receptores de agua. (p.2)

Al tener dicha situación no podemos evitar el efecto de las descargas en el medio ambiente, la situación es alarmante en los ríos o quebradas que cruzan las áreas de grandes ciudades, pueblos y aldeas que tienen sistemas de tratamiento obsoletos ya que descargan sus efluentes a los cuerpos receptores más cercanos. Como ejemplo podemos mencionar el rio Nacaome en la zona central del país, y los ríos Ulúa, Chamelecón en la zona norte.

Con ayuda del anexo 1 del presente se establece las tecnologías o soluciones en saneamiento más usadas a nivel nacional son:

**Tabla 10. Tecnologías o soluciones más usadas en Honduras.**

Tecnologías o Soluciones de Saneamiento	Abreviatura	Porcentaje (%)
Lagunas Facultativas Lagunas de Maduración	LF+LM	26
Tanque Imhoff	TI	23
Lagunas Facultativas	LF	14
Filtros Percoladores	FP	6
Fosa Sépticas	FS	6
	Porcentaje que representa las tecnologías más usadas	75

Fuente: (Quezada et al, 2010, p. 40)

Como se puede observar en la tabla 10 la tecnología más usadas son las lagunas facultativas seguidas de lagunas de maduración con un 26% de participación, esta solución ha venido a solventar grandes problemas pero necesita bastante espacio para su construcción y funcionamiento. La segunda solución más usada son los tanques Imhoff con 23%, la cual es una tecnología biológica comprobada pero al igual que la primera necesita espacio y su funcionamiento es más lento. En

general el saneamiento del país está usando tecnologías muy anticuadas y debido a la falta de información, no se sabe a ciencia cierta la eficiencia del tratamiento de las mismas.

### 2.1.2.3 PROYECTOS DESTINADOS A APROVECHAR EL BIOGÁS GENERADO CON AGUAS RESIDUALES.

Como lo mencionan los expertos en el tema, la mejor manera económicamente hablando de tratar las aguas residuales, es mediante el uso de biodigestores. En Honduras este uso es limitado y son pocos los organismos que se dedican a promover dicha tecnología para el tratamiento de aguas residuales (HIVOS & SNV, 2010).

A continuación se enlista las organizaciones que actualmente impulsan el uso de biodigestores y su área de influencia en el país:

- FUCOSOH (ISH) desde el 2004 trabaja en el departamento de Santa Bárbara, en donde construyó 25 biodigestores (tipo taiwanés) de saco plástico y continúa promoviéndolos entre su población.
- DIMA, se caracteriza por usar biodigestores de domo fijo. Su área de influencia es en la Cordillera del Merendón, con el fin de mitigar la contaminación de las aguas mieles derivadas de beneficios húmedos de café ubicados dentro de dicha cordillera.
- CATIE- FOCUENCAS está trabajando en la zona del Valle de Ángeles en Francisco Morazán, y tiene programado la construcción de 10 biodigestores de saco plástico, pero al momento ha construido 3 de los cuales solo funciona uno en Cerro Grande.
- AHPROCAFE, ubicado en la mancomunidad Chortí del departamento de Copán, tiene programado la construcción de 63 unidades de biodigestores modelo domo fijo.
- La Fundación SIMIENTE, está trabajando en Langue, en el departamento de Valle, donde ha construido 6 biodigestores de modelo saco plástico, de los cuales 3 están funcionando.

- AMANCO, ECO ALDEA y SER MÓVIL, dan servicio de instalación y mantenimiento de biodigestores incluyendo un sistema para reciclar aguas servidas a nivel doméstico.

Para el año 2011 ya se planeaban proyectos de aprovechamiento de biogás por diferentes empresas, estas con el fin de implementar en su proceso y adquirir un valor agregado a su negocio principal entre ellas tenemos a las más importantes:

- Azucarera Tres Valles: Es de carácter privado y se ubica en el municipio San Juan de Flores, Francisco Morazán. Este ingenio produce y procesa la caña de azúcar, generando desechos sólidos y líquidos. Genera alrededor de 130,000 toneladas al año de bagazo de caña. Queman el bagazo para generar energía eléctrica y calórica para autoconsumo en la planta procesadora, y hay un excedente que venden a la red nacional de energía.

El desecho líquido, consistente en el agua originada en los procesos de lavado (alrededor de 1,500 galones por minuto), se envía directamente a unas pilas de pre-tratamiento, donde les aplican una bacteria anaeróbica y una aeróbica para disminuir la carga orgánica presente en el agua. Posteriormente, el agua se utiliza para regar las plantaciones de caña. Esto aumenta su interés por desarrollar una planta de biogás que, además de mejorar el tratamiento de las aguas residuales, brinda la oportunidad de generar electricidad para vender a la red (SNV & PNUD, 2012).

- Cooperativa Cafetalera de Unión San José Vallecillo (COCAUSAVAL): está ubicada en Barrio Quebrada Seca de Vallecillo, Francisco Morazán. Maneja un volumen de producción anual de aproximadamente 2,500 quintales (114 toneladas), aproximadamente USD 370,500 al año. En el beneficio húmedo que opera esta cooperativa, se generan desechos sólidos y líquidos. Los líquidos se refieren a unos 399 metros cúbicos de aguas residuales que resultan del beneficiado del café de toda la temporada, que se deposita en las lagunas sin ningún tipo de tratamiento. La

empresa considera que un proyecto de biogás contribuiría a: proteger el medio ambiente del municipio, dado que utilizarían menos leña; reducir algunos costos económicos de su actividad comercial, lo que les permitiría invertir en mejorar la calidad del producto; y a generar ingresos adicionales por la protección del ambiente. Pero su interés no es tan alto, y sus prioridades de inversión más bien se orientan hacia aumentar la capacidad de beneficiado y secado del café. Aunque desconocen el monto de inversión requerido, dijeron estar dispuestos a invertir entre USD 20,000 y USD 40,000, recurriendo a fondos propios y préstamos (SNV & PNUD, 2012).

- Empresa Asociativa ARUCO: Esta empresa asociativa de productores de café es de reciente formación (2006). Ofrece el servicio de beneficiado húmedo, secado y trillado del café para pequeños y medianos productores de la región de Corquín, departamento de Copán. La operación genera residuos sólidos y líquidos. Actualmente, este desecho se acumula y se esparce en forma cruda (sin tratar) en las fincas de café, aprovechando quizás hasta el 60% de esta materia orgánica; el otro 40% se desecha y lo dejan podrir.

El principal desecho orgánico de la operación lo constituye el mucilago de café o aguas mieles, que se estiman en aproximadamente 8,000 metros cúbicos por año. Este desecho líquido es el resultado del despulpado y lavado del café. Es altamente contaminante, y se desecha en fosas de oxidación, pero un 20% se escapa por escorrentía a fuentes de agua. La empresa tiene mucho interés en corregir el manejo de los residuos, ya que un porcentaje de los mismos contamina el suelo y las fuentes cercanas de agua. La planta de biogás evitaría esta contaminación y su producción de energía térmica o eléctrica se destinaría inicialmente al consumo en la planta, y los subproductos para fertilizar las fincas de café. Por tales razones, la ARUCO está finalizando la instalación de una planta de producción de Bioetanol, biogás y biofertilizantes (SNV & PNUD, 2012).

- Cooperativa Cafetalera Ecológica La Labor Ocotepeque Ltda. (COCAFELOL): opera en el corazón del departamento de Ocotepeque, en la zona de amortiguamiento de la reserva biológica El Güisayote. Los servicios que ofrece a sus socios y otros productores de la zona incluyen beneficiado húmedo, secado, trillado, tostado y comercialización. . La operación de COCAFE- LOL genera desechos sólidos y líquidos dos que son manejados para evitar contaminación. La pulpa fresca de café representa aproximadamente 14,400 quintales por año (655 toneladas); actualmente se procesa con lombriz roja para producir abono orgánico, y producen unos 5,000 quintales (227 toneladas) de humus. El mucílago o aguas mieles representan anualmente unos 328 metros cúbicos, que se llevaban a lagunas de oxidación, pero con la reciente construcción de una planta de Bioetanol se planifica procesarlas para producir unos 44,000 litros de alcohol en la cosecha.

Por otro lado, les interesa desarrollar un proyecto para generar empleo, gas para el consumo de energía, reemplazando la compra de energía de la empresa pública y mejorar la reducción de contaminación ambiental. En tal sentido, el gerente considera aceptable para su empresa coinvertir un valor máximo de USD 40,000 para desarrollar el proyecto (SNV & PNUD, 2012).

- CER-AGRO: es una empresa privada dedicada a la crianza y engorde de ganado porcino, y se ubica en el departamento de Francisco Morazán. En su granja produce al menos 5,500 cerdos por año, generando desechos líquidos y sólidos. Los desechos líquidos consisten en una mezcla de cerdaza y agua que se utiliza para limpiar los pisos de las galeras. El volumen utilizado es de aproximadamente 38 metros cúbicos al día, que se distribuyen en cinco lagunas de oxidación sin ningún tratamiento ni uso adicional de estos desechos. En un futuro inmediato la empresa procura utilizar esta agua para riego en cultivos cercanos a las instalaciones de la granja. Junto con las aguas de lavado se desechan a las lagunas de oxidación unos 2.5 metros cúbicos de cerdaza, que contiene altos porcentajes de maíz y soya por los desperdicios del

alimento de los cerdos. Este es otro producto cuyo valor es desaprovechado actualmente, por lo que la empresa planea colocar un separador de sólidos para aprovechar la cerdaza y generar energía mediante biodigestores.

La empresa está interesada en desarrollar un proyecto de biogás y estaría dispuesta a realizar la preinversión para identificar su factibilidad. CER-AGRO tiene un conocimiento alto sobre las implicaciones del proyecto; además de los beneficios económicos, valora los beneficios para las comunidades adyacentes, unos 2,283 habitantes. La planta eliminaría la contaminación del ambiente que molesta a los pobladores, generaría gas metano para producir energía limpia que puede ser utilizada en la misma granja y para las comunidades, brindaría fuentes de empleo, y el agua, que es muy escasa en la zona, podría reciclarse para ciertos usos comunitarios (SNV & PNUD, 2012).

- PROMDECA: es la planta de sacrificio más grande del país. Como empresa nacional sin fines de lucro, se limita a brindar el servicio de matanza a un bajo costo (una cuarta parte de lo que cuesta en un rastro comercial), lo que tiene gran importancia para el sector. En esta planta se sacrifica un promedio de 3,500 reses y 400 cerdos por mes y se generan residuos sólidos (vísceras, huesos, cueros, etc.) que son aprovechados y/o comercializados en mercados secundarios y procesamiento de materia prima para las productoras de alimentos concentrados.

El valor de oportunidad de este mercado secundario es superior el potencial de generación de ingresos por medio del biogás, por lo que no se considera viable su biodigestión. En cambio los efluentes, compuestos por una mezcla de desechos sólidos y líquidos estimados en aproximadamente 85 metros cúbicos por día, se eliminan a una laguna de oxidación sin dar ningún uso ni proceso adicional (SNV & PNUD, 2012).

- LEYDE: es una de las dos empresas procesadoras de leche fluida en el país y, aunque no es líder en tamaño y volumen de producción, es una de las preferidas entre los consumidores nacionales. La empresa produce leche pasteurizada, saborizada, jugos, crema y quesos procesados. Contribuye al empleo rural y al desarrollo del sector lácteo nacional. En su planta, ubicada en la ciudad de La Ceiba, departamento de Atlántida, en el litoral Caribe, procesa unos 130,000 litros de leche al día y genera más de 1,100 empleos a nivel nacional. Los principales desechos del proceso son desperdicios líquidos (en especial leche derramada) y suero desechado del proceso de producción de quesos y cremas. Todos los desechos líquidos se combinan en un efluente del lavado de la planta que es de aproximadamente 415.8 metros cúbicos por día. Actualmente, todos los desechos son tratados en lagunas de oxidación para reducir la contaminación, de acuerdo con los requisitos de la regulación ambiental en el país (SNV & PNUD, 2012).
- Empresa Cooperativa SALAMÁ: dedicada al procesamiento de palma africana, se ubica en la aldea Suyapa, municipio de Tocoa, departamento de Colón; cuenta con 69 asociados que compran la fruta a 52 microproductores ubicados alrededor de la planta, que suman unas 187 hectáreas. La operación se considera pequeña, ya que procesa aproximadamente 50,000 toneladas métricas de fruta y tiene una producción de 5,000 toneladas métricas de aceite crudo al año, para lo cual cuenta con una planta extractadora con capacidad de procesar 15 toneladas métricas de fruta fresca por hora.

De esta cooperativa dependen directamente más de 500 familias, beneficiando a más de 2,500 personas en todas las etapas de operación. La planta genera desechos sólidos y líquidos; los sólidos son resultado de la fibra de las frutas por la extracción de aceite con un volumen aproximado de 8,000 toneladas por año; el 50% de este desecho se quema en las calderas de la planta y el resto se desecha en las fincas para fertilizar. El líquido proviene del lavado de la planta y maquinarias, generando un efluente de

aproximadamente 50,000 metros cúbicos por año, que se desecha en una laguna de oxidación.

La empresa ha sido beneficiaria de un proyecto financiado por la embajada de Colombia para producir biodiesel a partir del aceite de palma, con lo que puede operar su propia maquinaria y vender el excedente. Sin embargo, este proyecto consume parte de su producción de aceite y afecta su ingreso directo (SNV & PNUD, 2012).

- COAPALMA ECARA, es una Empresa Campesina Agroindustrial del sector social de la economía procesadora de Palma Africana que tiene su sede en Chiripa, Tocoa, Colón, Honduras. La empresa nació el 15 de Mayo del 1982, producto del proceso de la reforma agraria. Las cooperativas campesinas dueñas de COAPALMA ECARA, tienen un área de plantación de 5,150 hectáreas de las cuales 500 no están en producción, tienen plantaciones sembradas entre 1979 y 2009.

En la actualidad, se procesan alrededor de 100.000 toneladas de fruta fresca (TFF) de palma africana por año para la producción de aceite vegetal crudo, del cual se obtiene en promedio un caudal de aguas residuales de 40 m<sup>3</sup> por hora que posee una carga orgánica alta con un DQO de 52,000 mg/l. Debido a los altos costos de energía y los problemas socio ambientales con el tratamiento y disposición de los residuos orgánicos, se plantea implementar un proyecto que mejore el sistema de tratamiento de aguas actual (lagunas de oxidación) con el fin de cumplir con la normativa de vertido y obtener un ahorro rentable en la factura mensual de energía eléctrica. Por lo que se propone la instalación de una planta de biodigestión industrial tipo laguna, que adicionalmente de tratar los residuos, producirá 12,973 m<sup>3</sup>/día de biogás, equivalentes a 8,432 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/día, estimando una producción anual de 8,842 MWhe utilizando un equipo de generación eléctrica de biogás más la sustitución de 31,596 Galones de diésel que se están usando actualmente en una caldera en el plantel de la empresa (GIZ, 2013).

- EECOPALSA: es una empresa de origen hondureño que se dedica a la generación de electricidad por medio de biogás, este biogás es el resultado del tratamiento de aguas residuales procedentes de la misma planta de extracción de aceite de palma africana.

La opción de tratamiento que utiliza esta planta es de bajo costo, que incluye lagunas abiertas anaeróbicas. Las condiciones anaeróbicas en estas lagunas (también conocido como molino de aceite de palma de efluentes estanques (pomo)) para permitir la existencia de bacterias anaerobias, que convierten la materia orgánica contenida en el efluente en metano. Este proceso resulta en la liberación a la atmósfera de biogás con una concentración de metano de alrededor del 60%.

El biogás también es utilizado como combustible para dos calderas de una nueva planta de refinería de aceite de palma de PALCASA llamados REPALSA. Aunque será sustituyendo el uso de fuel oil, no hay reducciones certificadas de las emisiones serán reclamados para este cambio de combustible. Un promedio estimado de 2.98 GWh/año de electricidad generada por el proyecto será entregado a la red nacional. Las reducciones de las emisiones anuales totales del sistema de recuperación de metano y electricidad generación se estiman como 13,693 tCO<sub>2</sub> / año en promedio (CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM, 2011).

#### 2.1.2.4 PROYECTOS DESTINADOS A APROVECHAR EL BIOGÁS GENERADO CON AGUAS RESIDUALES URBANAS.

Como se mencionó en el apartado 2.1.2.2, estamos utilizando tecnologías anticuadas, y lo peor que no se está brindando un seguimiento al funcionamiento de las mismas, ya que en ninguna de ellas se tiene información de su funcionamiento y/o eficiencia, a excepción de las plantas de tratamiento que han sido concesionadas por las municipalidades y en el complejo de plantas depuradoras de aguas residuales ubicada en la colonia San José de la Vega en Tegucigalpa.

De la misma forma, solo se pueden mencionar dos plantas de tratamiento de aguas residuales de origen urbano que utilizan los subproductos como ser el biogás y los lodos:

1. Planta de tratamiento La Cofradía, ubicada en La Cofradía, San Pedro Sula, Honduras. Dicha planta está diseñada cubrir la demandad de 85,000 habitantes, los cuales producen residuos sólidos urbanos (RSU) estimados en 120 t/día y también 38,000 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales de carácter doméstico e industrial, para aprovechar la generación de biogás de ambas fuentes se proyectó instalar un generador con capacidad de 750kW (AquaLimpia Engineering, 2015).
2. En el complejo de plantas depuradoras San José de la Vega, existen dos plantas una llamada del mismo nombre que el complejo y la otra denominada PRRAC ASAN por el proyecto de financiamiento de la Unión Europea. El complejo total tiene una cobertura de 250,000 habitantes, con un caudal de aguas residuales de 0.57m<sup>3</sup>/s. la producción de biogás sería alrededor de 7,214 m<sup>3</sup>/día y la producción eléctrica sería de 16,631 kWh/día (Flores, 2007).

Lamentablemente no se encuentra información del funcionamiento de las plantas antes mencionadas y se puede decir que no se está utilizando la producción de biogás.

### 2.1.3 ANÁLISIS INTERNO

El “Sistema de Alcantarillado Sanitario / Tratamiento de la Ciudad de Juticalpa, Municipio de Juticalpa, Departamento de Olancho” fue realizado por el Fondo Hondureño de Inversión Social (FHIS), durante el periodo 2014-2015. Dicho proyecto fue financiado por fondos del Banco Interamericano de Desarrollo (BID) el préstamo No. BID-1793/SF-HO y para ejecutar el Suplemento del Programa de Inversión en Servicios de Agua Potable y Saneamiento.



**Figura 2 Ubicación de PTAR Juticalpa**

Fuente: (CONASH, 2014)

El proyecto está ubicado cerca del casco urbano de la ciudad de Juticalpa, Olancho. El mismo ha sido contemplado para construirse en etapas. La primera de ellas, servirá para tratar las aguas residuales de los barrios de la zona alta como ser: Bo. El Edén, Bo Miguel Barahona, Bo. Santa María, entre otros. Los parámetros de diseño de la Etapa I se muestran a continuación:

**Tabla 11 Parámetros de diseño de PTAR Juticalpa, Olancho. Etapa I**

Planta Depuradora de Juticalpa Parámetros de Diseño		
Población de diseño (Etapa I)	33,649	Habitantes
Población de Diseño	66,082	Habitantes
Densidad poblacional	3.75	Personas/vivienda
Dotación	150	lppd
Coefficiente de retorno	0.80	
Caudal Doméstico	7,929.84	m <sup>3</sup> /día

Planta Depuradora de Juticalpa Parámetros de Diseño		
Caudal infiltración e ilícito	1,539.67*	m3/día
Caudal medio	9,469.51	m3/día
Caudal máximo diario	14,204.26	m3/día
Temperatura agua residual (mes más frío)	23	Grados centígrados
Tiempo de detención Hidráulica	7	horas
Altura del Reactor	4.50	m

Fuente: (CONASH, 2014, p. 19)

Para mayor facilidad de comprensión podemos dividir el Proyecto en los siguientes componentes:

- Sistema de Alcantarillado Sanitario, integrado por red y colector.
- Tratamiento de Aguas Residuales mediante Reactor Anaeróbico y Lagunas de pulimento y,
- Obras Complementarias como ser: Desarenador, mamparas, estructuras de drenaje, caseta, obras de mitigación, cercos, entre otros (CONASH, 2014).

#### 2.1.3.1 RED DE ALCANTARILLADO SANITARIO:

Las obras a construir para el mejoramiento del sistema incluyen lo siguiente:

- Suministro e instalación de 87.33 m. de Alcantarillado Sanitario de Tubería de PVC de 6", con 11 acometidas domiciliarias.
- Suministro e instalación de 442.36 m. de Alcantarillado Sanitario de Tubería de PVC de 8", con 53 acometidas domiciliarias.
- Suministro e instalación de 462.30 m. de Alcantarillado Sanitario de Tubería de PVC de 10", con 63 acometidas domiciliarias.
- Suministro e instalación de 328,22 m. de Alcantarillado Sanitario de Tubería de PVC de 12", con 30 acometidas domiciliarias.
- Construcción de 36 pozos de inspección de diferentes alturas (desde  $h < 1.50$  m hasta  $h > 4.00$  m).

#### 2.1.3.2 COLECTOR SANITARIO:

Las obras a construir son las siguientes:

- Suministro e instalación de tubería PVC de 12" de diámetro por 1,048 m.
- Construcción de 61 pozos de inspección de diferentes alturas (desde  $h < 1.50$  m hasta  $h > 4.00$  m).

#### 2.1.3.3 DESARENADOR:

Constituida por una unidad cuyo alcance son los siguientes:

- Construcción de 62 m<sup>2</sup> de losa de concreto, paredes de bloques de 15 cm rellenos de concreto (58.50 m<sup>2</sup>), medidor Parshall prefabricado (1 unidad), rejilla y compuerta metálica.

#### 2.1.3.4 REACTOR ANAERÓBICO:

Esta obra está constituida por dos unidades de concreto reforzado que comprende los trabajos sucesivos:

- Cimentación de mampostería por 200 m<sup>3</sup>
- Losa de piso de reactor por 377 m<sup>2</sup>.
- Pared de concreto por 597.85 m<sup>2</sup>.
- Contrafuertes por 109.78 m.

- Revestimiento interior con lámina de fibra de vidrio por 913.22 m<sup>2</sup>.
- Obras accesorias: separador trifásico, canales, castillos, tuberías de PVC y accesorios.

#### 2.1.3.5 CAJA DISTRIBUIDOR DE CAUDAL:

Constituida por una unidad que alcanza lo siguiente:

- Construcción de 12.20 m<sup>2</sup> de losa de concreto, paredes de bloques de 15 cm rellenos de concreto (11.64 m<sup>2</sup>), repellos y pulidos.

#### 2.1.3.6 LAGUNAS:

Esta obra está constituida por cuatro unidades térreas que comprende los trabajos siguientes:

- Corte y acarreo de suelos por 60,428 m<sup>3</sup>.
- Relleno compactado mecánicamente con material selecto por 5,429.69 m<sup>3</sup>.
- Sello de arcilla (49,587.26 m<sup>2</sup>).
- Losa de concreto para oleaje por 3,094.40 m<sup>2</sup>.
- Llenado de lagunas con bomba por 61,186.19 m<sup>3</sup>.
- Vaciado de lagunas existente por una (1) unidad.

#### 2.1.3.7 OBRAS DE DRENAJE:

Las obras a construir son las siguientes:

- Instalación de tubería PVC de 6", 8", 10" y 12" de diámetro por 321 m.
- Construcción de 8 cajas de registro.

#### 2.1.3.8 ESTRUCTURA DE ENTRADA EN LAGUNAS:

Las obras a construir son las siguientes:

- Cimentación de mampostería por 5.40 m<sup>3</sup>.
- Losa de concreto por 18 m<sup>2</sup>.
- Instalación de tubería PVC de 10”.

#### 2.1.3.9 ESTRUCTURA DE SALIDA EN LAGUNAS:

Las obras a construir son las siguientes:

- Cimentación de mampostería por 0.92 m<sup>3</sup>
- Losa de concreto por 3.48 m<sup>2</sup>.
- Pared de bloque de 15 cm por 10.92 m<sup>2</sup>.

#### 2.1.3.10 MAMPARAS:

Las obras a construir son las siguientes:

- Solera 15x20 por 2,369 m.
- Solera 10x15 por 2,369 m.
- Columnas prefabricadas de 0.15x0.15 h=2.75 m por 1,176 m.
- Loseta prefabricada de 0.50x2.00 m. por 3,420 unidades.

#### 2.1.3.11 LECHO DE SECADOS:

Esta obra está constituida por dos unidades de concreto reforzado que comprende los trabajos siguientes:

- Cimentación de mampostería por 505.03 m<sup>3</sup>

- Losa de piso de reactor por 1,252.58 m<sup>2</sup>.
- Pared de bloque de concreto 20 cm por 283.82 m<sup>2</sup>.
- Repello y pulido de paredes por 254.20 m<sup>2</sup>.
- Repello y afinado por 558 m<sup>2</sup>.
- Filtro de piedra por 480 m<sup>3</sup>.
- Lecho filtrante con grava de ½” – 1” por 480 m<sup>3</sup>.
- Lecho filtrante con arena gruesa por 180 m<sup>3</sup>

#### 2.1.3.12 ESTACIÓN DE BOMBEO:

Esta obra está constituida por una unidad de concreto reforzado que comprende los trabajos siguientes:

- Losa de piso e=0.25 m por 12.25 m<sup>2</sup>.
- Pared de concreto e=0.25 m por 49.83 m<sup>2</sup>.
- Losa de concreto e=0.25 m por 5.82 m<sup>2</sup>
- Impermeabilización interior estructura por 31 25 m<sup>2</sup>
- Equipo de Bombeo por una unidad.

#### 2.1.3.13 ACERA DE CONCRETO:

Las obras a construir son las siguientes:

- Piso de concreto simple por 165 20 m<sup>2</sup>.

#### 2.1.3.14 COLECTOR:

Las obras a construir son las siguientes:

- Instalación de tubería PVC corrugada de 18” de diámetro por 330 m.
- Construcción de 7 pozos de inspección entre (1.5 m < h > 4) de altura.

#### 2.1.3.15 CABEZAL DE DESCARGA:

Las obras a construir son las siguientes:

- Cimentación de mampostería por 16 m<sup>3</sup>.

#### 2.1.3.16 CASETA DE OPERADOR Y VIGILANTE:

Esta obra está constituida por una unidad que comprende los trabajos siguientes:

- Cimentación de mampostería por 21.80 m<sup>3</sup>
- Losa de piso e= 8 cm por 16.21 m<sup>2</sup>.
- Pared de bloque de concreto simple sisado de 15 cm por 44.08 m<sup>2</sup>.
- Castillos y jambas.
- Puertas y ventanas.
- Techo de canaleta 2"x42 y lámina de Aluzinc cal.26 por 22.07 m<sup>2</sup>.
- Instalaciones eléctricas
- Instalaciones de agua potable.
- Instalaciones sanitarias.
- Tanque Rotoplas de 1,100 litros.
- Obras accesorias.

#### 2.1.3.17 CERCO DE ALAMBRE DE PÚAS:

Las obras a construir son las siguientes:

- Postes de concreto de 15x15 cm por 546 unidades.
- Alambre de púas por 12,021.50 m.
- Portón de malla ciclón.

### 2.1.3.18 MITIGACIÓN AMBIENTAL:

Las obras para mitigar son las siguientes:

- Siembra de árboles por 800 unidades.
- Engramados por 2,800 m<sup>2</sup>.



Figura 3 Plano de Conjunto de PTAR Juticalpa

Fuente: (CONASH, 2014)

## 2.2 TEORÍA DE SUSTENTO

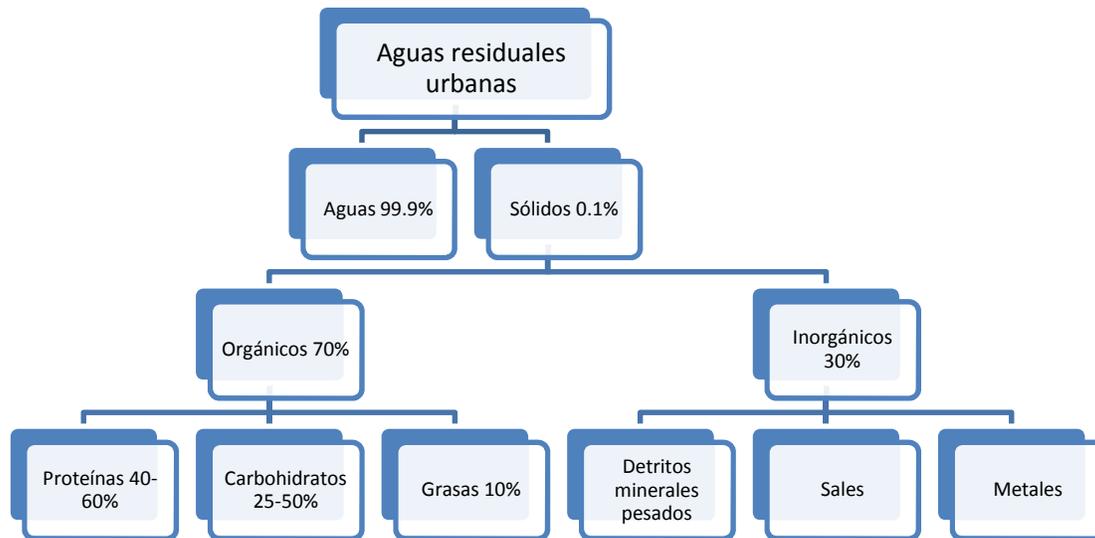
Para realizar una mejor interpretación de las variables de investigación consideradas en la presente investigación se explican continuación las teorías de sustento:

### 2.2.1 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales de origen urbano consiste en una serie de procesos, los cuales pueden ser: físicos, químicos y biológicos. La finalidad de estos es sin importar su tipo es eliminar los contaminantes presentes en los efluentes de las aguas residuales.

.Para facilitar el proceso del tratamiento de estas aguas típicamente comienza por la separación física de sólidos grandes del efluente empleando un sistema de rejillas o mallas, o en la mayoría de casos un elemento llamado desarenador (separación sólidos pequeños generalmente conocidos como arena), por lo general a este proceso se le llama pre-tratamiento. Seguido al pre-tratamiento, existe una fase que se llama tratamiento primario que suele ser un dispositivo que ayude a sedimentar (o tratamiento similar) para ayudar a separar los sólidos suspendidos presentes en el agua residual.

Después del tratamiento primario debe seguir un tratamiento secundario, por lo general es del tipo biológico (aerobio o anaerobio) que tiene por objetivo la conversión de la materia orgánica presente usando bacterias (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede experimentar procesos terciarios como ser: desinfección, filtración, combinación de ambos, etc.... Este efluente final puede ser descargado o reintroducidos de vuelta a un cuerpo receptor como ser mares, ríos, lagos y lagunas (Pistonesi & Haure, 2010).



**Figura 4 Composición media de las aguas residuales urbanas (ARU)**

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995)

## 2.2.2 ETAPAS DE DIGESTIÓN O PROCESO ANAEROBIO

El proceso de la digestión anaerobia es natural y se presenta con mucha ocurrencia en las aguas estancadas, pero para que se lleve a cabo actúan en una serie de bacterias. Dichas bacterias tienen un trabajo específico durante una etapa que se describe a continuación:

### 2.2.2.1 ETAPA DE HIDRÓLISIS

La hidrólisis es la degradación de la materia orgánica compleja. En esta etapa los lípidos son degradados por enzimas hidrolíticas (lipasas) a ácidos grasos de cadena larga y glicerina. Las proteínas son hidrolizadas por proteasas en péptidos y aminoácidos, y los polisacáridos son convertidos en monosacáridos.

#### 2.2.2.2 ETAPA ACIDOGÉNICA

Los resultados obtenidos en la etapa anterior están en forma de compuestos solubles y son transformados por las bacterias acidogénicas en ácidos grasos de cadena corta (ácidos grasos volátiles), alcoholes, amoníaco, hidrógeno y dióxido de carbono. En esta etapa se debe controlar la cantidad de hidrógeno, porque el metabolismo de las bacterias acidogénicas depende de él (Álvarez, 2003).

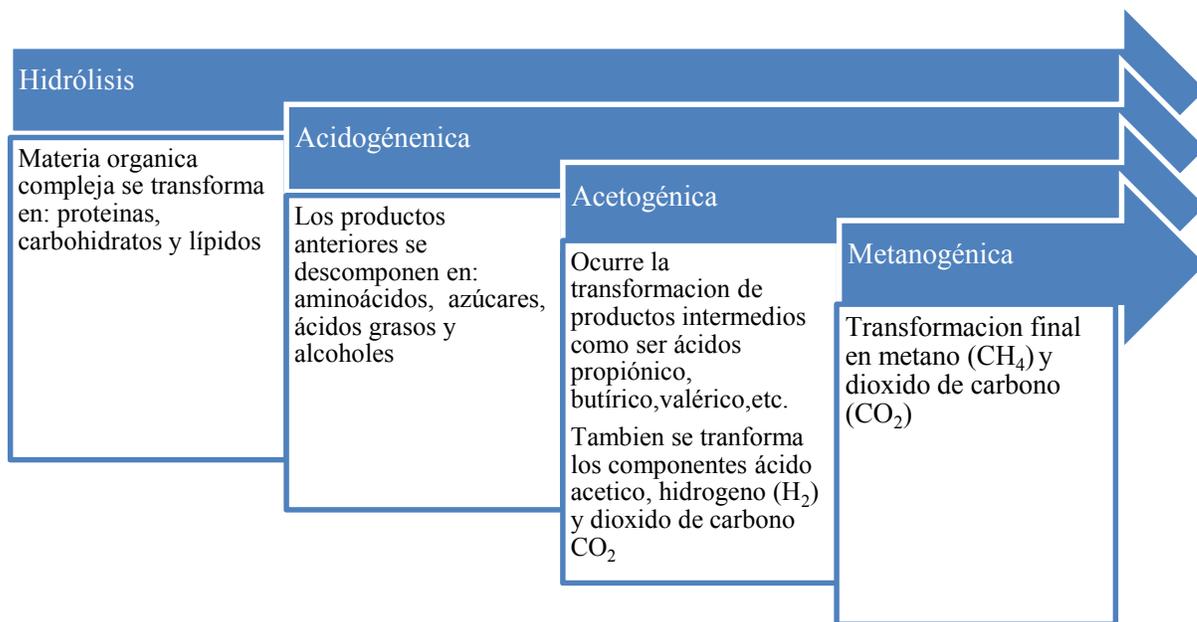
#### 2.2.2.3 ETAPA ACETOGÉNICA

En esta etapa los principales productos que se obtienen son: el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono que, posteriormente, pueden ser aprovechados por las bacterias metanogénicas.

#### 2.2.2.4 ETAPA METANOGÉNICA

En la etapa final del proceso, las bacterias metanogénicas transforman el ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono en metano y dióxido de carbono. Las bacterias responsables de este proceso son anaeróbicas estrictas. Se distinguen dos tipos de microorganismos, los que degradan el ácido acético a metano y dióxido de carbono (bacterias metanogénicas acetoclásicas) y los que reducen el dióxido de carbono con hidrógeno a metano y agua (bacterias metanogénicas hidrogenófilas).

La principal vía de producción de metano es la primera, con alrededor del 70% del metano producido. Este es un proceso lento y constituye la etapa limitante del proceso de degradación anaeróbica (Álvarez, 2003).



**Figura 5. Etapas de la fermentación anaeróbica**

Fuente: (Pavlostathis & Giraldo-Gómez, 1991)

### 2.2.3 REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE (RAFA O USAB)

Reactores anaeróbicos de Flujo Ascendente en Manto de Lodos (RAFA o UASB por sus siglas en inglés) es una tecnología que fue creada por Dr. Gatzke Lettinga y sus colaboradores en los años 70, inicialmente fue construido en Holanda y años más recientes su uso se ha propagado por Europa y especialmente en Latinoamérica. El principio de los RAFA consiste básicamente en el uso de cámaras de decantación y digestión anaeróbicas superpuestas.

Según López (2009) las principales condiciones que se deberán encontrar en estos reactores son:

- El afluente debe ser introducido en la parte inferior del reactor.
- Una efectiva separación del afluente, del lodo y del biogás.
- El lodo anaeróbico debe presentar una buena capacidad de sedimentación y principalmente se debe desarrollar como un lodo granular. (pág. 99)

Es un proceso sencillo que no involucra mucho o ningún consumo eléctrico, durante el proceso se crean tres sub productos, el primero es el biogás, el cual tiene cerca del 70% del metano y 30% de gas carbónico con trazas de gas sulfhídrico. Este biogás puede ser eliminado por un quemador o almacenado para posteriormente utilizarlo en un generador de potencia en base a biogás. El segundo sub producto que genera el proceso son los lodos los cuales pueden ser llevados a un lecho de secado o mediante equipos de deshidratación para ser usados como fertilizantes. Y el último sub producto es el efluente que requiere de un sistema terciario antes de su descarga al cuerpo receptor.

Dentro de las ventajas de utilizar el sistema RAFA mencionamos que: son construidos de concreto armado, con equipo mecánico convencional y se necesita poca mano de obra calificada. Los RAFA tiene una eficiencia limitada aproximadamente 45% a 70% para la eliminación de DQO (Demanda Química de Oxígeno); 45% a 75% para la eliminación de DBO (Demanda Biológica de Oxígeno). El área que ocupan estos reactores es mucho menor que una planta depuradora anaerobia, esto es importante al momento de aplicar esta tecnología en lugares de poco espacio como son las zonas urbanas. Tampoco requieren el suministro de ningún reactivo o químico, ni la inclusión forzada de aire o calefacción ya que funciona muy bien en climas tropicales (López, 2009)

Dentro de las desventajas que representa: dificulta en el arranque, esto puede tardar hasta meses, y se debe a su baja tasa de crecimiento de organismos anaerobios. Debido a la producción de biogás el cual contiene compuestos con azufre, este despiden mal olor o tal vez para ciertas personas son olores insoportables. Estos sistemas tienen baja capacidad para recibir cargas toxicas, por lo general se usan en lugares que excretan aguas residuales de origen doméstico.

### 2.2.3.1 PROPIEDADES QUIMICAS DEL BIOGÁS

El biogás generado es una mezcla de gases y varían de acuerdo a la fuente de materia orgánica que se está degradando y a la tecnología usada.

**Tabla 12 Composición aproximada del biogás.**

Gas	Símbolo	% Aproximado
Metano	CH <sub>4</sub>	55-80%
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	45-20%
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0-10%
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1-1%
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5-10%
Monóxido de carbono	CO	0-0.1%
Sulfuro de Hidrógeno	H <sub>2</sub> S	1-5%
Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	Variable

Fuente: (Fundación Pesenca, 2012)

### 2.2.3.1 PROPIEDADES QUIMICAS DEL BIOGÁS

El biogás en su mayor porcentaje es incoloro y sin sabor, pero como está compuesto por trazas de otros gases como los expuestos en la tabla anterior, estos hacen que tome un olor característico, especialmente el sulfuro de hidrogeno. Ya que el metano es el mayor componente del biogás, nos interesa saber que es poco soluble en agua; por ejemplo se necesitan 100 unidades de agua para disolver 3 unidades de metano (Fry, 1975).

**Tabla 13 Propiedades físicas del biogás.**

Propiedades del biogás	
Presión	8-18 cm.c.a
Presión crítica	42 Atm
	82 bar
Poder calorífico	4700-9500 Kcal/m <sup>3</sup>
	20-24 MJ/m <sup>3</sup>

Propiedades del biogás	
	5.96 KWh/m <sup>3</sup>
Gravedad específica	0.86
Velocidad de llama	40 cm/s
Grado de inflamación	6-12% V de aire
Temperatura de inflamación	600 °C
Temperatura Crítica	-82.5 °C
Densidad	1.2Kg/m <sup>3</sup>

Fuente: (Fry, 1975).

#### 2.2.4 PROCESOS DE CAPTACIÓN Y UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS

El biogás generado en el proceso anaeróbico de los RAFA puede ser modelado por el siguiente esquema:



**Figura 6 Proceso de Captación y utilización del Biogás**

Fuente: (Nolasco, 2010)

Todos estos procesos se explican a continuación:

#### 2.2.4.1 GENERACIÓN

La generación del biogás ocurre por la participación del grupo de bacterias y el principio de uso de los reactores RAFA, tal como se explicó en los apartados 2.2.2 y 2.2.3 del presente estudio.

#### 2.2.4.2 ACUMULACIÓN

El biogás producido queda atrapado en la parte superior del reactor, en la zona conocida como campana de gas. Por lo general esta estructura de fibra de vidrio o de concreto con una cobertura especial de fibra de vidrio, existen casos en que el biogás no es acumulado en el reactor sino en estructuras ad hoc.

En reactores de gran tamaño o de efluentes con altas concentraciones de materia orgánica es necesario tener un sistema que elimine el dióxido de carbono antes de acumularlo, con el fin que no quite espacio al biogás aprovechable

#### 2.2.4.3 CAPTACIÓN

El biogás acumulado en la campana puede ser removido por diferencia de presión, ya que el biogás esta aumenta de volumen y este ejerce presión en la parte superior de la campana. En dicha parte se colocan tuberías por lo general de PVC, con el fin de recolectar todo el biogás producido y transportarlo al lugar de almacenamiento (por lo general llamado cámara de gas o gasómetro) o purificación

El gasómetro es una caja llena de agua, realizando lo que se llama un sello de agua. Este artificio evita cualquier posible fuga del gas.

#### 2.2.4.4 CONDUCCIÓN

Como se mencionó anteriormente la conducción del biogás se realiza con tuberías de PVC, las mismas se entierran o recubre de pintura llamativa (color amarillo) Para evitar posibles daños producidos por la luz solar, personas o animales. En ocasiones si la presión de la tubería excede la presión de trabajo del PVC se instalan tuberías rígidas de acero o hierro dúctil, aunque estas son más susceptibles a la corrosión.

#### 2.2.4.5 CONDENSACIÓN

El biogás contiene cierto porcentaje de vapor de agua, el cual arrastra gran cantidad de partículas sólidas inertes. Una vez que el gas abandona el digestor o la estructura de acumulación, ingresa a la tubería de conducción donde la temperatura disminuye notablemente, produciéndose la condensación del vapor de agua.

El vapor debe ser removido del biogás según Nolasco (2010) por los siguientes motivos:

- Produce obstrucciones en las tuberías; y,
- Tanto el vapor de agua como las partículas que acarrea, disminuyen el rendimiento energético del biogás.

Los métodos más utilizados para remover el vapor de agua son:

- Las tuberías se disponen con una pendiente hacia el reactor de modo que el agua fluya hacia el mismo por gravedad a medida que condensa.
- Para tuberías más largas, se disponen a lo largo de la tubería recipientes donde se recoge el agua condensada y luego se extrae.

#### 2.2.4.6 REMOCIÓN DE ÁCIDO SULFHÍDRICO

Hay muchas formas de eliminar el ácido sulfhídrico, pero el más utilizado es el método conocido como “Caja Seca”, se utiliza por su bajo costo y su gran efectividad. Este método consiste en construir una caja hermética (con especies de esponjillas metálicas) en la cual se hace ingresar al biogás. Las partículas de ácido sulfhídrico quedan retenidas en las almohadillas y a la salida de la caja simplemente fluye el biogás limpio.

#### 2.2.4.7 USO FINAL

Básicamente el uso final depende de las necesidades de las infraestructuras locales o más cercanas al reactor. Pero dentro de las más comunes tenemos las siguientes:

- Quemado del metano: por lo general las instalaciones cuentan con instrumentos llamados antorchas, y este proceso se realiza en lugares donde no se justifica la inversión para el aprovechamiento energético o que hay demasiada producción de biogás para aprovecharlo. Este proceso se realiza en instalaciones donde el volumen de biogás obtenido y los precios de la energía no justifican el aprovechamiento energético del biogás.
- Combustible para un motor o generador: dependiente del tipo de combustible con el cual funciona el motor, este se puede reemplazar. Si es de Diesel que es el más común se puede sustituir hasta un 80% del combustible por biogás, si hablamos de un motor de gasolina se puede sustituir el 100% de la gasolina por biogás.
- Generación de energía térmica: el biogás suele ser utilizado para calentar los reactores anaeróbicos en climas fríos, esto nos ayuda para acelerar el proceso anaerobio y tener mayor producción de biogás. También se puede reemplazar cualquier fuente de energía por biogás en las calderas y producción del calor deseado.
- Finalmente se puede usar el biogás en Cogeneración o como respaldo de cualquier proceso (Nolasco, 2010).

## 2.2.5 METANO Y EL CAMBIO CLIMATICO

El tema de cambio climático ha cobrado una especial atención a nivel mundial, pasó de ser aquel mito de personas expertas en el tema a una problemática a nivel global. Todo esto se debe a las actividades humanas, las cuales han provocado un desequilibrio en el clima a nivel mundial. El problema de todo esto es que si no tomamos medidas drásticas afectaremos seriamente nuestro medio ambiente y perjudicaremos el de nuestras futuras generaciones.

Anton (2010) afirma que: Los planteos sobre “el cambio climático” hacen aparecer este fenómeno como una anomalía que tiene lugar a raíz de la acción humana, y en algún sentido, como una amenaza para las sociedades contemporáneas. p. 4

El cambio climático es un fenómeno que nos está afectando, el mayor contribuyente al cambio climático son las actividades humanas, las cuales generan los gases de efecto invernadero (GEI) que en su mayoría es dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano ( $\text{CH}_4$ ). La acumulación excesiva de metano en la atmosfera absorbe más radiación infrarroja de la que puede soportar, todo esto conduce a un aumento de temperatura dentro de la atmosfera. (León et al, 2012).

Ahora bien, los proyectos de tratamiento de aguas residuales, que en su mayoría utilizan procesos biológicos como ser la digestión anaerobia, son grandes generadores de metano y se debe proponer un buen sistema de eliminación segura del metano generado o en el mejor de los casos un aprovechamiento óptimo del mismo por medio de generadores de energía térmica o eléctrica. Si en algún momento no se piensa aprovechar el biogás generado, este debe de eliminar quemándolo en antorchas especiales, ya que las emisiones provenientes de dicho proceso de quema son insignificantes, si las compramos con el daño que hace la liberación directa al medio ambiente del metano producido (Doorn et al., 2006).

## 2.2.6 ESTIMACION DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Según el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), cuando se presentan condiciones anaerobias, como la antes descrita en los RAFA donde se trata las aguas residuales, son capaces de producir 0,25 kg de metano por cada kg de DQO degradado (Nolasco, 2010). Esto es de gran relevancia ya que es una cantidad aprovechable.

Expertos en el tema han desarrollado teorías experimentales, las mismas relacionan la cantidad de DQO tratada en el proceso anaerobio y la cantidad de biogás que se generará. Una de las formulas propuestas por SNV & PNUD, (2012):

$$PB = (REB)(CO)(\eta)$$

En donde: PB=Potencial de biogás (Nm<sup>3</sup> de biogás al 60% CH<sub>4</sub> /día o jornada de producción)

REB=Rendimiento específico de biogás del efluente (0.53 Nm<sup>3</sup> de biogás al 60% CH<sub>4</sub> /día o jornada de producción)

CO=Carga orgánica del sustrato (kg DQO/día o jornada de producción)

$\eta$ =Eficiencia de conversión para el sustrato, varía de acuerdo a la tecnología aplicada

Posteriormente se debe calcular Carga Orgánica de la siguiente formula:

$$CO = (DQC)(GTD)$$

En donde: DQO=Demanda química de oxígeno en la corriente del efluente (kg DQO/m<sup>3</sup>)

GTD=Volumen total del efluente (m<sup>3</sup>/día)

## 2.2.7 ESTIMACIÓN DE PRODUCCIÓN DE ELÉCTRICIDAD

Teniendo en cuenta la producción de biogás y realizando los trabajos de limpieza del mismo, se puede estimar la producción de energía térmica y posteriormente energía eléctrica, según SNV & PNUD, (2012):

$$ET = (PB)(PCI)$$

En donde: ET=energía térmica (MJ/día)

PB=producción de biogás (Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> al 60%/día)

PCI=Poder calorífico inferior 20-24 MJ/Nm<sup>3</sup>

$$PT = \frac{ET}{(24)(3,600)}$$

En donde: PT=potencia térmica (MW<sub>t</sub>)

24=representa las horas del día

3,600=representa los segundos presentes en una hora

Después de obtener la potencia térmica, se deberá de conocer la eficiencia del generador eléctrico y utilizar la siguiente formula de los mismos autores:

$$PE = (PT)(\delta)$$

En donde: PE=potencia eléctrica (MW<sub>e</sub>)

$\delta$ =eficiencia de conversión térmica 0.3-0.4

## 2.2.8 VENTAJAS DE LA UTILIZACIÓN DEL BIOGÁS

Dentro de las muchas bondades de la utilización del biogás generado en los reactores anaerobios podemos mencionar los principales como son:

- Disminución de olores en las cercanías de las plantas de tratamiento
- Disminución o eliminación de las gases de efecto invernadero
- Reemplazo de fuentes de combustibles convencionales por fuentes renovables
- Pueden ser fuentes de energía en lugares inaccesibles.
- Elimina la dependencia de fuentes de energía y puede brindar seguridad de suministro.

### 2.2.9 SOSTENIBILIDAD DEL SANEAMIENTO

Este es una teoría que puede tener muchos puntos de vista pero nos enfocamos en los más importantes y partimos de expresados por Vicher (1999):

Un sistema de agua y saneamiento es sostenible cuando a lo largo de su vida proyectada suministra el nivel deseado de servicio, con criterios de calidad y eficiencia económica y ambiental, el cual puede ser financiado o cofinanciado por sus usuarios con un mínimo de apoyo externo y de asistencia técnica, y que es usado de manera eficiente sin que cause efecto negativo al medio ambiente.

Tomando en cuenta este concepto y todos los actores en el sector saneamiento de Honduras como ser las municipalidades, Secretaria de Salud, SERNA, SANAA, entre otros. Se concerto la adopción de lineamientos basados en tres enfoques:

1. Enfoque basado en la demanda: propuesto por el Banco Mundial, en donde afirma que los proyectos se originan desde la comunidad (Sara y Katz, 1998).
2. Enfoque de gobernanza local del Saneamiento: partiendo del entendido que es fundamental la participación del gobierno local, sociedad civil organizada, sector privado y los usuarios en los diferentes procesos de toma de decisión en las distintas etapas de desarrollo del ciclo de los proyectos (Mejía, Smits, & Sánchez, 2010).
3. Gestión Eficiente” por considerarse que éste elemento estratégico es fundamental para el logro de la búsqueda sostenibilidad, al asegurar una administración, operación y mantenimiento apropiado de los sistemas de saneamiento (Borjas, 2010)

## 2.3 CONCEPTUALIZACIÓN

### 2.3.1 PARAMETROS FISICOS

#### 2.3.1.1 TEMPERATURA

La digestión o proceso anaeróbico se puede llevar a cabo en un amplio intervalo de temperaturas, todo depende de las características del emplazamiento, por lo general los expertos en el tema clasifican en tres tipos de bacterias según la temperatura: Psicofílicas, Mesofílicas y Termofílicas.

El Intervalo de bacterias Psicofílicas es utilizado en regiones donde la temperatura ambiente suele llegar hasta el punto de congelación, en estos casos es necesario suministrar a las bacterias una fuente de calor. El intervalo mesofílico es el más utilizado en regiones de clima cálido, pese a que en el termofílico es donde se tiene la mayor producción de biogás. Esto se debe a que las bacterias Mesofílicas son más estables presentando baja sensibilidad a cambios de temperatura y el mantenimiento del sistema consume más energía que la que puede proporcionar el gas resultante (GTZ GmbH, 1999).

**Tabla 14 Intervalos de temperatura en las que trabajan las bacterias anaeróbicas.**

Bacterias	Rango de temperatura	Sensibilidad
Psicofílicas	Menos de 20°C	±2°C/hora
Mesofílicas	Entre 20°C y 40°C	±1°C/hora
Termofílicas	Más de 40°C	±0,5°C/hora

Fuente: (GTZ GmbH, 1999, p. 46)

### 2.3.1.2 SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Generalmente el agua residual contiene partículas en suspensión y compuestos solubilizados, la suma de ambos es conocida como Sólidos Totales (ST). Esta medida nos permite conocer dos parámetros importantes:

1. El contenido total de sustancias no volátiles presentes en el agua, el cual nos ayudara para la producción del sub producto biogás.
2. Nos ayuda a estimar los sólidos sedimentables (Ss), que nos dan una idea de la cantidad de lodos que se producirán en el proceso de digestión (Hernández et al, 2012).

### 2.3.2 PARAMETROS QUIMICOS

#### 2.3.2.1 PH

Es una medida de acidez o alcalinidad de los elementos y para las bacterias anaerobias representa una mejora o atraso en el proceso de transformación de la materia orgánica. Durante todo el proceso anaerobio las bacterias tienen diferentes valores de PH óptimos, por ejemplo: Las hidrolíticas entre 7,2 y 7,4; las acidogénicas en el entorno de 6; las acetogénicas y las metanogénicas entre 6,5 y 7,5 (IDAE, 2011).

#### 2.3.2.2 DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

Este parámetro no ayuda para estimar el grado de materia degradable que existe en el residuo o influente, determinando la cantidad de oxígeno necesaria para que los microorganismos del residuo degraden la materia orgánica presente en el residuo, el periodo de medición generalmente es 5 días y por lo general se conoce como  $DBO_5$  (Hernández et al, 2012).

### 2.3.2.3 DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

Es el parámetro que nos representa la existencia de material oxidable en un residuo, calculando la existencia de ciertas sustancias químicas presentes en los residuos, estas sustancias captan parte del oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras (Hernández et al, 2012).

### 2.3.2.4 CARBONO ORGANICO TOTAL

Es un parámetro que nos indica la presencia o ausencia de compuestos orgánicos fijos o volátiles presentes en las aguas residuales, como celulosa, azúcares, aceites y otros. Este parámetro establece una relación directa entre DBO<sub>5</sub> y DQO (Hernández et al, 2012).

### 2.3.2.5 NITROGENO Y FOSFORO ORGANICO

La presencia de nitrógeno y fósforo en un residuo produce contaminación del agua y alteraciones en el ecosistema. Ambos son requeridos para la reproducción microbiana y también son responsables del crecimiento excesivo de algas en ríos y lagos; por ello deben ser controlados y balanceados (Hernández et al, 2012).

### 2.3.2.6 METALES

Entre los metales más dañinos para la salud humana se encuentran el plomo (Pb), mercurio (Hg), cadmio (Cd) y arsénico (As). Estos compuestos se acumulan en los sedimentos de las aguas residuales y se caracterizan por ocasionar un impacto negativo en el medio ambiente, debido al carácter tóxico de sus elementos que contamina el curso receptor. Su eliminación en algunos de los casos necesita esfuerzos extras y de tecnologías complejas (Hernández et al, 2012).

### 2.3.3 TIEMPO DE RETENCIÓN Y TIEMPO DE RESIDENCIA

El tiempo de retención es básicamente el tiempo que la materia orgánica presente en el influente está sometido a la acción de las bacterias en el reactor. Y para ello se ha clasificado los reactores por su funcionamiento en:

1. Sistemas discontinuos (Batch), donde el tiempo de retención coincide con el tiempo de permanencia del substrato dentro del digestor.
2. Digestores continuos y semi continuos, por su naturaleza estacionaria, el tiempo de retención se transforma en tiempo de residencia, y este se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria (IDAE, 2011).

La selección de una mayor temperatura al momento de realizar el diseño de los reactores, implicará una disminución en los tiempos de retención o de residencia requeridos. Esto se ve reflejado directamente en la disminución del volumen del reactor necesario para digerir un determinado volumen de material.

## 2.4 INSTRUMENTOS

### 2.4.1 VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

Para tener confiabilidad en los datos que estaremos tratando para contestar las preguntas de investigación planteadas en el capítulo I, en el caso de la temperatura ambiental, se tomará los datos de la estación pluviométrica más cercanas al emplazamiento de la planta de tratamiento, y posteriormente se hará uso de un software estadístico.

En los análisis de las aguas residuales se llevará las muestras bajos los estándares de los procedimientos establecidos, y el laboratorio a realizar los análisis estará acreditado bajo normas internacionales de calidad.

En el caso de los datos de caudal, se usará a personal designado por la Municipalidad de Juticalpa, Olancho, o en su defecto al personal dispuesto por la ERSAP para tal fin.

#### 2.4.2 PROCEDIMIENTOS EMPLEADOS

En el mismo orden del apartado anterior, para los datos de temperatura se examinará el comportamiento de datos existentes de 20 años, para posteriormente obtener su temperatura promedio diaria.

Para los análisis de aguas residuales se utilizarán los métodos de American Water Works Association (AWWA) por ser los más utilizados para este tipo de trabajo.

### 2.5 MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

#### 2.5.1 MARCO JURIDICO

El sector de agua y saneamiento en Honduras se rige por diferentes leyes, todas ellas sirven para encaminar los esfuerzos de los actores o instituciones del sector. Dichas leyes nos sirven para mejorar las condiciones de vida de todos los hondureños. A continuación se resumen las más importantes según López (2009):

- Ley de Municipalidades. Decreto 134-90 del 29 de octubre de 1990.
- Código de Salud. Decreto 65-91, publicado en La Gaceta número 26,509 del 6 de agosto de 1991.
- Ley de Ordenamiento Territorial
- Ley General del Ambiente, Decreto No.104-93 del 27 de mayo de 1993, publicado en La Gaceta el 30 de junio de 1993.
- Ley General de la Administración Pública, Decreto No.146-86 del 27 de octubre de 1986, modificada mediante Decreto No.218-96. Publicado en La Gaceta No.28,148 del 30 de diciembre de 1996, el cual reforma los artículos 3, 4, 14, 15, 28, 29, 30, 31, 33, 34, 43, 45 y 46.

- Ley Marco del Sector de Agua Potable y Saneamiento , Decreto No.118-2003, Publicado En Diario Oficial La Gaceta el día 8 de Octubre de 2003
- Ley General de Aguas de diciembre de 2009
- Ley de Visión de País 2010-2038 y Plan de Nación 2010-2022 de enero de 2010; las cual define los lineamientos sobre la prestación de los servicios, los roles institucionales, la gestión del recurso hídrico y la planificación por cuencas y regiones de desarrollo.

Dentro de las normas que se basa el sector agua y saneamiento tenemos:

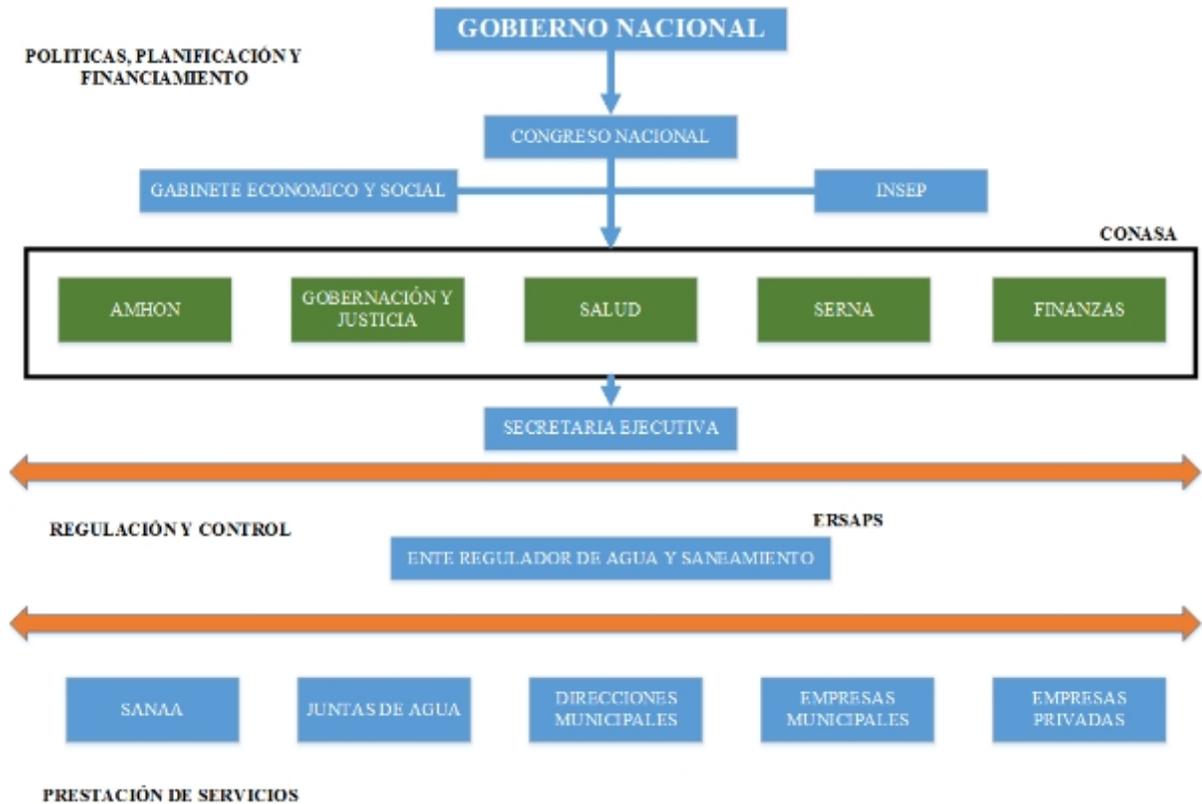
- Reglamento General de la Ley del Ambiente, Acuerdo Número 109-93 del 20 de diciembre de 1993.
- Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario. Acuerdo No.058 de la Secretaría De Salud del 9 de abril de 1996 vigente desde el 13 de diciembre de 1997.

Vale la pena mencionar que si los proyectos de saneamiento desean explotar los residuos como ser el biogás, los mismos deben de apegarse a las siguientes leyes:

- Ley de Promoción a la Generación de Energía Eléctrica con recursos renovables decreto 70-2007 y su reforma en el decreto 138-2013.
- Ley General de la Industria Eléctrica. Decreto 404-2013
- Reglamento para el Control de Emisiones generadas por Fuentes Fijas (este reglamento entra en vigor si hay emanaciones por combustión dentro de la planta de tratamiento)

## 2.5.2 MARCO INSTITUCIONAL

Todas las actividades del sector agua y saneamiento se pueden resumir bajo el siguiente esquema:



**Figura 7 Diagrama de Instituciones del sector agua potable y saneamiento**

Fuente: (López, 2009, p. 65)

A continuación se realiza un breve resumen de las entidades e instituciones más importantes del sector:

#### 2.5.2.1 SECRETARIA DE SALUD

La Secretaria de salud de Honduras rige sus obligaciones de acuerdo a la Ley General de Administración Pública teniendo como principales obligaciones:

- Formulación y Evaluación de políticas relacionadas con la protección, promoción y rehabilitación de la salud de la población, aprobando todas las estrategias orientadas a esos fines.
- Realiza el control sanitario de los sistemas de tratamiento, conducción y suministro de agua para consumo humano.
- También realiza el control de los sistemas de alcantarillado, manejo y/o disposición de excretas, manejo de aguas lluvias, negras y servidas.

#### 2.5.2.2 SERNA

Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente también se basa en la Ley de Administración Pública donde enfatiza que le corresponde: formulación y ejecución de las políticas relacionadas con la protección y aprovechamiento de los recursos hídricos. De acuerdo a ley SERNA delega y trabaja con las municipalidades, creando las llamadas Unidades Municipales Ambientales (UMAs) las cuales tienen las atribuciones siguientes:

- Dictaminar sobre solicitudes de uso y explotación de los recursos naturales y permisos de operación de industrias, negocios, construcciones y urbanizaciones.
- Diagnosticar informes sobre solicitudes de licencias ambientales y medidas de mitigación.
- Elaboración y recomendación sobre ordenanzas municipales relacionadas con el uso, manejo y aprovechamiento de recursos naturales, así como de los delitos ambientales.

### 2.5.2.3 CONASA

Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento (CONASA) fue creado a partir de La Ley Marco de Agua y Saneamiento (2003), y su responsabilidad es ser representante oficial del Gobierno de Honduras en materia de agua potable y saneamiento, nacional e internacionalmente.

CONASA es encargado de formular y ejecutar todas las actividades de las instituciones públicas y privadas, relacionadas con tecnología, capacitación, mejoramiento del servicio y conservación de las fuentes de agua (López, 2009)

### 2.5.2.4 SANAA

El Sistema Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA) tiene por atribuciones según la Ley Marco Agua y Saneamiento:

- Estudiar los recursos hidráulicos y su adaptabilidad a los problemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado
- Llevar a cabo la ejecución de proyectos de agua potable, colección, tratamiento y disposición de las aguas negras y las aguas pluviales
- Operar y administrar todas las instalaciones a su cargo.

Esta última obligación ha cambiado debido a la Ley de Municipalidades, la cual establece que las municipalidades e instituciones autónomas, deberán traspasar al servicio de los sistemas de agua y alcantarillado bajo su jurisdicción, para que éstos sean administrados, operados y mantenidos por la comunidad. Además de lo anterior, el SANAA desempeña funciones de apoyo a las municipalidades y a las juntas de agua, realizando estudios, promoción y supervisión de agua potable y saneamiento en general (López, 2009).

#### 2.5.2.5 MUNICIPALIDADES

En cuanto a saneamiento La Ley de Municipalidades las faculta las mismas para la construcción, mantenimiento y administración de redes de alcantarillado para aguas negras y alcantarillado pluvial. Todas las acciones anteriores deben de ser realizadas responsablemente y dirigidas hacia la protección del medio ambiente. Tal como se mencionó anteriormente, las municipalidades operan, mantienen y administran todos los sistemas de alcantarillado del país, a excepción del de la ciudad capital que está a cargo de SANAA (López, 2009) .

#### 2.5.2.6 PRESTADORES DE SERVICIO

Los prestadores de servicios son personas previamente capacitadas, las cuales son las autorizadas para prestar el servicio de agua potable y/o saneamiento. Estas unidades de prestadores trabajan generalmente en las municipalidades y son de capital municipal, mixto o privado.

A los prestadores de servicios que por lo general funcionan en el ámbito rural o periurbano se les conoce como juntas administradoras, dichas juntas tienen la responsabilidad que se cumplan todas las regulaciones sanitarias, protección del medio ambiente y todas las sanciones que conlleve los incumplimientos (López, 2009).

#### 2.5.2.7 ERSAPS

Ente Regular del Sistema de Agua Potable y Saneamiento fue creado por la Ley Marco del sector agua potable y saneamiento, dentro de sus obligaciones: cumplir con las regulaciones ambientales y de salud. Establecer normas, criterios e indicadores para evaluar la gestión técnica, ambiental, financiera y administrativa de los prestadores del servicio.

El ERSAPS, como una forma de incluir a la sociedad civil y al gobierno municipal, crea la comisión municipal de agua y saneamiento (COMAS) que son las que ayudan en la toma de acciones y planes en conjunto sobre temas del sector. (López, 2009)

#### 2.5.2.8 FHIS

El fondo hondureño de inversión social (FHIS) se creó con el objeto de ejecutar programas de compensación social, el FHIS se encarga de ejecución, construir y evaluar proyectos como ser plantas de tratamiento, sistemas de alcantarillado, infraestructura rural como ser generación de energía, proyectos de letrización, etc...

## CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Una vez descrito el planteamiento del problema (capítulo I) y el marco teórico (capítulo II), en éste capítulo se estructuran los procedimientos y técnicas de investigación para responder de manera precisa las preguntas de investigación. Así mismo se definen los instrumentos y fuentes de información utilizadas en el presente trabajo.

### 3.1 CONGRUENCIA METODOLÓGICA

En base a los objetivos descritos en el capítulo I, se describe la metodología que permite unir la información descrita en los capítulos anteriores:

#### 3.1.1 MATRIZ METODOLÓGICA

Para tener una visión amplia de lo que se está buscando, se ordena los puntos más relevantes del presente estudio en la tabla siguiente:

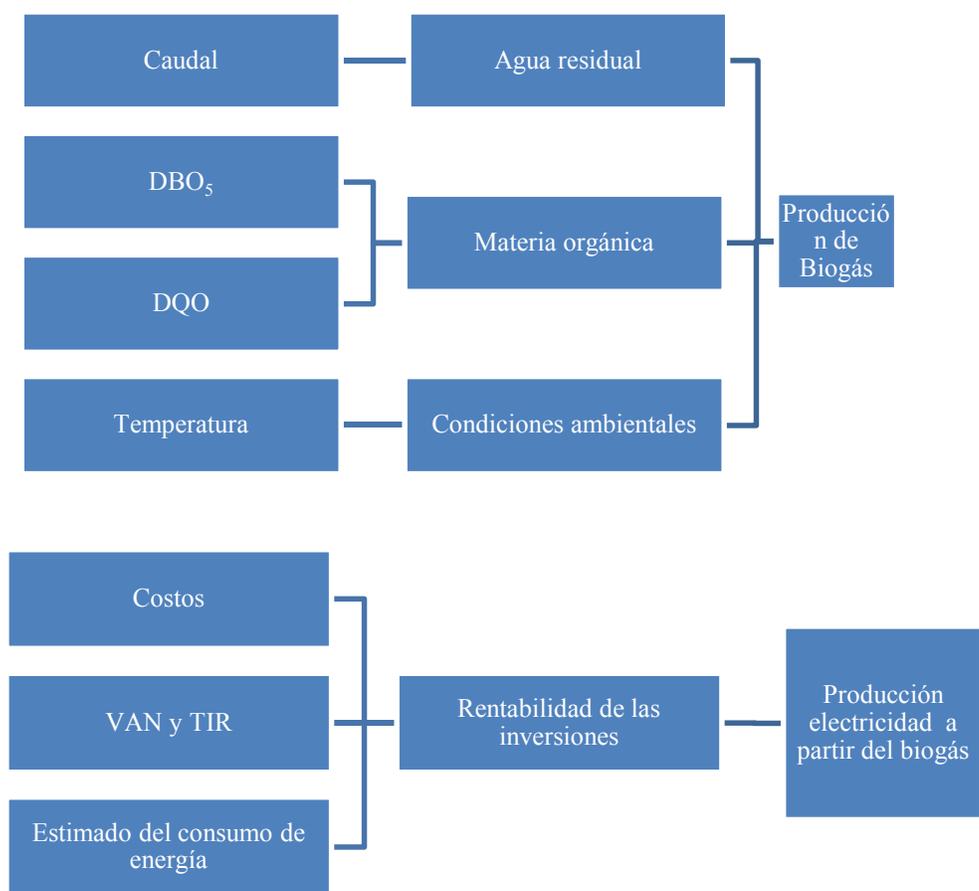
**Tabla 15 Matriz Metodológica**

Título de la investigación	Problema	Pregunta de investigación	Objetivo		Variables	
			General	Específico	Independiente	Dependiente
Viabilidad de la utilización del biogás para generación de energía eléctrica como autoconsumo en la planta de tratamiento de aguas residuales de Juticalpa, Olancho	¿Es viable la utilización de biogás para la generación de electricidad como autoconsumo en la planta de tratamiento de Juticalpa, Olancho?	1) ¿Existe el recurso necesario para la producción de biogás en la planta de planta de tratamiento de Aguas Residuales en Juticalpa, Olancho?	Evaluar técnica y financieramente un sistema que permita la utilización del biogás para generación de energía eléctrica como autoconsumo en la planta de tratamiento de aguas residuales de Juticalpa, Olancho.	1) Estimar la calidad y cantidad del recurso (aguas residuales de origen urbano) para la generación de biogás y posteriormente energía eléctrica para autoconsumo.	Agua Residual	Producción de biogás
		2) ¿Las condiciones ambientales del emplazamiento son las óptimas para dicha generación?		2) Determinar si las condiciones ambientales son las óptimas para la producción de biogás.	Materia orgánica del agua residual	
		3) ¿Será rentable la inversión para sustituir la fuente		3) Calcular los parámetros económicos VAN	Rentabilidad de las inversiones	

Título de la investigación	Problema	Pregunta de investigación	Objetivo		Variables	
			General	Específico	Independiente	Dependiente
		de energía eléctrica o disminuir la factura eléctrica con el uso de biogás?		y TIR que nos permita estimar la rentabilidad económica de la inversión para la generación de energía eléctrica para autoconsumo		partir del biogás

### 3.1.2 DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES

En el siguiente esquema se muestra la relación entre las variables dependientes y las independientes:



**Figura 8 Diagrama de variables**

Fuente: (Heller, 2015)

**Tabla 16 Operacionalización de las variables**

Variable independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Preguntas	Respuestas	Escala	Técnica
	Conceptual	Operacional						
Agua Residual	Son los residuos de origen domestico que trata la planta de tratamiento	Materia prima a ser tratada por el RAFA para la producción de biogás	m3/día	No mayor al especificado en las indicaciones del diseñador del RAFA	¿Cuál es el caudal de Aguas residuales que ingresan RAFA?	Caudal expresada en m3/día	Razón	Uso de canaleta Parshall instalada en el desarenador antes de la entrada al RAFA
Materia orgánica	Es la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales	Es la porción de materia orgánica que se puede degradar y transformar en biogás	DBO5=mg O2/l DQO= mgO2/l	No mayor al especificado en las indicaciones del diseñador del RAFA	¿Cuál es la cantidad de materia orgánica de las Aguas residuales que entran al RAFA?	DBO5=mg O2/l DQO= mgO2/l	Razón	Métodos analíticas usados en los laboratorios certificados
Condiciones ambientales	Es la temperatura ambiental en el lugar de trabajo del RAFA	La temperatura es el mayor indicador para identificar el tipo de bacterias presentes en el RAFA	Temperatura promedio diaria	La temperatura promedio diaria sea de acuerdo a las bacterias Mesofilicas del RAFA	¿Cuál es la temperatura promedio del lugar de emplazamiento de reactor	Temperatura en grados Celsius	Razón	Evaluación estadística de datos provenientes de estación pluviométrica
Rentabilidad de las inversiones	El total de las inversiones necesarias para la implementación del sistema de aprovechamiento del biogás	Cantidad de dinero necesaria para llevar a cabo una actividad determinada	Inversión (L.) VAN (L.) TIR (%)  Estimado de consumo de energía eléctrica	VAN sea positivo y que la TIR sea mayor a la tasa de interés de mercado	¿Qué tan viable son las inversiones para generar energía a partir biogás?	Valores para VAN y TIR, considerando las inversiones y los ahorros en la factura de energía eléctrica	Intervalo	Herramientas financieras
Variable Dependiente	Definición		Dimensión	Indicador	Preguntas	Respuestas	Escala	Técnica
	Conceptual	Operacional						
Producción de biogás	Es el aprovechamiento de la transformación de la materia	Es la cantidad de biogás que puede obtener del proceso	m3/d de metano al 60%	Inestable según variables independientes	Con los resultados de las variables independientes,	m3/d de metano al 60%	Razón	Índice de Producción de biogás

Variable independiente	Definición		Dimensión	Indicador	Preguntas	Respuestas	Escala	Técnica
	Conceptual	Operacional						
	orgánica de las aguas residuales en biogás	anaeróbico del RAFA			¿cuál es la cantidad de biogás que producirá el RAFA?			
Producción de energía a partir del biogás	Es la utilización del biogás como fuente energética para funcionar un generador de energía eléctrica	Es la cantidad de energía eléctrica que puede obtener por unidad de biogás	kWh/día	Inestable según variables independientes	Con los resultados de las variables independientes, ¿cuál es la cantidad de energía que producirá el generador ?	kWh/día	Razón	Eficiencia en la transformación del generador eléctrico

Fuente: (Heller, 2015)

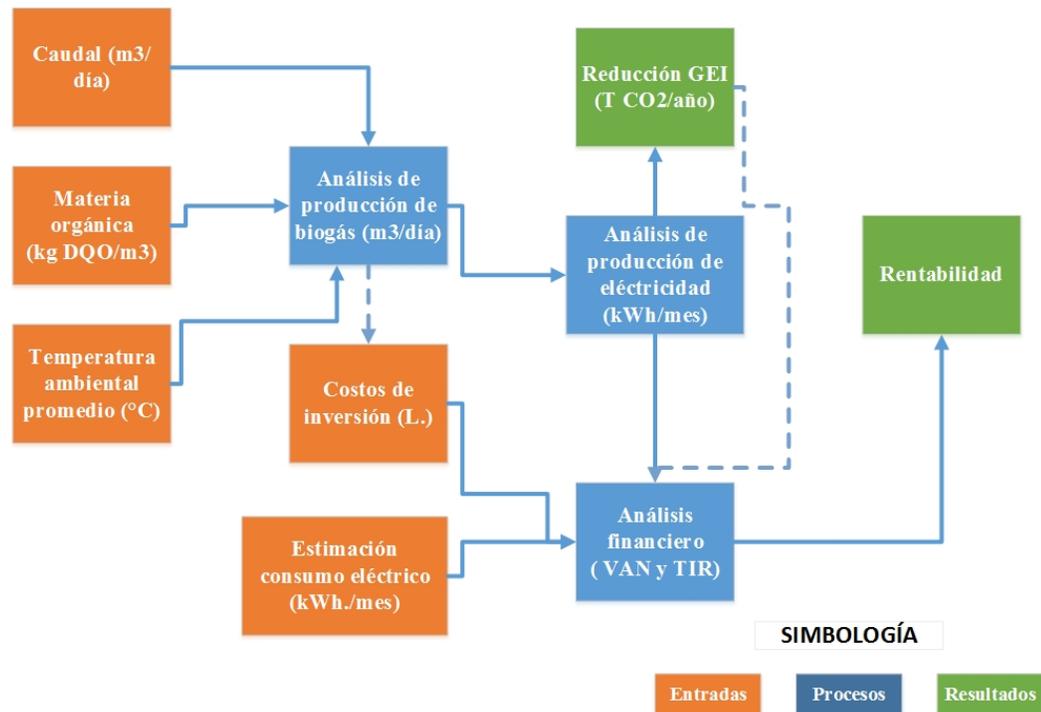


Figura 9 Flujograma de la metodología

### 3.1.3 HIPÓTESIS

Una hipótesis es un concepto que preliminarmente se cree al revisar la literatura, y que se pone a prueba al recolectar y analizar datos (Sampieri, Collado, & Lucio, 2010).

Después de analizar las variables de estudio y confrontarlas con las teorías existentes, se formulan las hipótesis de investigación:

Hi: La utilización del biogás generado en la planta de tratamiento de Juticalpa, Olancho para generar electricidad para autoconsumo es rentable

Ho: La utilización del biogás generado en la planta de tratamiento de Juticalpa, Olancho para generar electricidad para autoconsumo no es rentable.

Ambas son hipótesis descriptivas ya que su fin es describir de rentable o no, la utilización del biogás para generación de energía eléctrica.

### 3.2 ENFOQUE Y MÉTODOS

De acuerdo a las preguntas de investigación planteadas en el capítulo I, el presente estudio tiene un enfoque mixto, ya que utiliza los datos cuantitativos y cualitativos. Cuantitativo porque pretende identificar la cantidad de aguas residual, materia orgánica y temperatura de la zona de emplazamiento, así como los costos que se generarán para la explotación del biogás. Y el enfoque cualitativo se orientó para calificar de rentable o no las inversiones a realizar.

Este tipo de enfoques son los más indicados para el tipo de investigación que se está realizando, ya que se sustenta en las fortalezas de cada enfoque y no en sus debilidades que se realiza según afirma Todd & Lobeck, (2004):

Se logra una perspectiva más precisa del fenómeno. Nuestra percepción de éste es más integral, completa y holística. Además si son empleados dos métodos-con fortalezas y debilidades propias-,

que llegan a los mismos resultados, esto incrementa nuestra confianza que estos son una representación fiel, genuina y fidedigna de lo que ocurre en el fenómeno estudiado. (pág. 184)

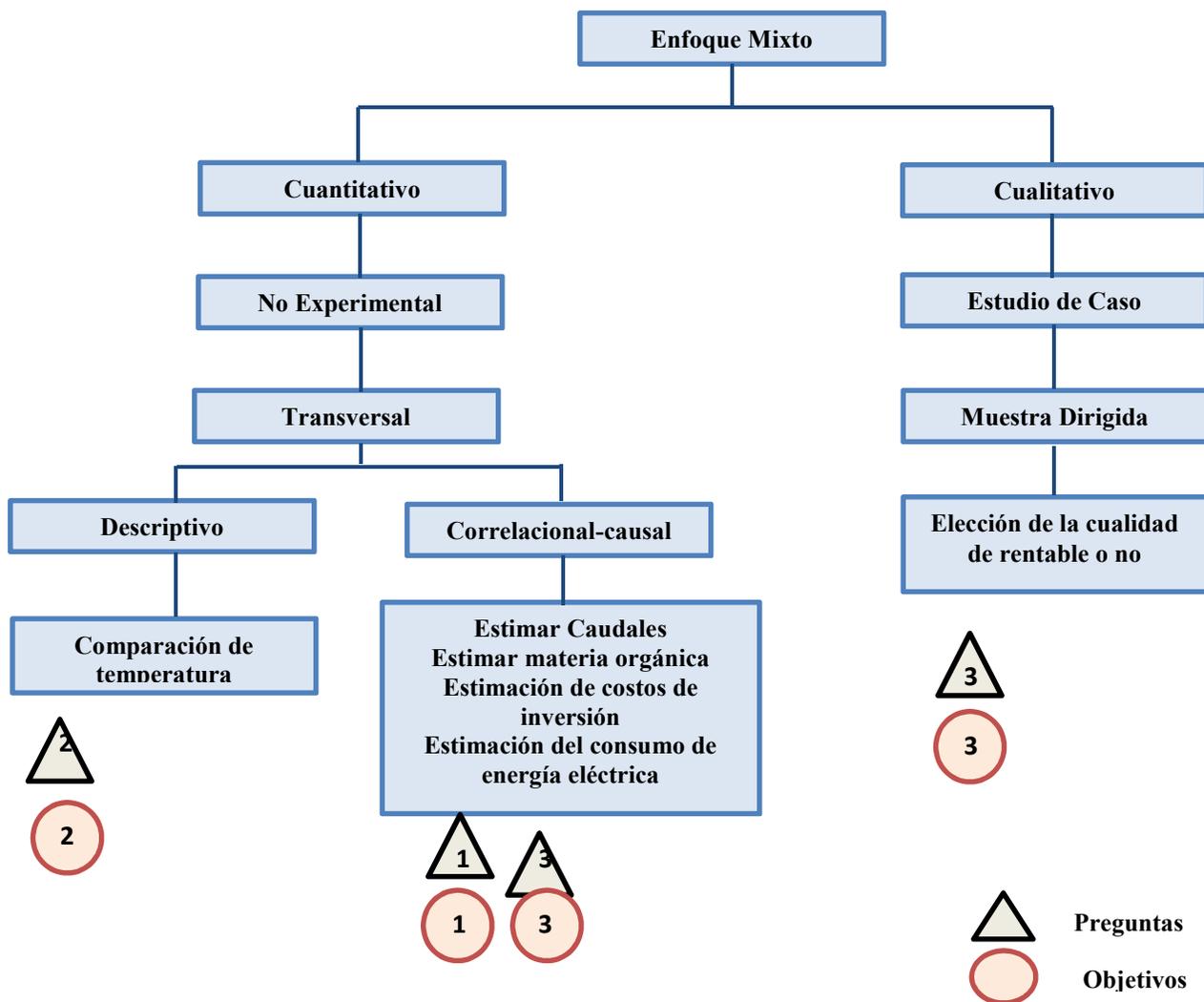


Figura 10 Estructura Metodológica.

Siguiendo la estructura metodológica propuesta; la parte cuantitativa será bajo una modalidad no experimental, debido a que la orientación del estudio es un periodo definido y el grado de control de las variables es bajo. Y de tipo transversal, pues la investigación recopila datos en un momento dado, es decir, datos recopilados en un tiempo determinado. El resto del diseño de la investigación tiene un alcance descriptivo y la técnica a utilizar es una comparación del promedio mensual de temperatura con el rango de temperatura de trabajo de las bacterias, contestará la pregunta y el objetivo dos. El resto será de tipo correlacional-causal ya que muestra la relación entre las variables y la producción estimada de biogás, así como los costos de la inversión de generar electricidad con dicho biogás.

Con la ayuda del enfoque cualitativo se tomara la decisión de calificar de rentable o no la inversión, es así que se contestará la pregunta y objetivo específico tres. Se utiliza una muestra dirigida pues permitirá una mejor recolección y análisis de datos.

### 3.3 MATERIALES

Se utilizan los siguientes materiales:

- Regla plástica graduada con una resolución de 0.001 m
- Recipientes estériles con capacidad de un galón, estos son para transportar la muestra de agua residual al laboratorio de análisis.
- Hielera para transportar las muestras al laboratorio.
- Termómetro de líquido en vidrio, inmersión parcial, y una resolución de 1 °C. Este instrumento para tomar mediciones de temperatura ambiente en lugar de emplazamiento

### 3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Con el afán de contestar las preguntas de investigación y satisfacer los objetivos planteados en el capítulo I, se diseña la siguiente investigación:

### 3.4.1 POBLACIÓN

La población objetivo son las aguas residuales de origen urbano, de las colonias que tiene cobertura de la planta de tratamiento de aguas residuales de Juticalpa, Olancho en su etapa I. El biogás se utilizará para la generación de energía eléctrica para autoconsumo.

### 3.4.2 MUESTRA

La muestra será del tipo “no probabilística”, ya que la elección de la muestra no depende de la probabilidad (Sampieri et al., 2010). El fin del presente estudio es verificar si es rentable la utilización del biogás para generar energía (véase capítulo I), por lo tanto la cantidad y calidad de la materia prima se tomará el día de menor caudal de agua residual urbana entrando al reactor en la época de menor temperatura ambiente (generalmente dentro de los meses de diciembre, enero y febrero).

### 3.4.3 UNIDAD DE ANÁLISIS

La unidad de análisis del presente estudio se dividirá en dos:

- La primera unidad de análisis es la persona capacitada por la junta de agua y por la municipalidad de Juticalpa, con el fin de tomar las lecturas en la canaleta Parshall ubicada en el desarenador de la planta de Tratamiento.
- La segunda persona es el autor del presente estudio, ya que se tomaran muestras del influente y efluentes del RAFA. Con el fin de caracterizar los parámetros químicos y físicos.
- La tercera unidad de análisis es el proveedor del equipo generador de electricidad con biogás.
- La cuarta unidad de análisis serán las estaciones pluviométricas cercanas a la planta de tratamiento, la cual proporcionarán datos históricos de las temperaturas ambientes.

### 3.4.4 UNIDAD DE RESPUESTA

Las unidades de respuesta serán las siguientes:

- Para la primera unidad de análisis son centímetros (cm), medidos con la ayuda de regla graduada, esto nos ayuda para calcular indirectamente el caudal que pasa por la canaleta Parshall.
- La segunda unidad de respuesta es galón (g), es la cantidad de agua residual que se tomará para llevar al laboratorio.
- La tercera unidad de respuesta es lempiras (L.)
- La cuarta unidad de respuesta es grados Celsius (C)

### 3.5 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS

A continuación se definen las técnicas e instrumentos utilizados para la obtención de la información y análisis de los datos para la realización del análisis cuantitativo y cualitativo de la investigación.

#### 3.5.1 INSTRUMENTOS

Los instrumentos utilizados para recolectar la información del análisis cuantitativo son:

- Formulario de medición directa de la altura del tirante en la canaleta Parshall, en este formulario se registra la altura a la que llega el nivel de agua residual.
- Resultado de los análisis físico-químicos del influente y efluente del RAFA proporcionados por el laboratorio, estos resultados nos estimaran cantidad de materia orgánica que poseen dichas aguas residuales.
- Cotización con los proveedores de generadores a base de biogás, este instrumento nos valorará la inversión necesaria para la utilización del biogás para generar electricidad.

- Historial de temperaturas registradas en las estaciones pluviométricas, este instrumento nos ayudará para describir el tipo de bacterias según la temperatura promedio de trabajo.

Los instrumentos utilizados para recolectar la información del análisis cualitativo son:

1) Comparación de la VAN y TIR con inversiones de poco riesgo, con el fin de indagar si es rentable la inversión para el aprovechamiento del biogás.

### 3.5.2 TÉCNICAS

En el apartado anterior se definieron los instrumentos, en el siguiente párrafo se definen las técnicas o procedimientos utilizados para la obtención de datos:

- 1) Aplicación de fórmulas de estimación de biogás (véase capítulo II) se utilizará la fórmula propuesta por SNV & PNUD, (2012).
- 2) Aplicación de fórmulas hidráulicas de la canaleta Parshall.
- 3) Análisis de datos de temperatura obtenidos de la estación pluviométrica más cercana,
- 4) Aplicación de fórmulas de estimación de flujo de caja (VAN y TIR)

## 3.6 FUENTES DE INFORMACIÓN

### 3.6.1 FUENTES PRIMARIAS

Las fuentes primarias para este estudio son:

- 1) Visita de campo, al emplazamiento de la planta de tratamiento y sobre todo al reactor anaeróbico.
- 2) Estación pluviométricas cercanas a Juticalpa, Olancho

- 3) Bases de datos con documentos de la compañía diseñadora y supervisora del proyecto.
- 4) Mapas, planos y diseño elaborado por el diseñador y supervisor
- 5) Documentos propios del cliente y de la municipalidad

### 3.6.2 FUENTES SECUNDARIAS

Como fuentes secundarias se tomaron:

- 1) Libros de textos
- 2) Tesis
- 3) Documentos de instituciones gubernamentales y privadas (SANAA, FHIS, USAID, IDB).

### 3.7 LIMITANTES DEL ESTUDIO

Debido a la serie de complicaciones que representa el desarrollo del presente estudio, a continuación se enumeran algunas de ellas:

- 1) No se cuenta con información del comportamiento del consumo de agua en la ciudad de Juticalpa.
- 2) No hay datos caracterizaciones de las aguas residuales del lugar
- 3) El tiempo para desarrollar el tema, ya que se debe realizar en el menor tiempo posible.
- 4) Ubicación del proyecto, Juticalpa se encuentra a aproximadamente 180 kilómetros de la ciudad de Tegucigalpa, lo que dificultó la obtención de la información.
- 5) Costos, debido a que el proyecto objeto de estudio se encuentra lejos de Tegucigalpa, se debió invertir en costos de transporte, alimentación y hospedaje son elevados.

Después de analizar las limitantes del estudio, se adquirirá los datos de la estación pluviométrica HMP “La Conce” ubicada a 1 km del sitio de la planta de tratamiento. La medición del caudal de las aguas residuales, se realizará durante el periodo de una semana de los meses más fríos de Juticalpa (diciembre, enero y febrero). Una vez estimado el comportamiento en la semana de estudio, se tomaran cuatro muestras de agua residual para los ensayos químicos de DQO, tres muestras a la entrada del reactor y tres muestras a la salida. Con lo anterior se establecerá la producción de biogás y la producción de energía eléctrica. Finalmente se calcularan los estimados flujos de caja para determinar la TIR y VAN de la inversión.

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

En el presente capítulo se discute y analiza los resultados del trabajo de investigación realizados; para poder así determinar si es aprovechable el biogás generado por el reactor, para transformarlo en energía eléctrica y satisfacer las necesidades de electricidad de la planta. Así mismo las preguntas de investigación se irán contestando, según los resultados y análisis correspondientes. Al final se dará respuesta a la hipótesis de investigación, aceptando o rechazando la hipótesis nula.

### **4.1 PROCESO ACTUAL**

Todo el sistema de alcantarillado que lleva las aguas residuales de las casas a la planta de tratamiento, se ha diseñado con la pendiente mínima. Esto corresponde a la topografía plana del lugar, por lo tanto el punto de entrada a la planta está más bajo que el nivel de entrada al reactor anaerobio; debido a estas condiciones es necesario el bombeo de agua residual para alimentar al reactor y para sacar los lodos producidos del reactor mismo hacia los lechos de secados de lodos.

Cabe mencionar que actualmente el sistema de recolección del biogás, se encuentra dentro del reactor anaerobio y conduce el biogás por medio de tuberías hacia una cámara hermética, la tubería es perforada y se encuentra el fondo de la cámara. Esta tubería se encarga de distribuir uniformemente el biogás y que pueda ascender atravesando la capa de agua. Esta acción se realiza con el fin de limpiar el ácido sulfhídrico antes de ser liberado a la atmosfera.

El consumo eléctrico de la estación de bombeo y otras necesidades como iluminación, se pretende suplir con la energía eléctrica de la ENEE. Es de conocimiento popular los fallos que presenta la red en dicha región del país, sumado a lo anterior se debe reconocer que la planta de tratamiento es manejada por la corporación municipal, la cual pasará el costo de dicho consumo a los usuarios finales por medio de las tarifas.

Por lo tanto, este estudio pretende mejorar ese proceso de tratamiento de aguas residuales, al aprovechar el biogás mediante un generador y suplir las necesidades eléctricas de la planta.

## 4.2 DEFINICIÓN

Para mejorar el funcionamiento de la planta y aprovechar el biogás, se tomaran parámetros de funcionamiento de la planta y características del lugar. Con los parámetros medidos como ser la temperatura ambiente y el caudal de agua residual, se alimentará un software estadístico para la creación de series temporales y poder predecir el comportamiento durante un año de dichas variables o parámetros.

La materia orgánica de las aguas residuales, la eficiencia del sistema y el caudal de agua residual, nos ayudó a implementar la fórmula propuesta de SNV & PNUD, (descrita en el Capítulo II) y poder estimar la producción diaria de biogás (60% de metano) de la planta de tratamiento.

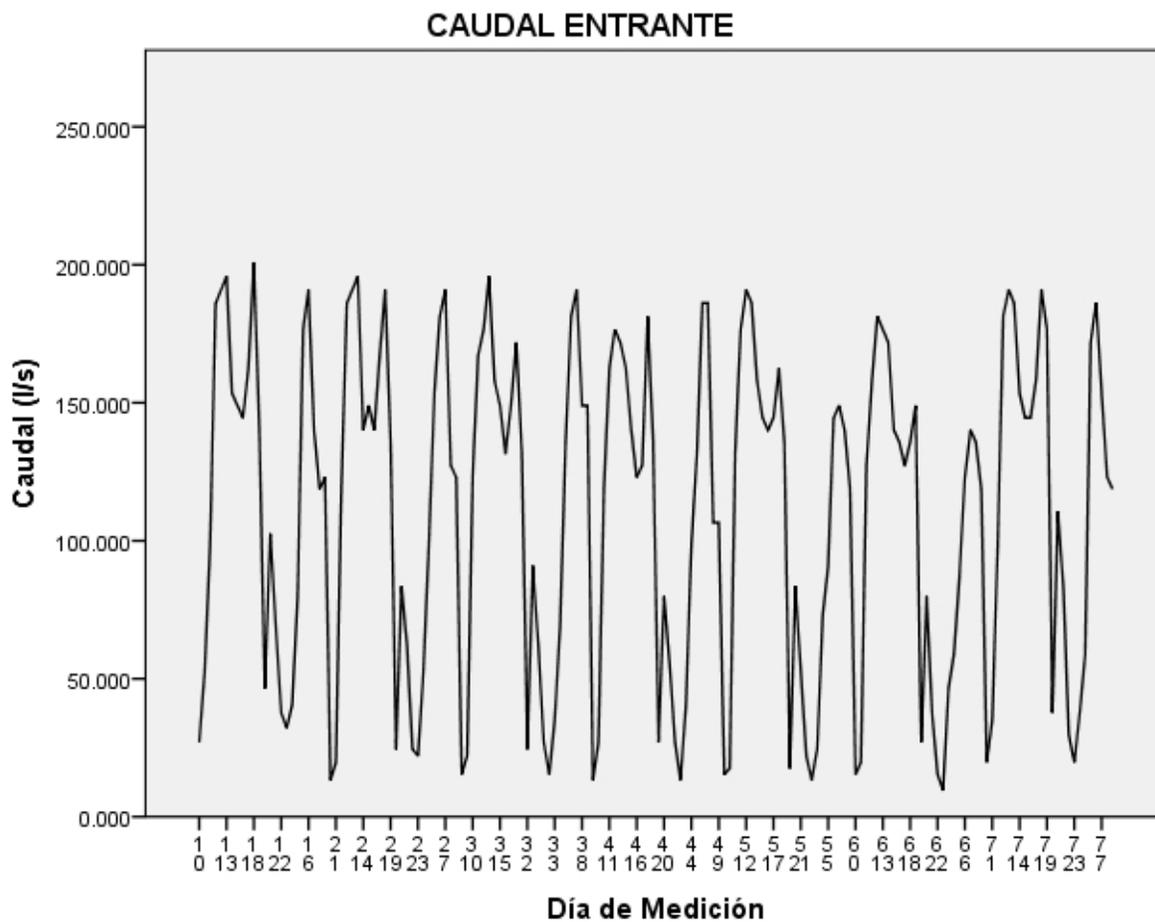
Para la producción de biogás y finalmente electricidad durante 20 años (periodo de vida útil del equipo de generación), se simuló con el programa Homer Energy ® (versión de prueba). Con la ayuda de dicho programa se estimó los parámetros económicos de TIR y VAN, los cuales son parte de los objetivos de investigación y nos ayudó a probar la validez de la hipótesis nula.

## 4.3 MEDICIÓN

Como se mencionó en el apartado anterior se midió los parámetros y obtuvieron los siguientes resultados:

### 4.3.1 CAUDAL

Para la medición del caudal se utilizó el vertedero tipo Parshall, ubicado en la estructura del desarenador en la entrada de la planta de tratamiento. Se tomaron mediciones horarias durante una semana obteniendo los resultados que se resumen en la siguiente figura:



**Figura 11. Gráfico del caudal entrante a la PTAR Juticalpa**

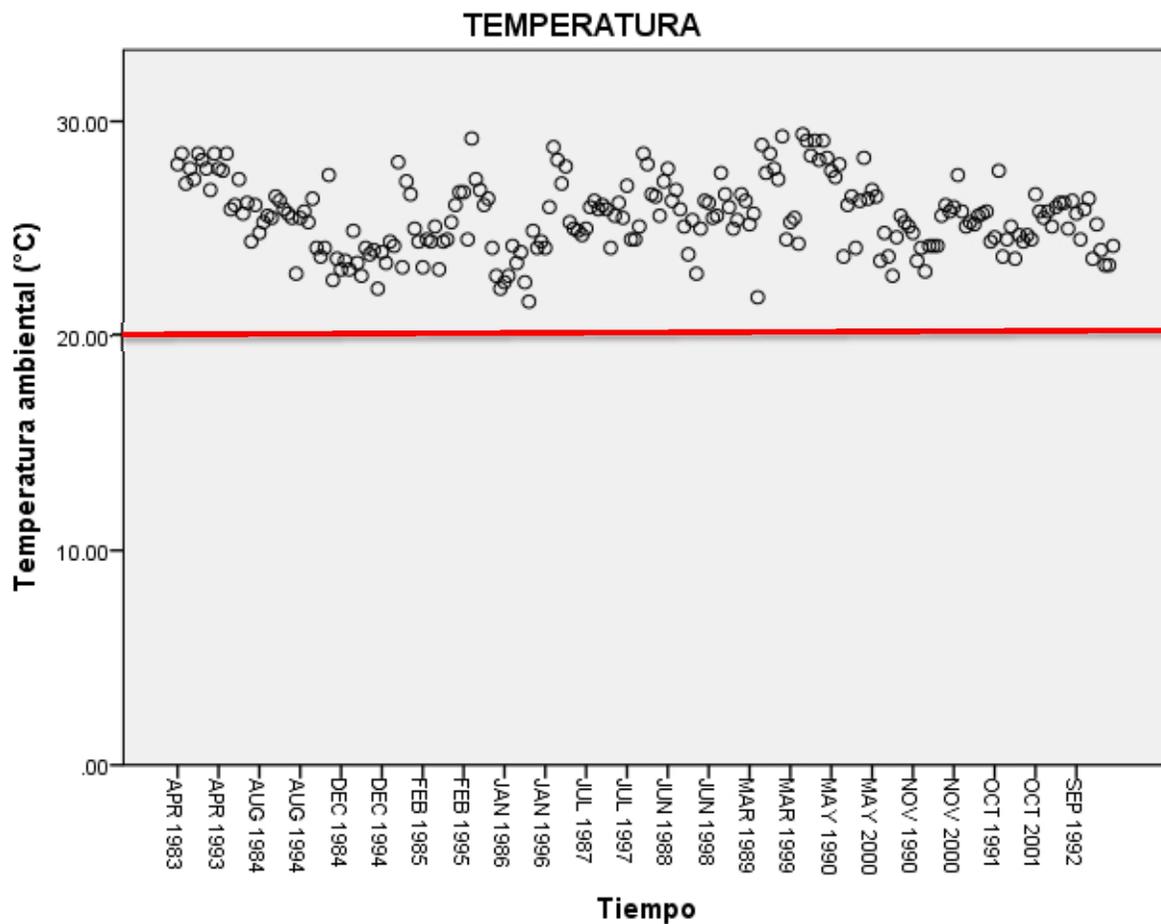
Fuente: Elaboración propia.

La medición se realizó iniciando el día martes y finalizando el lunes, tomando datos 24 horas de los 7 días. De la Figura 11 podemos destacar que el comportamiento del caudal no varía mucho día a día, pero si tiene una variación considerable el transcurso del día. En la hora que hay más consumo diariamente son los picos que se presentan a las 12 y 18 horas (formato militar) y su promedio es de 112 l/s (9,634 m<sup>3</sup>/día).

Para ver los datos de caudal durante el tiempo de medición ver Anexo 2.

### 4.3.2 TEMPERATURA AMBIENTE

Para verificar que la temperatura ambiente se establece dentro del rango en el cual trabaja la fórmula propuesta de SNV & PNUD, y poder estimar la producción de biogás diariamente, se analizó los datos de la estación pluviométrica “La Conce”, la cual tiene un histórico de temperaturas promedio mensuales de 20 años (1982-2002) los cuales son los últimos registros fiables tomados en la estación. Se obtuvieron los siguientes resultados:



**Figura 12. Variación histórica de la temperatura ambiental**

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que con la ayuda de este gráfico y de la Tabla 14 del presente estudio, podemos decir que las bacterias que degradan la materia orgánica dentro del reactor trabajan en una etapa Mesofílica que según lo visto en el Capítulo II, por lo tanto hay mayor producción de biogás y mayor estabilidad de las bacterias anaerobias.

La temperatura media calculada es de 26°C, además la serie de datos se comporta con una distribución normal, ver Anexo 3.

Históricamente la temperatura ambiental mensual se establece dentro del rango de 23-29 °C lo cual está dentro de los rangos de trabajo de la fórmula del estudio del SNV (20-40°C). Esto nos sirve para aplicar la dicha fórmula y calcular el potencial de generación de biogás (60% metano). Los datos históricos de temperatura se encuentran en el Anexo 3.

#### 4.3.3 EFICIENCIA DEL SISTEMA Y CANTIDAD DE DQO

Para estimar la eficiencia del sistema se tomaron muestras de agua residuales y se llevaron al laboratorio más cercano, para realizar pruebas de la cantidad de materia orgánica que transporta dichas aguas. Las muestras corresponden a la entrada y salida del reactor anaerobio, con el fin de estimar la eficiencia en remoción de DQO. Los datos obtenidos fueron los siguientes:

**Tabla 17. Cantidad de DQO de las muestras analizadas**

Fecha de muestreo	DQO mgO <sub>2</sub> /l		Eficiencia
	Entrada	Salida	
Martes	730	320	56
Miércoles	550	273	50
Jueves	650	270	58
Eficiencia Promedio			55
DQO promedio			643

Fuente: Elaboración propia

La eficiencia estimada del reactor en la planta de tratamiento es del 55%, la cual está dentro del rango de 35-70%, la cual es aceptable. Otro parámetro importante que nos deja este análisis, es el promedio de DQO de 643 mgO<sub>2</sub>/l el cual es normal para las aguas residuales de origen urbano (López, 2009).

#### 4.3.4 ESTIMADO DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE LA PLANTA

No se cuenta con medidor de energía en la planta, lo cual dificulta dicha medición, por lo tanto se levantó el censo de los aparatos eléctricos y se estableció un consumo tomando en cuenta las horas de uso y el tipo de aparato eléctrico.

El mayor consumo lo representan el sistema de bombeo, dichas bombas son sumergibles y especiales para agua residual, se utilizan para elevar el líquido desde el cárcamo de bombeo hasta la entrada del reactor anaerobio. El otro tipo de bombas que utiliza la planta son para sacar el lodo producido dentro del reactor y conducirlo mediante tuberías hasta el lecho de secados de lodos (estructura dentro de la planta de tratamiento). Las luminarias para exteriores utilizan mercurio y se encienden durante la noche, para incrementar la seguridad en la planta de tratamiento, ya que la misma se ubica en un lugar retirado del núcleo de la ciudad. Todo el consumo antes descrito se resume en la siguiente tabla:

**Tabla 18. Estimado del consumo eléctrico de PTAR Juticalpa**

Cantidad	Equipo	Pot. (HP)	Voltaje (v)	Corriente (A)	Consumo (kW)	Horas/día	kWh/día
2	Bombas sumergibles (trifásica)	5	230	26.5	10.557	3	63.34
2	Bombas para extracción de lodos (monofásica)	1.5	220	9.7	1.487	2	5.95
8	Luminarias para exteriores (mercurio)	****	****	****	0.175	12	16.80
2	Luminarias (bodega y sala de máquinas)	****	****	****	0.011	12	0.26
1	Caseta de vigilancia	****	****	****	0.100	2	0.20
Consumo kWh/día							86.55

Fuente: Elaboración propia

El pico máximo actual a suministrar de serian 22 kW aproximadamente, pero se debe suministrar ese pico durante todo el periodo de vida útil del equipo de bombeo, por lo general es de 20 años.

Para ello utilizamos el modelo aritmético para tener un consumo máximo que se debe suplir y que esta de acorde a la tasa de crecimiento de la población de Juticalpa que es del 3% (INE, 2013). El resultado seria 36 kW pico.

#### 4.4 ANÁLISIS

##### 4.4.1 PRODUCCIÓN DE BIOGÁS

Utilizando la fórmula de la estimación de biogás, discutida en el capítulo II del presente estudio podemos realizar los siguientes cálculos:

##### 4.4.1.1 CARGA ORGANICA DE LAS AGUAS RESIDUALES

Tomando en cuenta los datos de caudal obtenidos se tiene los siguientes promedios diarios:

**Tabla 19. Carga orgánica promedio en las aguas residuales**

Día	Caudal (m <sup>3</sup> /día)
Martes	10,295.07
Miércoles	10,052.04
Jueves	9,796.18
Viernes	9,357.30
Sábado	9,119.88
Domingo	8,704.40
Lunes	10,119.52
DQO (kg/m <sup>3</sup> )	0.643
GTD (m <sup>3</sup> /día)	9,634.91
Carga Orgánica (kg/día)	6,198.46

Fuente: Elaboración propia

Se estima una carga orgánica promedio de 6,198.46 kg/día de materia orgánica lista para ser degradada por las bacterias dentro del reactor anaerobio.

#### 4.4.1.2 POTENCIAL DE BIOGÁS

Siguiendo el resultado anterior podemos estimar la cantidad de biogás que transportan las aguas residuales de la siguiente manera:

**Tabla 20. Potencial de biogás (60% de metano) en las aguas residuales**

REB (Nm <sup>3</sup> /día)	0.53
Eficiencia Promedio	0.55
Carga Orgánica (kg/día)	6,198.46
Potencial de Biogás al 60% de CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /día)	1,806.74

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta la cantidad de materia orgánica presente en las aguas residuales y la eficiencia estimada del reactor anaerobio, podemos decir que el mismo produce 1,806.74 m<sup>3</sup>/día de biogás en condiciones normales (60% de metano). Esta producción es la que se puede aprovechar para generar energía térmica o electricidad, en el peor de los casos esta es la cantidad aproximada de metano que se libera al ambiente por la planta de tratamiento.

#### 4.4.2 PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD

Con el potencial de biogás estimado en el apartado anterior, se puede relacionar con una producción de energía térmica o eléctrica, de la siguiente manera.

##### 4.4.2.1 POTENCIAL DE ENERGÍA TÉRMICA

Tomando en cuenta el poder calorífico inferior PCI y la cantidad de biogás producido anteriormente, se estima la potencia térmica de la siguiente forma:

**Tabla 21. Potencial de energía térmica.**

Poder Calorífico Inferior (MJ/Nm <sup>3</sup> )	22
Potencial de Biogás al 60% de CH <sub>4</sub> (Nm <sup>3</sup> /día)	1,806.74
Energía térmica (MJ/día)	39,748.21
Potencia Térmica (MWt)	0.460

Fuente: Elaboración propia

La potencia térmica que se puede aprovechar teóricamente de las aguas residuales se estima en 0.46 MWt.

#### 4.4.2.2 POTENCIAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Mediante la conversión de energía térmica a eléctrica por un generador creado para tal fin, se puede obtener la siguiente cantidad de energía eléctrica:

**Tabla 22. Potencial de energía eléctrica.**

Potencia Térmica (MWt)	0.460
Eficiencia de la conversión	0.35
Potencia eléctrica kW	161.02

Fuente: Elaboración propia

Finalmente la potencia eléctrica que se puede obtener de las aguas residuales es de 161 kW y si lo comparamos con los 29 kW que es consumo de la planta, vemos que se puede producir 5 veces más del consumo de planta.

#### 4.5 MEJORAS AL SISTEMA

Basándonos en los resultados anteriores, podemos afirmar que técnicamente se puede suplir las necesidades eléctricas de la planta de tratamiento, con la ayuda de un generador de electricidad

a base de biogás. Siempre y cuando las condiciones de materia orgánica, caudal y temperatura no seas menores a las expuestas en los apartados anteriores.

Por lo tanto podemos mejorar el proceso de tratamiento de aguas residuales, mediante la incorporación de un generador a base de biogás para suplir las necesidades eléctricas de la planta y no depender de la red nacional de energía eléctrica.

Como se mencionó anteriormente se pretende instalar un generador de 40 ó 50kW y desconectarse del sistema, con el fin de crear una microred aislada y exclusiva para la planta de tratamiento.

#### 4.7 ANÁLISIS DE COSTO-BENEFICIO

En este apartado se analizaran los costos contra los beneficios, de tomar la mejora en el proceso de tratamiento de aguas residuales. Para ello se simuló el sistema de generación con su carga eléctrica durante 20 años, con una tasa de interés de mercado del 8.32% en dólares y una inflación interanual de 3.83% (BCH, 2015). Además se analizaron dos opciones, un generador de 40kW y otro de 50kW.

##### 4.7.1 ANÁLISIS DE COSTOS

###### 4.7.1.1 COSTOS DE INVERSIÓN

Los costos de inversión se estimaron en \$ 31,030.00 y \$ 36,430.00 para los generadores de 40 y 50 kW respectivamente, dichos costos se resumen de la siguiente manera:

**Tabla 23. Costos de inversión de las opciones del equipo generador**

Componente	Generador 40kW Costo (\$)	Generador 50kW Costo (\$)
Desulfurificador	2,000	2,000
Antorcha	1,000	1,000
Domo de biogás (almacenamiento)	3,000	3,000

Componente	Generador 40kW Costo (\$)	Generador 50kW Costo (\$)
Deshidratador	1,230	1,230
Manómetro	100	100
Medidor de caudal ultrasónico	1,500	1,500
Tubería de conducción de biogás (30m)	600	600
Generador	21,600	27,000
Total Inversión (\$)	31,030	36,430

Fuente: (AquaLimpia Engineering, 2014)

Los componentes están diseñados para el caudal de biogás que puede generar el reactor (75 m<sup>3</sup>/h), por lo tanto sus costos son iguales, a excepción del generador, ya que según su capacidad puede variar su costo.

#### 4.7.1.2 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Con la ayuda de los datos del fabricante se estimaron los costos de mantenimiento, los cuales incluyen la mano de obra, se resume la información en la siguiente tabla:

**Tabla 24. Costos de Operación y Mantenimiento del equipo generador de 40 y 50 kW**

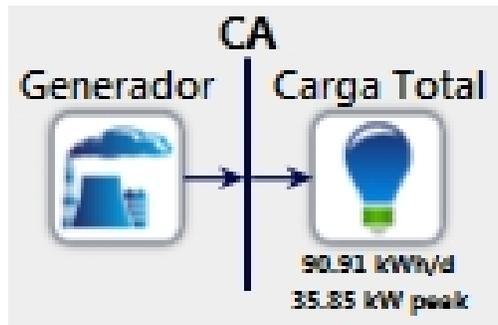
Ítem	Frecuencia	Costo total	Costo (\$/hr)
Aceite lubricante	Cada 200 hr	36.36	0.18
Limpieza de filtros	Cada 400 hr	22.73	0.06
Reparación menor Alternador	Cada 1000 hr	81.82	0.08
Reparación menor Generador	Cada 1000 hr	22.73	0.02
Total de Operación y Mantenimiento			0.34

Fuente: (AquaLimpia Engineering, 2014) y cálculos propios

Tomando en cuenta la mayoría de procesos de mantenimiento y el costo de operación se llega a 0.34 \$/hr de funcionamiento del generador.

#### 4.7.1.3 SIMULACIÓN DE LOS COSTOS DE INVERSIÓN

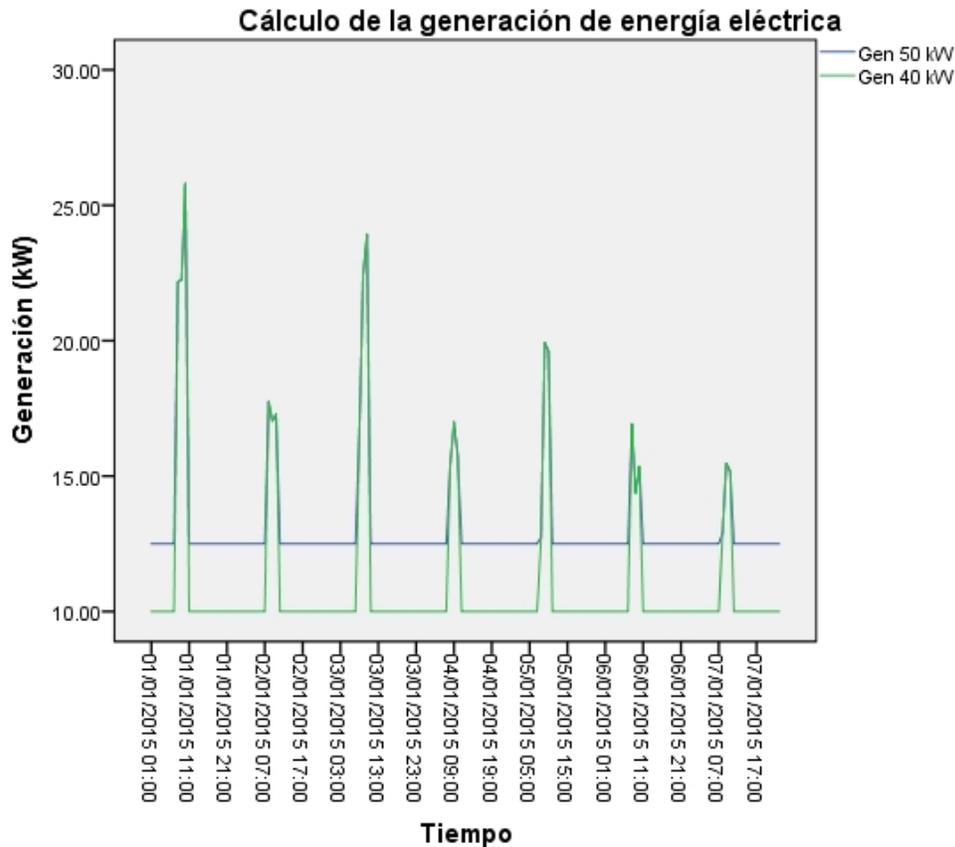
La simulación se realizó en el programa Homer Energy ® (versión de prueba) teniendo el siguiente esquema:



**Figura 13. Esquema del Sistema de generación 40 y 50kW**

Fuente: Homer Energy ®.

En la figura 13 se el esquema propuesto para el aprovechamiento del biogás y su posterior transformación en energía eléctrica. También se puede ver que todo el sistema trabaja con corriente alterna.



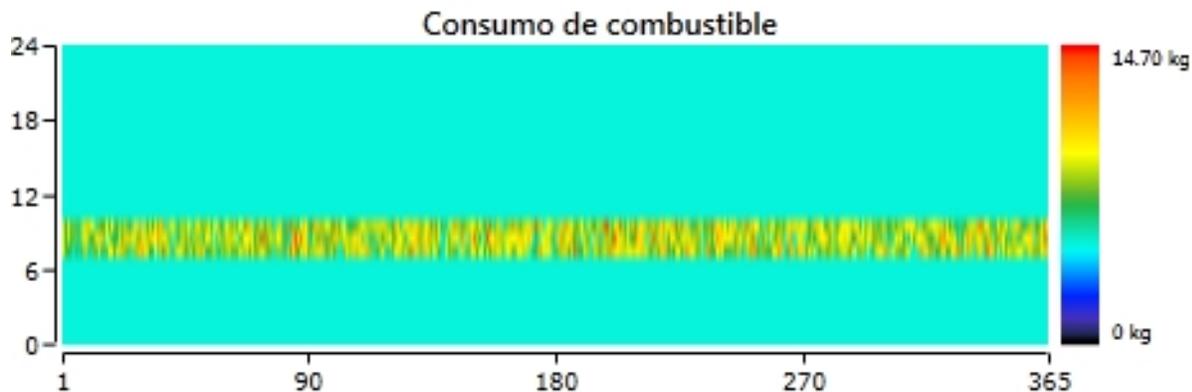
**Figura 14. Serie de tiempo para la Potencia de salida del generador (kW)**

Fuente: Homer Energy ®.

La figura 14 muestra la serie de tiempo para el consumo eléctrico, el cual está realizado para una semana tipo, en el eje “x” se muestra los días de la semana, mientras en el eje “y” la generación. Se puede observar que el generador de 50 kW es el que entrega mayor potencia durante más tiempo.

Cabe mencionar que la figura anterior muestra el comportamiento pronosticado de los generadores, en la cual podemos denotar que su pico máximo es cuando son exigidos por las bombas sumergibles, las cuales se utilizan de las 7 hasta las 11 de la mañana.

Al igual que el consumo eléctrico, se calculó la serie de tiempo para el consumo del biogás teniendo el siguiente comportamiento.



**Figura 15. Serie de tiempo para el Consumo de combustible diario (kg de biogás)**

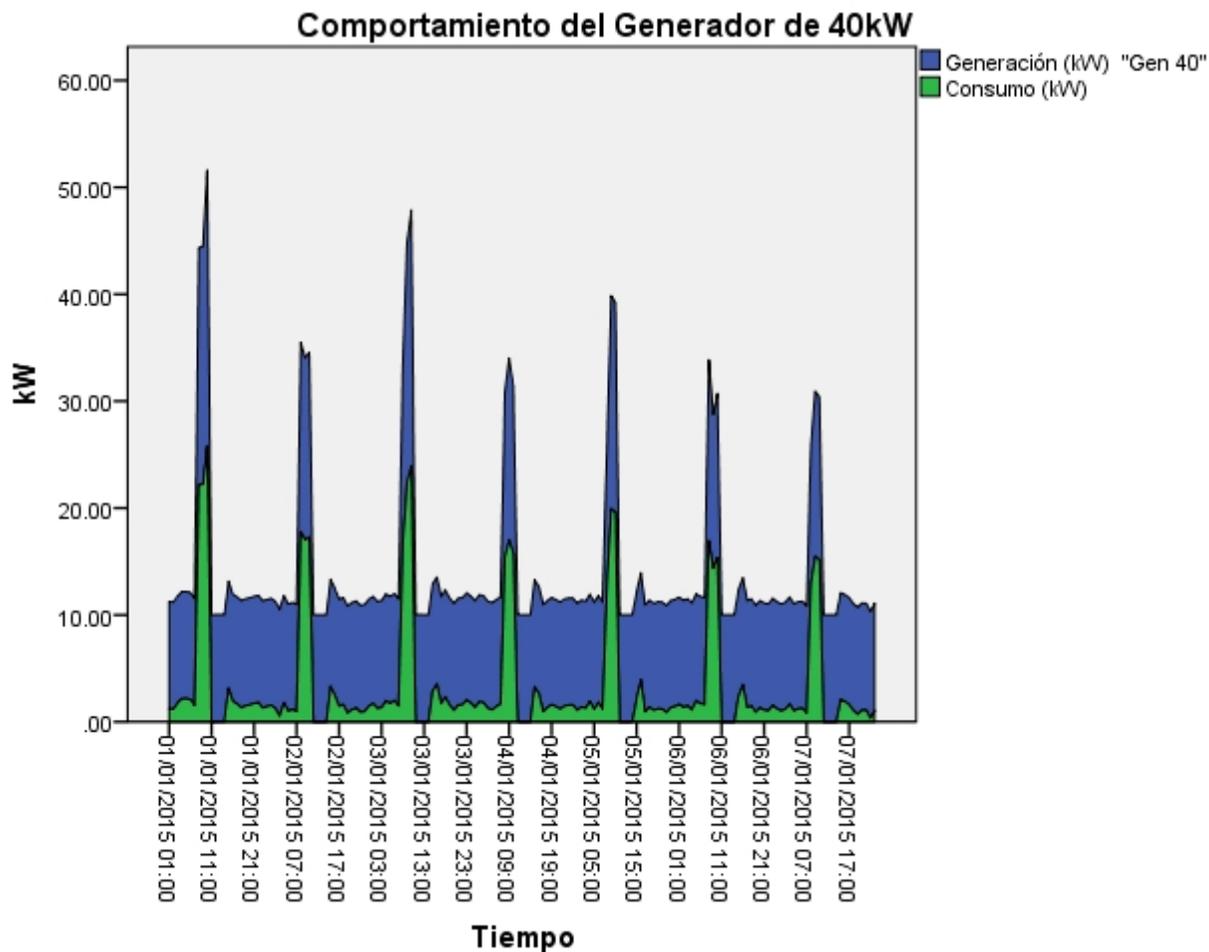
Fuente: Homer Energy ®.

Según el fabricante ambos generadores tienen un consumo de biogás de  $0.41 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{kW}^{-1}$ . Por lo que consumen es igual durante el tiempo de uso. Como se observa en la figura anterior, la franja con colores verdes y amarillos representa las horas de mayor demanda de generación por lo tanto las de mayor consumo de combustible.

De las gráficas anteriores se puede notar que el consumo de biogás es mucho menor a la producción del mismo dentro de la planta, por lo tanto podemos pronosticar la relación entre la generación de electricidad, el consumo eléctrico y su respectivo exceso.

En las siguientes graficas se analizará por cada generador dichos pronósticos observando lo siguiente:

Iniciando por el generador de capacidad de 40 kW, tenemos un consumo eléctrico (identificado en color verde) el cual en la mayoría del tiempo es mucho menor a la generación (color azul), a excepción de las horas pico en el cual está muy cercano. El factor de planta para opción de utilizar el generador de 40 kW sería de 0.28

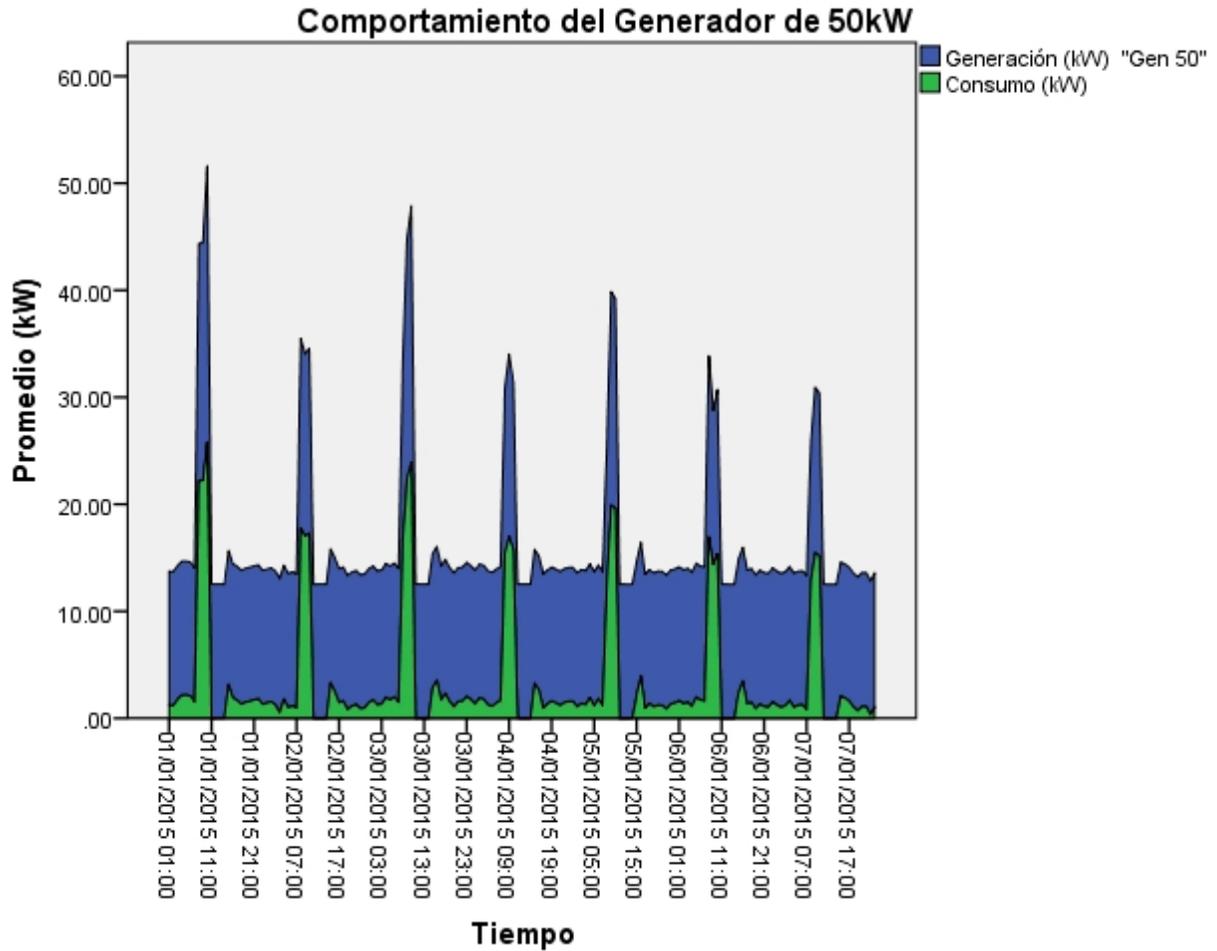


**Figura 16. Comportamiento del generador de 40 kW**

Fuente: Homer Energy®.

La diferencia entre las regiones de generación y consumo, que se puede apreciar en la figura 16 es el exceso de energía, tal exceso es el 66.8% de la generación total.

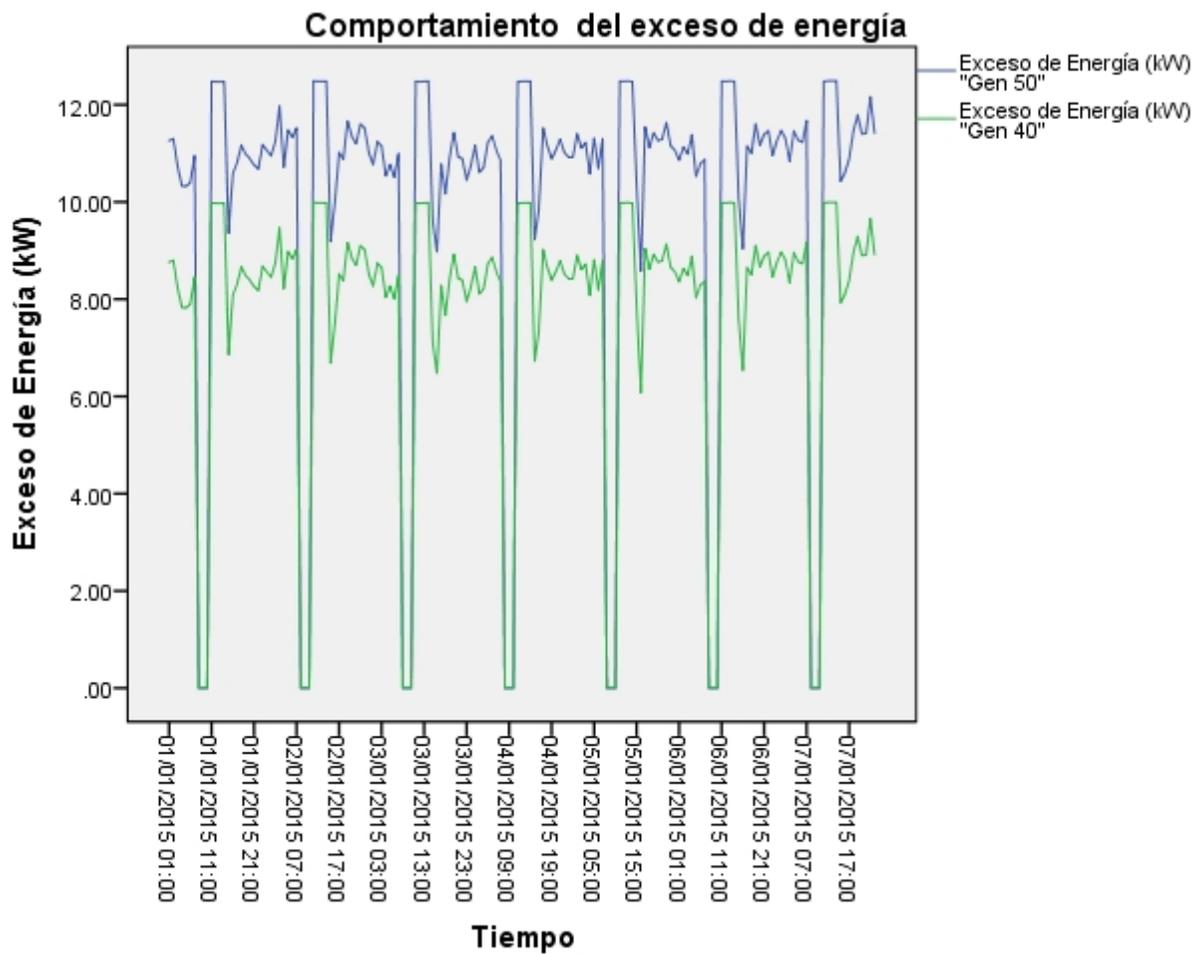
De igual forma para la opción del generador de capacidad de 50 kW, tenemos un factor de planta de 0.27 y un exceso de energía del 72.1% de la generación.



**Figura 17. Comportamiento del generador de 50 kW**

Fuente: Homer Energy ®.

El exceso de energía del generador de 50 kW es mayor que la otra opción, y como es de esperarse tiene un factor de planta más bajo. Y para visualizar mejor se preparó la siguiente figura en donde se visualiza el exceso energía por generador



**Figura 18. Exceso de energía por generador**

Fuente: Homer Energy ®.

Finalmente, teniendo en cuenta todos los resultados y comparaciones anteriores, podemos resumir los costos de las opciones antes mencionadas en la siguiente tabla:

**Tabla 25. Resultado de simulación de los costos**

Parámetro evaluado	Generador 40 kW	Generador 50 kW
Costo de la energía CDE (\$/kW)	0.161	0.174
Costo Anual Neto CAN (\$/año)	70,369	76,116
Costo de operación (\$/año)	2,978	3,005
Inversión inicial (\$)	31,030	36,430
Producción eléctrica (kWh/año)	99836.35	119,051.8
Consumo eléctrico (kWh/año)	33180.34	33180.34
Exceso de energía (kWh/año)	66,656.00	85,871.61
Emisiones de CO <sub>2</sub> liberadas (kg/año)	7.3	8.4
Emisiones de CO <sub>2</sub> que se evitaron (kg/año)	6,735.60	6,735.60

Fuente: (Homer Energy ®, 2016).

Lo primero que vamos a resaltar en el costo de la energía de 0.161 y 0.174 \$/ kW, que está dentro rango de 0.139-0.20 \$/kW de la tarifa Municipal que pagan este tipo de plantas de tratamiento (ENEE, s/f). Según la simulación realizada, este precio se puede mantener durante la vida útil de los generadores que es de 20 años.

La diferencia entre la producción y el consumo de energía de la planta de tratamiento, es el excedente de 66,656 y 85,871.61 kWh/año que se podría utilizar para suplir necesidades térmicas o eléctricas de las personas cercanas a la planta. Se resalta las bajas emisiones de CO<sub>2</sub> que tiene la combustión del biogás, solamente 7.3 y 8.4 kg/año.

La cantidad de CO<sub>2</sub> que se evitaron fue de 6,735.6 kg/año, lo cual viene a contribuir a la lucha por el cambio climático.

#### 4.7.2 ANALISIS DE BENEFICIOS

Los beneficios de la implementación del generador a base de biogás son las siguientes:

- Evitar que sea liberados 6,735.6 kg de CO<sub>2</sub>/año, ya que se evita consumir energía eléctrica proveniente posiblemente de fuentes fósiles. Solamente de liberan durante la combustión del biogás 8.4 kg de CO<sub>2</sub>/año que es insignificante si lo comparamos con la cantidad que se evitó liberar.

- La calidad de la vida de las personas en el área de influencia de la planta de tratamiento, tendría una mejora ya que se tendría una menor contaminación del aire por la liberación utilización del biogás en vez de liberarlo a la atmosfera.
- El aumento de la utilización de energía limpia para suplir las necesidades locales y con materia prima 100% orgánico y sin dependencia del mercado internacional.
- El mayor beneficio es que se puede mantener el costo de la energía al precio de 0.174 \$/ kW por el tiempo de vida útil del sistema generador que es de 20 años.
- Con la implementación del sistema generador se aislarían de la red y no serán perjudicados por cotidianos cortes de energía eléctrica de la zona.

#### 4.8 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Para comprobar la hipótesis que se planteó al inicio de la investigación, es necesario obtener los parámetros de VAN y TIR, de las inversiones y los ahorros que significa tener el costo de la energía producida por el generador (cualquiera de las opciones) fijo durante 20 años.

**Tabla 26. Flujo de caja de la inversión y el ahorro de la implementación del generador**

Año	Generador de 40kW			Generador de 50kW		
	Ahorros (\$)	Costos (\$)	Flujo Neto (\$)	Ahorros (\$)	Costos (\$)	Flujo Neto (\$)
0	***	31,030.00	-31,030.00	***	36,430.00	-36,430.00
1	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
2	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
3	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
4	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
5	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
6	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
7	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
8	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
9	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
10	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
11	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
12	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
13	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
14	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38
15	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38

Año	Generador de 40kW			Generador de 50kW			
	Ahorros (\$)	Costos (\$)	Flujo Neto (\$)	Ahorros (\$)	Costos (\$)	Flujo Neto (\$)	
16	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38	
17	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38	
18	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38	
19	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38	
20	5,773.38	2,978.00	2,795.38	5,773.38	3,005.00	2,768.38	
Inversión inicial (\$)			31,030	Inversión inicial (\$)			36,430
Tasa de interés (%)			8.32	Tasa de interés (%)			8.32
VAN (\$)			21,011.06	VAN (\$)			19,744.04
TIR (%)			6.41%	TIR (%)			4.36

Fuente: Elaboración propia

Teniendo cuenta el valor de VAN es de \$ 21,011.06 y \$ 19,744, los cuales positivos. Pero la TIR es de 6.41% y 4.36%, en ambos casos son menores a la tasa de interés de mercado vigente 8.32%; esto nos indica que los ahorros son pocos para recuperar la inversión hecha en el tiempo estipulado.

Por lo tanto y basados en los cálculos anteriores se acepta la hipótesis nula “H0” y se afirma que: la utilización del biogás generado en la planta de tratamiento de Juticalpa, Olancho para generar electricidad para autoconsumo no es rentable.

Aunque técnicamente si se tiene la cantidad y calidad de biogás para su explotación, sus ingresos no son los suficientes. Ya que solo estamos considerando el económico y este tipo de proyecto necesita forzosamente otra entrada de dinero para justificar la inversión.

#### 4.9 CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS Y SU HALLAZGO

Para resumir el cumplimiento de los objetivos establecidos y sus hallazgos se preparó la siguiente tabla:

**Tabla 27. Resumen de cumplimiento de Objetivos establecidos**

Objetivo		Resultado
General	Específico	
<p>Evaluar técnica y financieramente un sistema que permita la utilización del biogás para generación de energía eléctrica como autoconsumo en la planta de tratamiento de aguas residuales de Juticalpa, Olancho.</p>	<p>1) Estimar la calidad y cantidad del recurso (aguas residuales de origen urbano) para la generación de biogás y posteriormente energía eléctrica para autoconsumo.</p>	<p>La cantidad de agua residual entrante a la planta de tratamiento es de 9,634.91 m<sup>3</sup>/día con una calidad de materia orgánica (DQO) de 0.643 kg/m<sup>3</sup>. La eficiencia del reactor es del 55% en remoción de DQO</p>
	<p>2) Determinar si las condiciones ambientales son las óptimas para la producción de biogás.</p>	<p>La temperatura promedio del lugar de emplazamiento es de 26°C e históricamente está dentro del rango de 20-40°C, por lo tanto se puede utilizar la fórmula para estimar la producción de biogás</p>
	<p>3) Calcular los parámetros económicos VAN y TIR que nos permita estimar la rentabilidad económica de la inversión para la generación de energía eléctrica para autoconsumo</p>	<p>Tomando en cuenta la producción de biogás, se propuso dos opciones de generadores (40 y 50 kW), obteniendo los resultados de VAN \$21,011.06 y \$19,744. Para la TIR es de 6.41% y 4.36%. En ambos casos la TIR es menor que la tasa de interés de mercado.</p>

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla anterior se cumplieron con los objetivos establecidos.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

1. Según el análisis mostrado en la página n° 69 del presente estudio, la cantidad de agua residual entrante a la planta de tratamiento es de 9,634.91 m<sup>3</sup>/día (112 l/s); de acuerdo a los cálculos realizados en la página n°71, la cantidad de materia orgánica (DQO) presente en las aguas residuales es en promedio 0.643 kg/m<sup>3</sup>. Por lo tanto la eficiencia del reactor es del 55% en remoción de DQO. Todo lo anterior nos deja claro que la cantidad y calidad de las aguas residuales es óptima para la producción de biogás.
2. Basados en el análisis de la temperatura promedio del lugar de emplazamiento, mostrado en la página n°70, la temperatura promedio es de 26°C e históricamente está dentro del rango de 20-40°C, por lo tanto se puede utilizar la fórmula para estimar la producción de biogás.
3. Tomando en cuenta la producción diaria de biogás que se encuentra en la página n°74, se propuso dos opciones de generadores ( 40 y 50 kW), obteniendo los resultados expresados en las páginas n° 85 y 86 , dichos resultados fueron: VAN \$21,011.06 y \$19,744. Para la TIR es de 6.41% y 4.36% para el generador de 40 kW y 50 kW respectivamente. En ambos casos la TIR es menor que la tasa de interés de mercado, por lo tanto no son rentables y no se justifica su inversión para autoconsumo.
4. El uso del biogás como fuente de energía térmica y posterior energía eléctrica, es una herramienta clave y directa para la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, para el caso de estudio se puede evitar 33,180 kWh/año posiblemente de materia prima fósil (equivalente a 6,735.60 kg/año de CO<sub>2</sub>).
5. El uso de sistema de generación eléctrica a base de biogás se puede replicar o proyectar en la mayoría de proyectos de tratamiento de agua residual, lo que conlleva a elevar el uso de energía limpia y distribuida a lo largo y ancho del país de Honduras. Además estos sistemas de generación pueden establecerse en las regiones rurales o en lugares donde no hay redes de electricidad.

6. Aunque no se aproveche el biogás generado en las plantas de tratamiento, este no puede ser liberado a la atmosfera sin control. Este se debe eliminar de forma segura con la implementación de antorchas dentro de las plantas de tratamiento. En el caso de estudio tiene un dispositivo de cámara de agua, el cual solamente es para limpieza del biogás, el cual después de esta cámara se libera a la atmosfera sin ningún control.
7. Para poder hacer rentable este tipo de proyectos, se debe tener otra entrada de dinero y no solamente el ahorro por tener una tarifa fija. Para ellos se podría utilizar el excedente de biogás y vender la energía ya sea a un consumidor calificado, empresa distribuidora/comercializadora o a la misma ENEE.
8. Este estudio deja en evidencia que dentro del país no existe la regulación necesaria para emprender este tipo de proyectos.
9. El uso de programas de simulación nos lleva a poder estimar escenarios que de otra forma seria una labor muy tediosa.
10. El presente trabajo es de gran provecho ya que podemos afirmar que para el caso de estudio no es rentable la inversión y debemos de seguir conectado a la red nacional.

## 5.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda hacer conciencia a los proyectistas de plantas de tratamiento, para que pueden incorporar en sus proyectos la utilización del biogás generado o su posible eliminación de forma segura. Y que el estado dicte y haga cumplir las leyes que faciliten la compra/venta de la potencial energía eléctrica.
2. Se recomienda la utilización de un generador de mayor capacidad sin pasarse del potencial diario de 100 kW, al mismo tiempo se recomienda buscar la comercialización del biogás producido para su posterior uso o como se mencionó anteriormente buscar un contrato y vender el excedente de energía eléctrica.
3. Se recomienda que UNITEC busque formar alianzas estratégicas con las personas o instituciones creadoras de programas informáticos, con el fin de buscar capacitaciones o licencias al alcance de los estudiantes.

4. Se recomienda el seguimiento a este tipo de estudios para que los proyectos de agua y saneamiento puedan alcanzar la sostenibilidad durante su periodo de uso. Y que no se abandonen por falta de presupuesto, además se recomienda iniciar un nuevo estudio tomando en cuenta el sub producto de los lodos estabilizados como biofertilizantes.

## CAPÍTULO VI. APLICABILIDAD

### 6.1 TÍTULO DE LA PROPUESTA

Aunque es tema muy extenso, pero pequeños cambios en el sistema actual pueden tener un gran impacto en la vida del ser humano a futuro, por lo tanto la propuesta tiene el título de “Alcanzando la sostenibilidad de los proyectos de Saneamiento implementando el uso del biogás en Honduras”

### 6.2 INTRODUCCIÓN

Como se evidenció en el presente estudio, el sistema de agua y saneamiento está en precarias condiciones; aunque la cobertura de dicho componente es alto, no existe evidencia sobre la calidad del servicio o el estado de las principales plantas de tratamiento de aguas residuales en Honduras. De las plantas de tratamiento que se encuentra información solo el 57% tiene un mantenimiento aceptable o simplemente se le brinda el seguimiento adecuado (Oakley, 2005).

Por lo tanto, para alcanzar la sostenibilidad en tales proyectos y aumentar la duración e implementación de los mismos en territorio hondureño, sin dejar en abandono las instalaciones, se propone dos planes de acción: uno a corto plazo, que venga a invitar y/o exigir la implementación de estrategias, de aprovechamiento de los subproductos (biogás principalmente), resultantes de los procesos de tratamiento biológicos de agua residual; esta se le exigiría a los nuevos proyectos que se deseen desarrollar desde la presente fecha y antes de la extensión de la respectiva licencia ambiental o su permiso de construcción y/operación. Esto se hace con la finalidad de prevenir que las instalaciones queden sin mantenimiento, y por otro lado asegurando una buena práctica para el control de emisiones de CO<sub>2</sub> y otros contaminantes al agua y aire. Sin dejar de lado la posible entrada de dinero por la venta de energía eléctrica u otro resultado de los subproductos.

El otro plan de acción es a largo plazo, en donde se busca inicialmente el censo preciso y veraz de las instalaciones existente, para posteriormente evaluar la condición de la misma y proponer las medidas necesarias para en primer lugar brindar un servicio óptimo y posterior el aprovechamiento

de los mismos subproductos. Aunque suena más sencillo es el que lleva mayor tiempo y esfuerzo por parte de todos los interesados.

### 6.3 DESCRIPCIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

Como se mencionó anteriormente podemos implementar la idea o propuesta de sostenibilidad en los proyectos de saneamiento de la siguiente manera:

#### 6.3.1 PLAN DE ACCIÓN A CORTO PLAZO

Inicialmente se debe proponer a las autoridades competentes como ser la Secretaría de Recursos ambiente y Minas (MI AMBIENTE), el Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS), Municipalidades, etc...para que lo implementen como requisito previo a las licencias o todo tramite importante, un plan de aprovechamiento de los subproductos antes mencionados como el biogás o el biol. Después de su aprobación como requisitos, los desarrolladores de proyectos de saneamiento deberán de proponer un plan de aprovechamiento, que brinde una sostenibilidad económica, ambiental y si es posible económica a dichos proyectos.

Ese plan será aprobado por las autoridades competentes y después serán responsables del seguimiento y control de los mismos, evaluando a intervalos apropiados las emisiones y la forma en la cual se aprovecha los recursos. En el peor de los casos que el desarrollador no quiera aprovechar los subproductos, este podría brindar una manera segura de la eliminación sin contaminación del mismo. Con este plan se puede tener un impacto rápido en menos de un año, ya que las nuevas plantas de tratamiento van a preocuparse por utilizar al máximos los subproductos.

##### 6.3.1.1 EJEMPLO DE PLAN DE APROVECHAMIENTO

El presente estudio puede servir como pauta para la implementación de un plan de aprovechamiento, como se demostró en el capítulo IV y V, es factible técnicamente la explotación de biogás para producir electricidad. Lastimosamente en la parte económica no hay ingresos suficientes para justificar la inversión. Pero si buscamos la implementación de nuestro sistema y

conectarlo a la red para inyectar la energía sobrante después de abastecer la planta de tratamiento, tendríamos los siguientes resultados:

**Tabla 28. Flujo de caja de la inversión Generador 50 kW conectado a la red.**

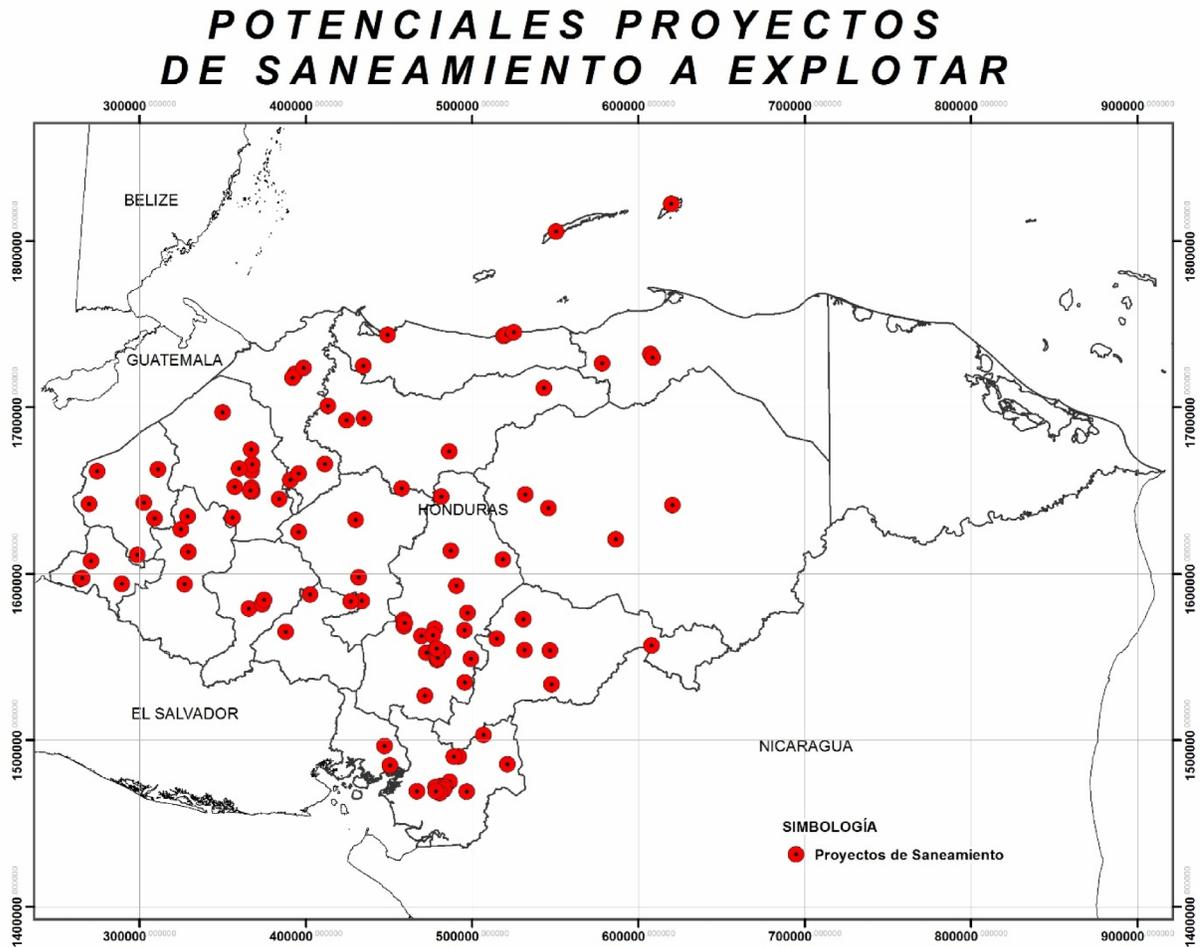
Año	Generador de 50kW conectado a la red			
	Ahorros (\$)	Venta de energía (\$)	Costos (\$)	Flujo Neto (\$)
0	***	***	36,430.00	-36,430.00
1	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
2	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
3	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
4	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
5	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
6	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
7	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
8	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
9	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
10	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
11	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
12	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
13	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
14	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
15	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
16	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
17	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
18	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
19	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
20	5,773.38	3,999.36	3,005.00	6,767.74
Inversión inicial (\$)				36430
Tasa de interés (%)				8.32
<b>VAN (\$)</b>				<b>58,092.65</b>
<b>TIR (%)</b>				<b>18</b>

Fuente: Elaboración propia

Como forma de ejemplo se tomó las inversiones para el generador de 50 kW y un precio de venta de energía de \$0.06/kWh, este precio se toma para ser atractiva la oferta y que se pueda encontrar rápidamente venta a dicho bien. Como se puede observar el VAN es de \$ 58,092.65 y la TIR es del 18%, con este podemos concluir que con el ingreso extra por la venta de la energía excedente de la planta, esta es rentable y ese ingreso se puede inyectar al proyecto mismo para brindar un mejor servicio, ampliar la cobertura a la población, pago de salarios de los empleados público en la planta de tratamiento, inversión en proyectos que vengán a beneficiar a la comunidad, etc...

### 6.3.2 PLAN DE ACCIÓN A LARGO PLAZO

Este plan de acción se podría iniciarse con el listado de plantas existentes que maneja el SANAA el cual se resume en la siguiente figura:



**Figura 19. Ubicación de proyectos con potencial de explotación**

Fuente: (Quezada et al, 2010, p. 40)

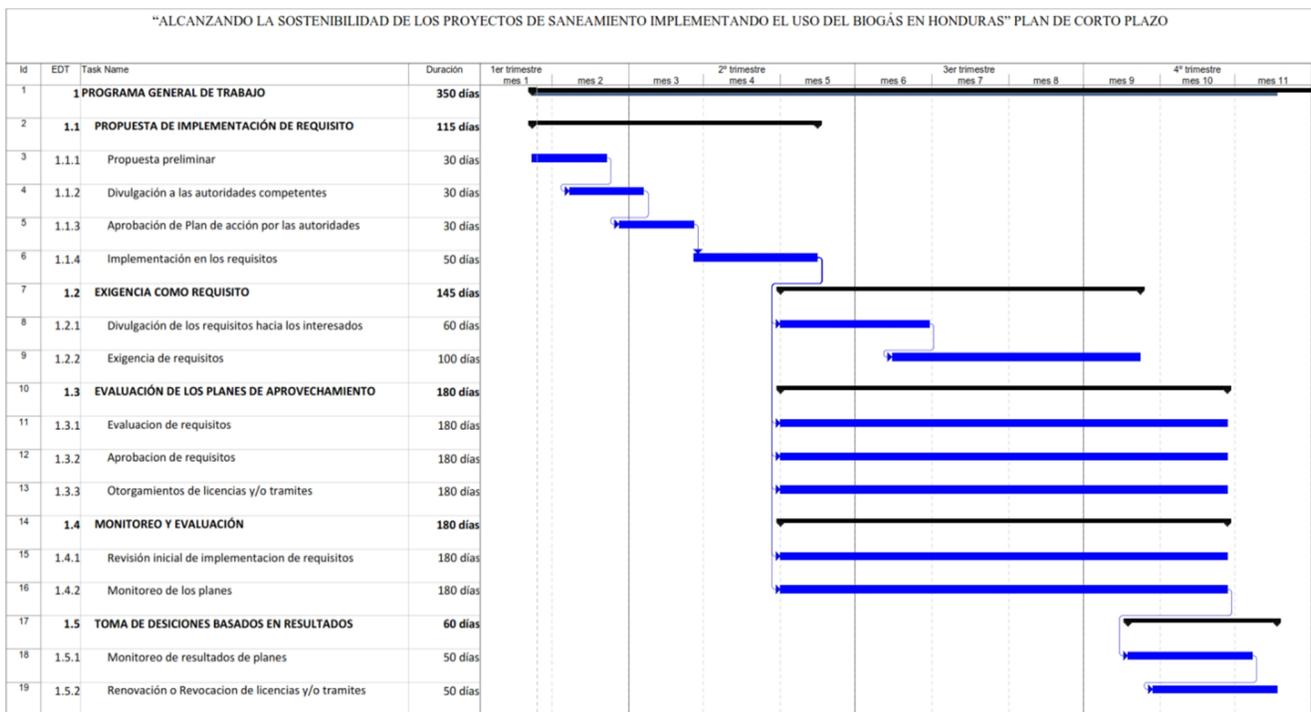
Se encuentran un total de 112 plantas ubicadas en la extensión del territorio, las mismas podrían ser una gran herramienta para erradicar la pobreza, para mejorar la calidad de vida de las personas, y sobre todo para poder explotar el potencial biogás que las mismas generan.

Actualmente estas plantas de tratamiento están descargando su producción de biogás directamente al medio ambiente, y al mismo tiempo contribuyendo al cambio climático.

## 6.4 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

### 6.4.1 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN PLAN DE CORTO PLAZO

El plan de corto plazo está diseñado para implementarlo durante un año aproximadamente de la siguiente manera:

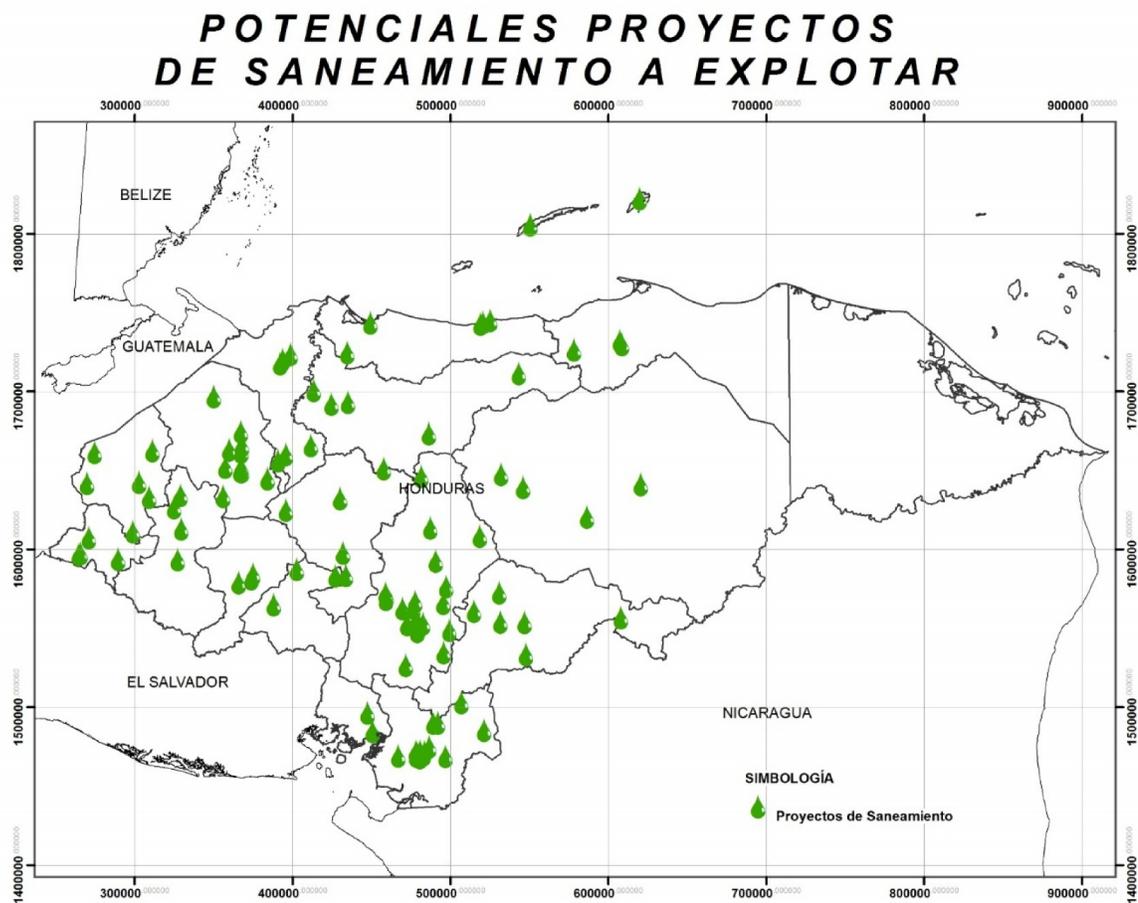


**Figura 20. Cronograma de Plan de Corto Plazo**

Fuente: Elaboración propia.

## 6.4.2 CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN PLAN DE LARGO PLAZO

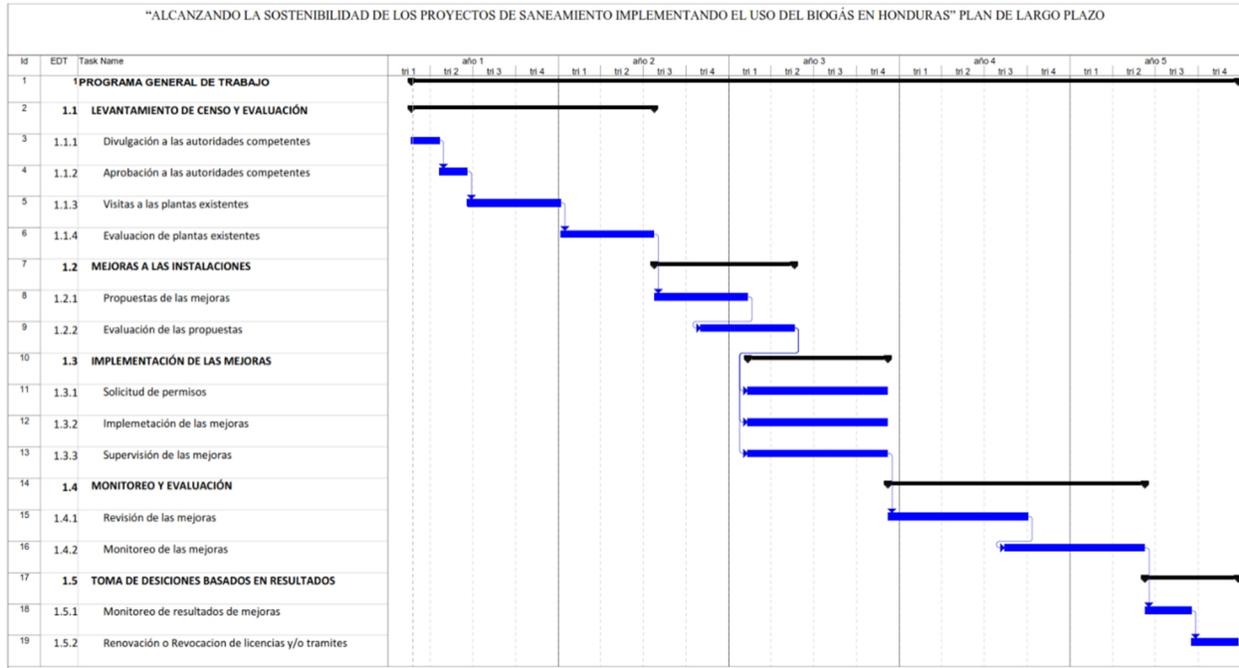
La idea principal del plan de largo plazo es cambiar radicalmente el funcionamiento de las plantas de tratamiento y poder aprovechar el biogás generado en las mismas o en el peor de los casos eliminarlo de forma segura. Con esta idea pasarían las plantas de tratamiento de ser un problema ambiental a ser un ejemplo a seguir por otros países, tal como lo muestra la siguiente figura:



**Figura 21. Plantas de tratamiento con eliminación o aprovechamiento de biogás**

Fuente: (Quezada et al, 2010, p. 40)

El plan de Largo plazo está diseñado para implementarlo durante cinco años aproximadamente de la siguiente manera:



**Figura 22. Cronograma de Plan de Largo Plazo**

Fuente: Elaboración propia.

## BIBLIOGRAFIA

- Álvarez, J. . (2003, Diciembre). *Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Urbanas en Planta Piloto*. Universidade da Coruña, Coruña. Recuperado a partir de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=20459>
- Anton, D. (2010). El cambio climatico: hechos y ficciones. *Revista Geografica*, (148), 57.
- AquaLimpia Engineering. (2014). Catalogo de Generadores a base de Biogás. Recuperado a partir de <http://www.aqualimpia.com/PDF/GENERADORES-BIOGAS-ES-2014.pdf>
- AquaLimpia Engineering. (2015). *PLANTA DE GESTIÓN DE RESIDUOS – LA COFRADÍA – SAN PEDRO SULA/ HONDURAS*. San Pedro Sula, Honduras. Recuperado a partir de <http://www.aqualimpia.com/PDF/BIODIGESTOR-SPS.pdf>
- BCH. (2015). HONDURAS: PROMEDIO PONDERADO DE LAS TASAS ANUALES DE INTERÉS NOMINALES EN MONEDA EXTRANJERA DEL SISTEMA FINANCIERO NACIONAL. Recuperado a partir de [http://www.bch.hn/tasas\\_interes.php](http://www.bch.hn/tasas_interes.php)
- Borjas, B. (2010). Sostenibilidad de los Sistemas de Saneamiento Básico en Honduras y la Influencia de la Oferta y Demanda de Conocimiento e Información. Recuperado a partir de <http://www.conasa.hn/files/estudios/InformeSostSistSaneamBasicoRAS-HON.pdf>

Caicedo, M. F. . (2006). *Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados*. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. Recuperado a partir de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1915/>

CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. (2011). PROJECT DESIGN DOCUMENT EECOPALSA. Recuperado a partir de [http://www.cigre.cl/sem\\_28\\_julio\\_10/presentaciones/curri/Rodrigo\\_Garcia.pdf](http://www.cigre.cl/sem_28_julio_10/presentaciones/curri/Rodrigo_Garcia.pdf)

CONASH. (2014). Servicios de Consultoría para la Supervisión del Sistema de Alcantarillado Sanitario / Tratamiento de la Ciudad de Juticalpa, Municipio de Juticalpa, Departamento de Olancho.

Craveiro, A. ., Soares, H. ., & Netto, S. (1986). Technical aspects and cost estimations for anaerobic systems treating vinasse and Breweri/Soft drinks wastewaters. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON ANAEROBIC TREATMENT IN TROPICAL COUNTRIES.

del Rio, P., & Burgillo, M. (2009). An empirical analysis of the impact of renewable energy deployment on local sustainability, (Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1314–1325). Recuperado a partir de [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser)

Doorn, M. R. J., Towprayoon, S., Manso, S. M., Irving, W., Palmer, C., Pipatti, R., & Wang, C. (2006). TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN DE AGUAS RESIDUALES. IPCC. Recuperado a partir de [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5\\_Volume5/V5\\_6\\_Ch6\\_Wastewater.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_6_Ch6_Wastewater.pdf)

EPA. (2014). Food Waste to Energy: How Six Water Resource Recovery Facilities are Boosting Biogas Production and the Bottom Line. American Biogás Council. Recuperado a partir de [http://www.americanbiogascouncil.org/pdf/FoodWastetoEnergy\\_EPADoc600R14\\_240.pdf](http://www.americanbiogascouncil.org/pdf/FoodWastetoEnergy_EPADoc600R14_240.pdf)

Ett, G., Landgraf, F., Derenzo, S., & Sin Yu, A. (2013). Brazilian Bio-Fuels Production Scenario (Biogas, Biomethane and Biosyngas). Regional Leader Summit. Recuperado a partir de [http://www.fapesp.br/rede/seminar\\_0413.pdf](http://www.fapesp.br/rede/seminar_0413.pdf)

EurObserv ' ER. (2013). The State of Renewable Energies In Europe. Recuperado a partir de [http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat\\_baro/barobilan/barobilan13-gb.pdf](http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/stat_baro/barobilan/barobilan13-gb.pdf)

Flores, F. (2007). *Alternativas de Tratamiento para Tegucigalpa*.

Fry, L. J. (1975). Gas and Gas usage, Practical building of methane power plants. Illinois.

GIZ. (2013). Análisis de Factibilidad de la producción de biogás con aguas residuales de la producción de aceite de palma (POME) en el plantel de COAPALMA ECARA, Tocoa. Recuperado a partir de <http://www.coapalmaecara.com/files/014%20Estudio%20de%20factibilidad%20para%20biogas.pdf>

Gobierno de Honduras. (2001, Agosto). Estrategia de la Reducción de la Pobreza. Recuperado a partir de <http://www.unicef.org/honduras/ERPCompleto.pdf>

Gobierno de Honduras. (2003). Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento. Recuperado a partir de <http://www.ersaps.hn/documentos/normativa/1%20Ley%20Marco%20de%20Agua%20y%20Saneamiento.pdf>

GTZ GmbH. (1999). “Biogas Digest”. Biogas Basics, Gesellschaft für Technische Zusammenarbei. Recuperado a partir de <http://www.gtz.de/de/dokumente/en-biogas-volume1.pdf>

Heller, J. . (2015, Enero). MANUAL PARA LA REDACCIÓN DE TESIS DE POSTGRADO. UNITEC.

Hernández, E., Samayao, S., Álvarez, E., & Talavera, C. (2012). Estudio sobre el potencial de Desarrollo de Iniciativas de biogás a nivel productivo en Honduras. Recuperado a partir de [http://www.snvworld.org/download/publications/hn\\_estudio\\_potencial\\_de\\_biogas\\_version\\_tecnica.pdf](http://www.snvworld.org/download/publications/hn_estudio_potencial_de_biogas_version_tecnica.pdf)

Hernández, S., & Sánchez, E. (2014). Análisis de un proceso de Tratamiento de Efluentes para producción de Metano. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*, 11, 236–246.

HIVOS, & SNV. (2010, abril). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD PARA UN PROGRAMA DE BIOGAS EN HONDURAS. Recuperado a partir de <http://www.bibalex.org/search4dev/files/419121/442095.pdf>

IDAE. (2011). Situación y Potencial de Generación de Biogas, Estudio Técnico periodo 2011-2020. Recuperado a partir de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e16\\_biogas\\_db43a675.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e16_biogas_db43a675.pdf)

INE. (2013). XVII Censo de Población y VI de Vivienda 2013.

León, J. G., Guerin, F., Martín M, D. C., & Duque, S. R. (2012). Cuantificación de gases de efecto invernadero en zonas húmedas tropicales: El caso Yahuaraca, amazonia colombiana. *Acta Agronómica*, 61(5), 1–2.

López, M. . (2009). Guía de Buena Práctica para soluciones Alternativas en Saneamiento Urbano en Honduras. ERSAPS. Recuperado a partir de [http://www.sefin.gob.hn/wp-content/uploads/2015/04/Guia\\_de\\_Buenas\\_Practicas\\_para\\_Soluciones\\_alternativas\\_en\\_APS\\_Urbano\\_en\\_Honduras.pdf](http://www.sefin.gob.hn/wp-content/uploads/2015/04/Guia_de_Buenas_Practicas_para_Soluciones_alternativas_en_APS_Urbano_en_Honduras.pdf)

Mejía, T., Smits, S., & Sánchez, E. (2010). Buscando la Sostenibilidad del Saneamiento a Través del Fortalecimiento de la Gobernanza Local. Recuperado a partir de <http://www.bvsde.paho.org/documentosdigitales/bvsde/texcom/cd051488/mejia.pdf>

Nolasco, D. (2010). Desarrollo de proyectos MDL en plantas de tratamiento de aguas residuales. Recuperado a partir de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35444802>

Oakley, S. (2005). LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN EN HONDURAS. Recuperado a partir de <http://www.desastres.hn/docum/Honduras/laguna-de-estabilizacion-en-honduras.pdf>

ONUDI. (s/f). El Biogás.

Pistonesi, C., & Haure, J. . (2010). Energía a partir de Aguas Residuales. Editorial de la Universidad Tecnología Nacional, Argentina. Recuperado a partir de <http://www.edutecne.utn.edu.ar/>

Quezada, L., Rodríguez, M., & García, O. (2010). Estado de la situación del Agua y saneamiento en Honduras. Recuperado a partir de <http://www.conasa.hn/files/planificacion/INFORME%20FINAL%20LATINOSAN%20O1O.pdf>

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, M. de P. (2010). *Metodología de la investigación* (5a ed.). México: McGraw-Hill. Recuperado a partir de <http://unitec.libri.mx/libro.php?libroId=6021>

SANAA. (2004). Normas de diseño para Alcantarillado Sanitario, Alcantarillado Pluvial y Tratamiento de aguas Residuales.

SNV, & PNUD. (2012). Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de Biogás a nivel productivo en Honduras. Recuperado a partir de [http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/library/environment\\_energy/estudio-biogas.html](http://www.hn.undp.org/content/honduras/es/home/library/environment_energy/estudio-biogas.html)

Suazo, G., & Reyes, J. . (s/f). Producción de Aguas Servidas, Tratamiento y Uso en Honduras.

Recuperado a partir de [http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod\\_page/content/148/HONDURAS.pdf](http://www.ais.unwater.org/ais/pluginfile.php/378/mod_page/content/148/HONDURAS.pdf)

Todd, Z., & Lobeck, M. (2004). *Integrating survey and focus groups research: A case study of attitudes of English and German Language learners* (Psychology Press).

Weber, B., Oropeza, M. R., Bernal, M. ., & González, L. . (2012). Producción de Biogás en México, Estado actual y perspectivas. Recuperado a partir de <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT5.pdf>

## ANEXOS

### Anexo 1. Inventario de Plantas de tratamiento en Honduras

N°	Localidad	Departamento	Población Servida	Tecnología Usada
1	Tela	Atlántida	10,520	LAN + LF + LM
2	La Ceiba	Atlántida	5,000	IMHOFF
3	La Ceiba	Atlántida	15,000	LAE + LM
4	La Ceiba	Atlántida	37,024	2 (LF + LM )
5	Pajuiles	Atlántida		LF + LM
6	Choluteca	Choluteca	38,068	LF + LM
7	Choluteca	Nueva Morolica	5,391	FP
8	Choluteca	Limón de la Cerca		LF
9	Choluteca	San Marcos de Colon	5,087	LF
10	Choluteca	Chol.(Apacilagua)	2,000	LF
11	Choluteca	Chol.(Orocuina)	1,900	LF
12	Choluteca	Choluteca (L4)	86,000	LF
13	Choluteca	Choluteca (El Edén)	9,000	LF
14	Choluteca	Choluteca (Sagrado Coraz.)	2,000	LF
15	Choluteca	Choluteca (Emp. Deli)		LAN + LF + LM
16	Choluteca	Choluteca (Emp. Sta. Elena)		LF

N°	Localidad	Departamento	Población Servida	Tecnología Usada
17	Choluteca	Choluteca (Emp. Litoral)		LF
18	Choluteca	Choluteca (Az. Choluteca)		LF
19	Choluteca	Marcovia	2,000	FS
20	Choluteca	El Corpus	420	FS
21	Sonaguera	Colón	5,000	LF + LM
22	Tocoa	Colón	1,229	IMHOFF
23	Tocoa	Colón	5,000	LF + LM
24	Col. INJUPEN, Comayagua	Comayagua		FS
25	Taulabe	Comayagua	3,186	LF + LM
26	Villa San Antonio	Comayagua	1,200	LF + LM
27	Ojo de Agua	Comayagua		IMHOFF
28	Corquin	Copán	3,600	IMHOFF
29	Copan Ruinas	Copán	3,500	LF + LM
30	Nueva Arcadia	Copán	1,000	IMHOFF
31	Nueva Arcadia	Copán	2,984	LF + LM
32	Dulce Nombre	Copan	3,370	LF
33	Santa Rosa de Copán	Copán	19,804	LF + LM
34	Cañaveral	Cortés	900	IMHOFF
35	S.P.S./ Fesitranh	Corte		FP
36	San Francisco de Yojoa	Cortés		IMHOFF
37	Choloma	Cortés	63,201	LF + LM
38	Playas Marías, Santa Cruz de Yojoa	Cortes	348	RAFA+FP
39	San Pedro Sula	Cortés	5,000	FP
40	Teupasenti	El Paraíso	8,250	FS+Biofiltro
41	Pajuiles	El Paraíso	1,400	LF + LM
42	Moroce lí	El Paraíso	705	LF + LM
43	El Paraíso	El Paraíso	12,313	FA + LM
44	Danlí	El Paraíso	28,386	LA + LF + LM
45	El Paraíso	Trojes	4,800	LF
46	El Zamorano	Francisco Morazán	800	IMHOFF
47	Sabanagrande	Francisco Morazán	1,500	IMHOFF
48	Valle de Ángeles	Francisco Morazán	4,128	
49	Col. El Manantial, Santa Ana	Francisco Morazán	3,150	LA
50	Ciudad España(1360 famil)	Francisco Morazán	6,800	LF+LM
51	San Juana de Flores	Francisco Morazán	4,800	
52	Divina Providencia	Francisco Morazán		LF+LM
53	Villa España	Francisco Morazán		FS
54	Col Los Pinos, Zambrano	Francisco Morazán		FS+FP
55	Col Kasandra, D.C.	Francisco Morazán	7,800	FP
56	Col. Terrasol	Francisco Morazán		FP
57	Cedros	Francisco Morazán	2,100	LF
58	Marale	Francisco Morazán	1,796	LF
59	Maraita	Francisco Morazán	660	FS
60	Guaimaca	Francisco Morazán	2,273	IMHOFF+ Biofiltro
61	Talanga	Francisco Morazán	2,887	LF + LM
62	Villa Linda Miller(AMDC)	Francisco Morazán		IMHOFF+FA
63	Col. Cerro Grande, DC	Francisco Morazán	7,800	RAFA+FP
64	Col. San Sebastián, Comayagüela,	Francisco Morazán	400	RAFA

N°	Localidad	Departamento	Población Servida	Tecnología Usada
65	Col Cruz Roja, Comayagüela, DC	Francisco Morazán		RAFA+FA
66	Tegucigalpa	Francisco Morazán	50,000	LA+S
67	Tegucigalpa	Francisco Morazán	100,000	RAFA+S
68	Puerto Lempira	Gracias a Dios	5,360	
69	Yamaranguila	Intibucá	850	FA + LM
70	La Esperanza	Intibucá	2,234	IMHOFF
71	Intibucá	Intibucá	3,668	IMHOFF
72	Roatán	Islas de la Bahía	1,339	LAE + LD
73	Guanaja	Isla de la Bahía		LF
74	Santiago de Puringla	La Paz		FP
75	Marcala	La Paz	2,383	IMHOFF
76	La Paz	La Paz	11,863	LF + LM
77	Las Flores	Lempira	1,000	IMHOFF
78	Lepaera	Lempira	2,198	TS+FA
79	San Marcos de Caiquin	Lempira	4,450	
80	Gracias	Lempira	4,238	IMHOFF
81	Ocotepeque	Ocotepeque	8,304	IMHOFF
82	Nueva Ocotepeque	Ocotepeque		IMHOFF
83	Dolores Merendón	Ocotepeque	550	FS+Biofiltro
84	San Marcos	Ocotepeque	3,412	LF + LM
85	El Rosario	Olancho		FP
86	Salamá	Olancho	1,200	LF + LM
87	Juticalpa	Olancho	23,589	LF + LM
88	Catacamas	Olancho	10,787	3 ( LF + LM )
89	Gualala	Santa Bárbara	485	IMHOFF
90	El Níspero	Santa Bárbara	1,900	IMHOFF
91	San Nicolás	Santa Bárbara		IMHOFF
92	Bo Llano del Conejo, Sta. Bárbara	Santa Bárbara		IMHOFF
93	Las Vegas	Santa Bárbara	6,600	IMHOFF
94	El Mocho Arriba	Santa Bárbara	2,181	FS
95	Ilama	Santa Bárbara	5,407	IMHOFF
96	Galeras, Sta. Bárbara	Santa Bárbara		IMHOFF
97	Quimistán	Santa Bárbara	2,000	IMHOFF
98	San José de Colinas	Santa Bárbara	3,296	FS
99	Trinidad	Santa Bárbara	6,108	LF + LM
100	Santa Bárbara	Santa Bárbara	11,580	2 IMHOFF
101	Nacaome	Valle	8,086	LF + LM
102	San Lorenzo	Valle	14,142	LF + LM
103	Victoria	Yoro	2,000	LF + LM
104	El Negrito	Yoro	6,000	LF + LM
105	Morazán	Yoro	2,659	LF + LM
106	Yoro	Yoro	5,306	IMHOFF
107	Olanchito	Yoro	17,528	LF + LM
108	El Progreso	Yoro	35,000	LF + LM

Fuente: (Quezada et al, 2010, p. 40)

## Anexo 2. Datos obtenidos de Caudal

Día	Hora	Lectura (cm)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (l/s)
Martes 26 de enero 2016	00:00	16	0.027	26.967
	01:00	25	0.053	52.670
	02:00	23	0.046	46.478
	03:00	21	0.041	40.549
	04:00	33	0.080	79.877
	05:00	56	0.177	176.577
	06:00	59	0.191	190.955
	07:00	48	0.140	140.125
	08:00	43	0.119	118.811
	09:00	44	0.123	122.979
	10:00	38	0.099	98.703
	11:00	58	0.186	186.121
	12:00	59	0.191	190.955
	13:00	60	0.196	195.830
	14:00	51	0.153	153.465
	15:00	50	0.149	148.973
	16:00	49	0.145	144.526
	17:00	53	0.163	162.580
	18:00	61	0.201	200.747
	19:00	48	0.140	140.125
	20:00	39	0.103	102.624
	21:00	30	0.069	69.237
	22:00	20	0.038	37.688
23:00	18	0.032	32.178	
Miércoles 27 de enero 2016	00:00	10	0.013	13.325
	01:00	13	0.020	19.750
	02:00	15	0.024	24.479
	03:00	25	0.053	52.670
	04:00	38	0.099	98.703
	05:00	51	0.153	153.465
	06:00	57	0.181	181.328
	07:00	59	0.191	190.955
	08:00	45	0.127	127.196
	09:00	44	0.123	122.979
	10:00	43	0.119	118.811
	11:00	58	0.186	186.121
	12:00	59	0.191	190.955
	13:00	60	0.196	195.830
	14:00	48	0.140	140.125
	15:00	50	0.149	148.973
	16:00	48	0.140	140.125
	17:00	54	0.167	167.203
	18:00	59	0.191	190.955
	19:00	47	0.136	135.769
	20:00	34	0.084	83.536
	21:00	28	0.062	62.430
	22:00	15	0.024	24.479
23:00	14	0.022	22.072	

Día	Hora	Lectura (cm)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (l/s)
Jueves 28 de enero 2016	00:00	11	0.015	15.372
	01:00	14	0.022	22.072
	02:00	15	0.024	24.479
	03:00	19	0.035	34.897
	04:00	30	0.069	69.237
	05:00	47	0.136	135.769
	06:00	57	0.181	181.328
	07:00	59	0.191	190.955
	08:00	50	0.149	148.973
	09:00	50	0.149	148.973
	10:00	44	0.123	122.979
	11:00	54	0.167	167.203
	12:00	56	0.177	176.577
	13:00	60	0.196	195.830
	14:00	52	0.158	158.000
	15:00	50	0.149	148.973
	16:00	46	0.131	131.459
	17:00	50	0.149	148.973
	18:00	55	0.172	171.869
	19:00	46	0.131	131.459
	20:00	36	0.091	91.014
	21:00	28	0.062	62.430
	22:00	16	0.027	26.967
23:00	11	0.015	15.372	
Viernes 29 de enero 2016	00:00	10	0.013	13.325
	01:00	16	0.027	26.967
	02:00	16	0.027	26.967
	03:00	21	0.041	40.549
	04:00	38	0.099	98.703
	05:00	46	0.131	131.459
	06:00	58	0.186	186.121
	07:00	58	0.186	186.121
	08:00	40	0.107	106.597
	09:00	40	0.107	106.597
	10:00	43	0.119	118.811
	11:00	53	0.163	162.580
	12:00	56	0.177	176.577
	13:00	55	0.172	171.869
	14:00	53	0.163	162.580
	15:00	48	0.140	140.125
	16:00	44	0.123	122.979
	17:00	45	0.127	127.196
	18:00	57	0.181	181.328
	19:00	47	0.136	135.769
	20:00	33	0.080	79.877
	21:00	26	0.056	55.862
	22:00	16	0.027	26.967
23:00	10	0.013	13.325	

Día	Hora	Lectura (cm)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (l/s)
Sábado 30 de enero 2016	00:00	11	0.015	15.372
	01:00	12	0.018	17.516
	02:00	12	0.018	17.516
	03:00	15	0.024	24.479
	04:00	31	0.073	72.727
	05:00	36	0.091	91.014
	06:00	49	0.145	144.526
	07:00	50	0.149	148.973
	08:00	48	0.140	140.125
	09:00	43	0.119	118.811
	10:00	46	0.131	131.459
	11:00	56	0.177	176.577
	12:00	59	0.191	190.955
	13:00	58	0.186	186.121
	14:00	52	0.158	158.000
	15:00	49	0.145	144.526
	16:00	48	0.140	140.125
	17:00	49	0.145	144.526
	18:00	53	0.163	162.580
	19:00	47	0.136	135.769
	20:00	34	0.084	83.536
	21:00	25	0.053	52.670
	22:00	14	0.022	22.072
23:00	10	0.013	13.325	
Domingo 31 de enero 2016	00:00	11	0.015	15.372
	01:00	13	0.020	19.750
	02:00	16	0.027	26.967
	03:00	23	0.046	46.478
	04:00	27	0.059	59.115
	05:00	35	0.087	87.248
	06:00	44	0.123	122.979
	07:00	48	0.140	140.125
	08:00	47	0.136	135.769
	09:00	43	0.119	118.811
	10:00	45	0.127	127.196
	11:00	52	0.158	158.000
	12:00	57	0.181	181.328
	13:00	56	0.177	176.577
	14:00	55	0.172	171.869
	15:00	48	0.140	140.125
	16:00	47	0.136	135.769
	17:00	45	0.127	127.196
	18:00	47	0.136	135.769
19:00	50	0.149	148.973	

Día	Hora	Lectura (cm)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (l/s)
	20:00	33	0.080	79.877
	21:00	20	0.038	37.688
	22:00	11	0.015	15.372
	23:00	8	0.010	9.534

Día	Hora	Lectura (cm)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (l/s)
Lunes 01 de febrero 2016	00:00	13	0.020	19.750
	01:00	19	0.035	34.897
	02:00	20	0.038	37.688
	03:00	20	0.038	37.688
	04:00	27	0.059	59.115
	05:00	55	0.172	171.869
	06:00	58	0.186	186.121
	07:00	51	0.153	153.465
	08:00	44	0.123	122.979
	09:00	43	0.119	118.811
	10:00	38	0.099	98.703
	11:00	57	0.181	181.328
	12:00	59	0.191	190.955
	13:00	58	0.186	186.121
	14:00	51	0.153	153.465
	15:00	49	0.145	144.526
	16:00	49	0.145	144.526
	17:00	52	0.158	158.000
	18:00	59	0.191	190.955
	19:00	56	0.177	176.577
	20:00	41	0.111	110.619
	21:00	34	0.084	83.536
	22:00	17	0.030	29.534
	23:00	13	0.020	19.750

### Anexo 3. Datos Estación pluviométrica “La Conce”

La estación La Conce se ubica en la cuenca hidrología Patuca en el departamento de Olancho, Honduras. Las coordenadas UTM- WGS84 N: 1, 619,302 m y E: 586,927 m. Los datos se presentan en grados Celsius.

Año Hidrológico	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr
1982-83							23.5	22.6	24.1	25	26.6	28
1983-84	29.4	28	25.3	26.1	25.8	25.8	24.8	23.6	22.8	24.4	26	28.5
1984-85	29.1	26.6	25	24.8	25.5	25.1	23.7	23.1	22.2	23.2	25	27.1
1985-86	28.4	26.5	24.9	25.3	25.8	25.3	22.8	23.5	22.5	24.5	25.4	27.8
1986-87	29.1	25.6	24.7	25.6	25.1	25.2	24.6	23.1	22.8	24.4	26.6	27.3
1987-88	28.2	27.2	25	25.5	26	25.6	25.6	24.9	24.2	25.1	26.3	28.5
1988-89	29.1	27.8	26	26.5	26.2	25.7	25.3	23.4	23.4	23.1	25.2	28.2
1989-90	28.3	26.3	26.3	26.3	26.2	25.8	25.1	22.8	23.9	24.4	25.7	27.8
1990-91	27.7	26.8	25.9	25.9	25	24.4	24.8	24.1	22.5	24.5		21.8
1991-92	26.8	27.4	25.9	26.1	25.7	26.3	24.6	23.5	23.8	21.6	25.3	28.9
1992-93	28.5	28	25.1	25.9	25.5	25.7	27.7	24.1	24	24.9	26.1	27.6
1993-94	27.8	23.7	23.8	24.1	22.9	24.5	23.7	23	22.2	24.1	26.7	28.5
1994-95	27.7	26.1	25.4	25.6	25.5	25.9	24.5	24.2	23.9	24.4	26.7	27.8
1995-96	28.5	26.5	22.9	26.2	25.8	26.4	25.1	24.2	23.4	24.1	24.5	27.3
1996-97	25.9	24.1	25	25.5		25.3	23.6	23.6	24.2	24.4	26	29.2
1997-98	29.3	26.1	26.3	26.3	27	26.4	25.2		24.7	25.6	24.2	
1998-99	28.8	27.3	24.5	27.3	28.3	26.2	24.5	24.1	24	24.4	26.1	28.1
1999-00	28.2	26.8	25.3	25.7	26.4	25.5	24.5	23.7	23.3	24.7	25.8	23.2
2000-01	27.1	26.1	25.5	26.2	26.8	25.6	25.1	24.1	23.3	24.5	26	27.2
2001-02	27.9	26.4							24.3	24.4	26.5	27.6
2002-03	28.5	27.5	24.2	26.6	27.5	26.6						

Fuente: (DGRH, 2015)

\*Las casillas que aparecen en blanco pertenecen a días sin medición.

