



**FACULTAD DE POSTGRADO  
TESIS DE POSTGRADO**

**ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LAS AGUAS  
RESIDUALES EN PLANTA DE TRATAMIENTO SAN JOSÉ DE  
LA VEGA, TEGUCIGALPA**

**SUSTENTADO POR:**

**CARLOS ANTONIO URCINA BENAVIDES  
JUAN CARLOS POSADAS OYUELA**

**PREVIA INVESTIDURA AL TÍTULO DE  
MÁSTER EN GESTIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE**

**TEGUCIGALPA, FRANCISCO MORAZÁN, HONDURAS, C.A.**

**JULIO 2019**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**UNITEC**

**FACULTAD DE POSTGRADO**

**AUTORIDADES UNIVERSITARIAS**

**RECTOR**

**MARLON ANTONIO BREVÉ REYES**

**SECRETARIO GENERAL**

**ROGER MARTÍNEZ MIRALDA**

**DECANA DE LA FACULTAD DE POSTGRADO**

**CLAUDIA MARÍA CASTRO VALLE**



## **FACULTAD DE POSTGRADO**

### **ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN PLANTA DE TRATAMIENTO SAN JOSÉ DE LA VEGA, TEGUCIGALPA**

#### **NOMBRES DE LOS MAESTRANTES:**

**CARLOS ANTONIO URCINA BENAVIDES  
JUAN CARLOS POSADAS OYUELA**

#### **Resumen**

En Tegucigalpa y Comayagüela existen grandes retos con los sistemas de saneamiento de aguas residuales, es por ello que las autoridades municipales con la ayuda de la cooperación internacional dieron inicio a la instalación de una planta de tratamiento ubicada en San José de la Vega cubriendo el sector sur-este de la capital. Con el propósito de aprovechar el potencial energético que se puede obtener de estos residuos orgánicos, nuestro trabajo se dio a la tarea de analizar qué tan aptos son estos residuos para la producción de biogás que puede ser utilizado en la generación de energía eléctrica para autoconsumo de la planta de tratamiento, disminuyendo así los costos operativos, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> y finalmente garantizando el adecuado tratamiento de las aguas residuales antes de su disposición final. A través de los resultados obtenidos del ensayo de la Actividad Metanogénica Específica se pudo cuantificar el volumen de metano que puede generar este sustrato mediante un proceso biológico anaerobio.

**Palabras claves:** AME, biogás, lodos primarios, planta de tratamiento, proceso anaerobio



## **GRADUATE SCHOOL**

# **ANÁLISIS DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN PLANTA DE TRATAMIENTO SAN JOSÉ DE LA VEGA, TEGUCIGALPA**

### **NOMBRES DE LOS MAESTRANTES:**

**CARLOS ANTONIO URCINA BENAVIDES  
JUAN CARLOS POSADAS OYUELA**

### **Abstract**

In Tegucigalpa and Comayagüela there are great challenges with the wastewater treatment systems, that is why the municipal authorities, with the help of international cooperation, started the installation of a treatment plant located in San José de la Vega covering the sector south-east of the capital. With the purpose of taking advantage of the energetic potential that can be obtained from these organic waste, our work was given the task of analyzing how suitable these residues are for the production of biogas that can be used in the generation of electrical energy for self-consumption of the treatment plant, thus reducing operating costs, contributing to the reduction of CO<sub>2</sub> emissions and finally guaranteeing the proper treatment of wastewater before its final disposal. Through the results obtained from the assay of the Specific Metanogenic Activity it was possible to quantify the volume of methane that this substrate can generate through an anaerobic biological process.

**Keywords:** AME, anaerobic process, biogas, primary sludge, treatment plant

## **DEDICATORIA**

Queremos dedicar este proyecto de tesis en primer lugar a Dios, ya que es nuestra mayor inspiración y es quien nos ha permitido mantenernos con salud y nos ha brindado la fuerza necesaria para alcanzar esta meta.

A nuestros padres que han sido nuestro mayor ejemplo a seguir y que siempre se han esforzado por formar hombres profesionales con principios y valores para contribuir con el desarrollo de este país que tanto lo necesita.

Yo, Antonio Urcina, particularmente quiero dedicar este logro profesional a mi esposa que gracias a su apoyo incondicional es quien me ha dado la fortaleza necesaria para cumplir con este sueño, a mis hijos, son quienes me inspiran a superarme y que el día de mañana puedan sentirse orgullosos de su padre.

Yo, Juan Posadas, quiero dedicar este logro a mi familia, que son el principal impulso en todos mis proyectos, particularmente a mis padres que siempre han estado presentes para apoyarme y alcanzar mis metas.

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la casa de estudios UNITEC (Universidad Tecnológica Centroamericana) quienes exponen el gran compromiso que tienen con nuestro país a través de la formación de nuevos profesionales innovando en áreas con un gran potencial de desarrollo como lo son las Energías Renovables, utilizando sus recursos tecnológicos y comprometidos con la investigación para generar el mayor aprovechamiento de las riquezas que se encuentran en nuestra nación.

A nuestro asesor metodológico, Dr. Wilfredo Flores quien ha compartido su conocimiento adquirido a lo largo de su carrera profesional con este grupo de profesionales en aras de contribuir a nuestra formación académica en esta área tan importante en nuestro país.

Al Dr. Saulo Díaz, asesor técnico, un profesional de la química, experto en la materia quien nos orientó y colaboró directamente con nuestro proyecto, dando un enfoque y criterio objetivo para poder obtener un producto que cumpla con nuestras expectativas.

Al Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados (SANAA), institución que nos permitió desarrollar este importante proyecto y nos ofreció toda la colaboración necesaria para poder obtener la información requerida para el desarrollo de nuestro proyecto.

Y a cada una de las personas que directamente o indirectamente aportaron al desarrollo y culminación de este proyecto.

# INDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	1
1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	2
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	3
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
2.1 SITUACIÓN ACTUAL EN HONDURAS.....	4
2.2 CONSIDERACIONES SOBRE LAS DOS PLANTAS DEPURADORAS.....	5
2.3 ASPECTOS BÁSICOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO.....	9
2.4 PLANTA SAN JOSÉ DE LA VEGA.....	9
2.5 PLANTA PRRAC-ASAN.....	15
2.6 CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE EN INGRESO A LA PLANTA.....	22
2.7 MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL.....	23
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....</b>	<b>26</b>
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....</b>	<b>28</b>
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>31</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>34</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>37</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes principales de la planta San José de la Vega.....	10
Tabla 2. Potencia instalada de equipos en Planta San José de la Vega.....	15
Tabla 3. Componentes principales de la planta PRRAC-ASAN.....	18
Tabla 4. Características del sustrato que ingresa a la planta PRRAC-ASAN.....	22
Tabla 5. Valores obtenidos de Actividad Metanogénica Específica.....	28

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de instalaciones de las dos plantas, San José de la Vega y PRRAC-ASAN.....	5
Figura 2. Distribución de las obras de la planta San José de la Vega.....	9
Figura 3. Esquema de flujo de la planta San José de la Vega.....	11
Figura 4. Esquema de by pass desde el tratamiento primario.....	13
Figura 5. Ubicación de la planta y de las estaciones de bombeo.....	16
Figura 6. Distribución de las obras de la planta PRRAC-ASAN.....	17
Figura 7. Diagrama de flujo de planta PRRAC-ASAN.....	19
Figura 8. Esquema by pass desde las estaciones de bombeo.....	20
Figura 9. Flujograma de la metodología.....	27
Figura 10. Gráfico de Actividad Metanogénica Específica.....	28
Figura 11. Gráfico de Consumo y Generación de Energía.....	30



# CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Tegucigalpa y Comayagüela, ciudades hermanas, son consideradas de las metrópolis más importantes del territorio nacional y cuentan con un gran índice poblacional que año con año ha ido creciendo de manera desordenada principalmente en los barrios y colonias, los cuales carecen del tratamiento adecuado de todas las aguas servidas que son depositadas en los diferentes efluentes que atraviesan por la ciudad.

Es por ello que el *Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados SANAA* en cooperación con el gobierno de Italia y la Unión Europea, acordaron construir una planta de tratamiento de Aguas Residuales ubicada en San José de la Vega, en el marco del proyecto regional de reconstrucción América Central, el desarrollo de este programa tomo mayor fuerza a raíz de la devastación ocasionada por el huracán Mitch en los sistemas de saneamiento de la ciudad. Este sistema es capaz de recolectar estas aguas y reducir considerablemente el grado de contaminación que ellas generan a través de procesos micro biológicos y que adicionalmente a este beneficio nos encontramos con la emisión de gas metano el cual puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica al menos para autoconsumo de la planta, nuestro propósito de análisis consiste en identificar el potencial energético que se puede obtener en el tratamiento de las aguas residuales de esta zona en particular.

## 1.2 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

En los últimos años, con el propósito de cumplir con las regulaciones existentes en el país, se han implementado en su mayoría plantas de tratamiento de aguas residuales de origen industrial y a menor escala en nuevas urbanizaciones a fin de reducir la contaminación de las aguas que

finalmente son depositadas en los efluentes, asimismo, estos sistemas no cuentan con la tecnología para el aprovechamiento del biogás que generan estos residuos. En el caso particular de la planta de tratamiento San José de la Vega, fue construida con el propósito de aprovechar este potencial energético, sin embargo, el proceso que actualmente se lleva a cabo para el tratamiento de estas aguas residuales impide que el sustrato que llega al biodigestor no sea el más apto para la producción del biogás, por otro lado, los elevados costos en las tarifas de energía plantean la necesidad de utilizar los lodos en su fase primaria para ser tratados en un proceso anaerobio obteniendo una mayor producción de biogás el cual puede ser utilizado para la generación de energía al menos para autoconsumo de la planta de tratamiento, contribuyendo a la reducción de la emisión de gases de efecto de invernadero.

### 1.3 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Desaprovechamiento del potencial energético de las aguas residuales de Tegucigalpa y Comayagüela.

### 1.4 OBJETIVOS DEL PROYECTO

#### 1.4.1 Objetivo General

Identificar el Potencial Energético de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de San José de la Vega.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- Cuantificar el potencial energético producido en la planta de tratamiento de Aguas Residuales de San José de la Vega.
- Analizar ventajas y desventajas del aprovechamiento del potencial energético de las aguas residuales de la planta de tratamiento de San José de la Vega.
- Considerar la reducción de costos operativos de la planta disminuyendo la cantidad de

energía eléctrica facturada por la empresa de distribución.

## 1.5 JUSTIFICACIÓN

El análisis del sustrato en su fase primaria se realiza con el propósito de disminuir los costos energéticos en la operación de la planta de tratamiento, así como contribuir en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, se pretende realizar el mayor aprovechamiento de las aguas residuales tanto en la generación de biogás como en la reutilización del agua una vez tratada para el riego en áreas verdes, así como la reutilización del lodo urbano en su fase final para el abono de terrenos en zonas agrícolas.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 SITUACIÓN ACTUAL EN HONDURAS

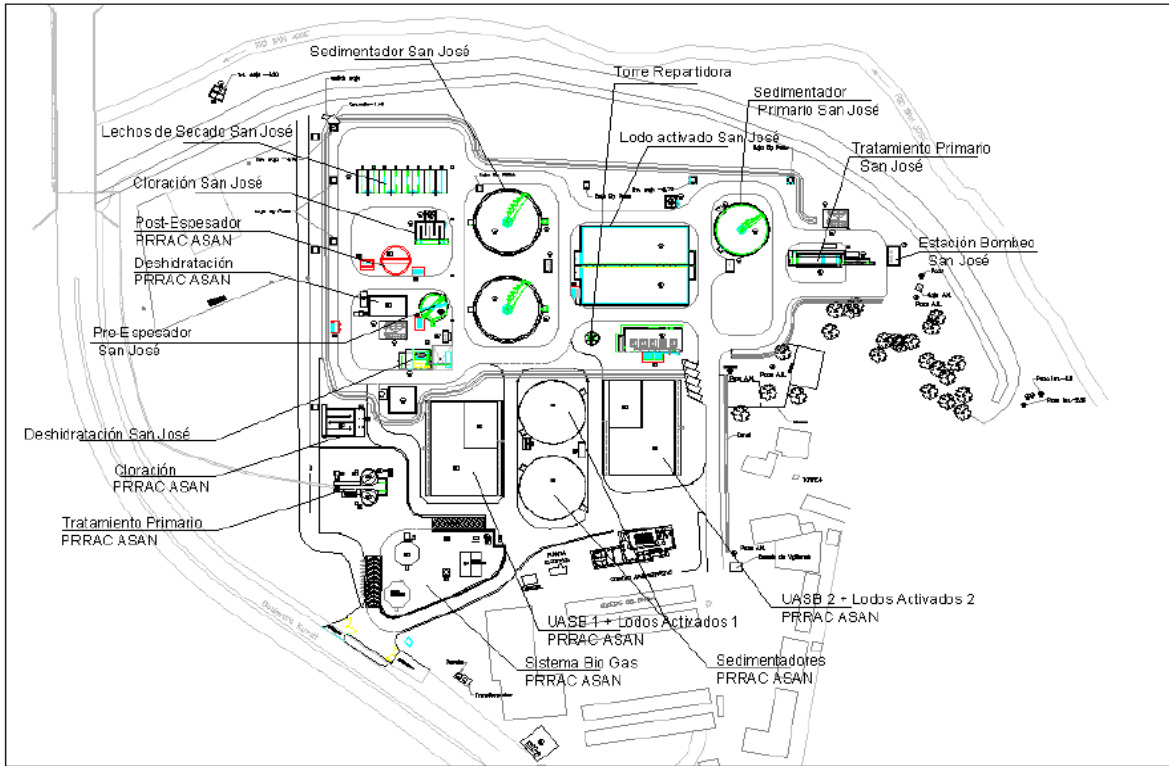
En el país existen plantas para el tratamiento de diferentes tipos de aguas residuales, tales como: industriales, agropecuarias y domésticas, (ver anexo 13.) sin embargo estas plantas en su mayoría solo cumplen con la normativa de descarga de agua a cuerpos receptores dejando a un lado el aprovechamiento del gas metano que se origina por los procesos biológicos de tratamiento, mismo que podría ser utilizado para la generación de energía eléctrica necesaria al menos para autoconsumo, lo que reduciría en gran medida los costos operativos.

El tramo urbano del río Choluteca es el medio receptor de todas las aguas vertidas de la ciudad de Tegucigalpa y debido a su escasa capacidad de autodepuración, se encuentra en un grave estado de contaminación. El tramo contaminado, además de originar olores molestos, representa una peligrosa fuente de enfermedades.

El saneamiento del tramo urbano del río Choluteca representa una prioridad para el gobierno de Honduras, que, a través de la Cooperación Internacional, ha construido las dos primeras plantas depuradoras de la ciudad Capital inauguradas en noviembre 2007, ambas ubicadas en la zona sur de la ciudad en el predio del SANAA de San José de La Vega, denominadas:

- La planta financiada por la Cooperación Italiana a la que llamaremos San José de La Vega, con una capacidad de 50,000 habitantes, que sirve la cuenca del río San José.
- La planta financiada por la Unión Europea a la que llamaremos PRRAC-ASAN, con una capacidad de 200,000 habitantes, que sirve la cuenca de la quebrada Agua Salada.

Ambas plantas descargan el afluente tratado en río San José.



**Figura 1. Distribución de instalaciones de las dos plantas, San José de la Vega y PRRAC-ASAN.**

Fuente: (SANAA, 2016)

Las dos plantas son colindantes y comparten el laboratorio, los locales del centro de operación y las oficinas administrativas.

El proceso de la planta depuradora San José de La Vega es del tipo tradicional de lodo activado, mientras que la planta PRRAC-ASAN, construida posteriormente, se basa sobre un proceso anaerobio.

## 2.2 CONSIDERACIONES SOBRE LAS DOS PLANTAS DEPURADORAS

Luego de la construcción de las dos plantas depuradoras, cuya inversión asciende a \$39.9 millones de dólares con el apoyo de la Unión Europea, la ciudad de Tegucigalpa se encuentra en una fase intermedia del plan de saneamiento cuyos aspectos críticos son los siguientes:

a) Los beneficios en términos de saneamiento son todavía limitados.

b) Los costos operativos de las dos plantas son elevados.

c) En el afluente existe una concentración anómala de sulfato.

a) Los beneficios en términos de saneamiento son todavía limitados.

A la altura de la planta depuradora en el predio de San José de La Vega, el río Choluteca recibe las aguas negras de la zona sur de Tegucigalpa, unos 362,000 habitantes en la actualidad, de los cuales las dos plantas, si bien tienen una capacidad total de 200,000 habitantes, sirven solamente unos 120,000 habitantes debido a la insuficiencia de la red de recolección, lo que no es suficiente durante el periodo del estiaje<sup>1</sup>, con la finalidad de garantizar un efecto de saneamiento efectivo en el tramo urbano del río Choluteca, cuando los flujos naturales del río son insignificantes y sus aportes están constituidos solamente por las aguas negras. En esta situación, la carga contaminante de las aguas negras no tratadas, es atenuada solo por efecto de dilución en el efluente tratado en las dos plantas depuradoras.

Un estudio efectuado recientemente por el proyecto PRRAC-ASAN (Proyecto Regional Reconstrucción América Central – Agua Potable y Saneamiento en los barrios Marginales de Tegucigalpa – financiado por la Unión Europea) ha evidenciado que, para obtener un efecto sensible de saneamiento en el tramo urbano del río, sería necesario depurar casi la totalidad de las aguas negras de la zona sur de Tegucigalpa. En este caso, la dilución de las aguas negras tratadas, podría ejercer reducción de la carga contaminante de las aguas negras no tratadas, a manera de

---

<sup>1</sup> Un porcentaje importante de los flujos naturales del río son interceptados por las presas de Concepción y Laureles por lo que, durante el periodo de estiaje, los flujos naturales remanente son pocos significativos.

garantizar, en el período de estiaje, condiciones sanitarias aceptables hasta la confluencia del Río Guacerique, es decir por una gran parte del tramo urbano del río.

b) Los costos operativos de las dos plantas son elevados.

El costo operativo de las dos plantas ha sido estimado en unos € 960,000 (sin incluir los costos de recuperación de inversión).

Actualmente solo se encuentra en funcionamiento la planta de tratamiento San José de la Vega (financiada por la Cooperación Italiana), basado sobre un proceso tradicional de lodo activado, se ha observado un costo operativo promedio de unos 0.21 €/m<sup>3</sup> mientras para la planta PRRAC-ASAN el costo operativo ha sido evaluado en 0.13 €/m<sup>3</sup>.

En cambio la planta PRRAC-ASAN la cual se encuentra fuera de servicio, los costos por metro cubico de efluente tratado son sensiblemente inferiores a lo de la planta San José de la Vega, debido a su tecnología basada sobre el proceso anaeróbico.

Desde el punto de vista económico dicha tecnología es la adecuada para actuar un plan sostenible de saneamiento, en particular en la situación actual cuando los beneficios de saneamiento son todavía limitados y podrían no justificar un costo operativo elevado.

c) En el afluente existe una concentración anómala de sulfato.

En el afluente a tratar existe una concentración anómala y no controlada de sulfato, la cual no permite un desempeño optimo del proceso anaeróbico de la planta depuradora PRRAC-ASAN, aumenta el riesgo de producción de olores molestos e impide la formación de metano por medio del cual sería posible la producción de energía eléctrica.

Aún con la presencia de sulfato en el afluente, la tecnología de la planta PRRAC-ASAN resultará la más viable para la actuación del plan de saneamiento de la ciudad de Tegucigalpa,

siempre y cuando sea posible limitar los impactos ambientales de olores molestos a través de un sistema de control de las emisiones. El control de los olores molestos es particularmente importante para la futura planta integrada ubicada en el predio SANAA de la Vega, visto que se encuentra en una zona urbanizada.

De lo anteriormente mencionado se evidencian, cuatro exigencias principales para el tratamiento de las aguas negras de la ciudad de Tegucigalpa:

- Extender el tratamiento de depuración de la zona sur de Tegucigalpa al fin de mejorar las condiciones sanitarias del tramo urbano del río Choluteca.
- Disminuir los costos operativos de la depuración.
- La planta PRRAC – ASAN debe entrar en operaciones.
- Reducir los posibles impactos ambientales por emisiones de olores molestos producidos desde los reactores anaeróbicos de la planta PRRAC-ASAN.

El proyecto de integración, realizable con una modesta inversión, representa una alternativa técnicamente viable y económicamente sostenible para atender las exigencias antes mencionadas, en particular:

- Extensión del tratamiento: Con la integración sería posible optimizar el desempeño de las instalaciones de las dos plantas, pudiendo llegar a extender el tratamiento a toda la zona sur de Tegucigalpa.
- Disminución de los costos operativos: Con la integración de las dos plantas existentes, se realizaría una nueva planta basada sobre un proceso depurativo anaeróbico-aeróbico con costos operativos inferiores a los de las dos plantas separadas. Además, está prevista la construcción de un nuevo digestor anaeróbico del lodo, lo cual permitiría el ahorro de los



costos energéticos de la actual digestión aeróbica.

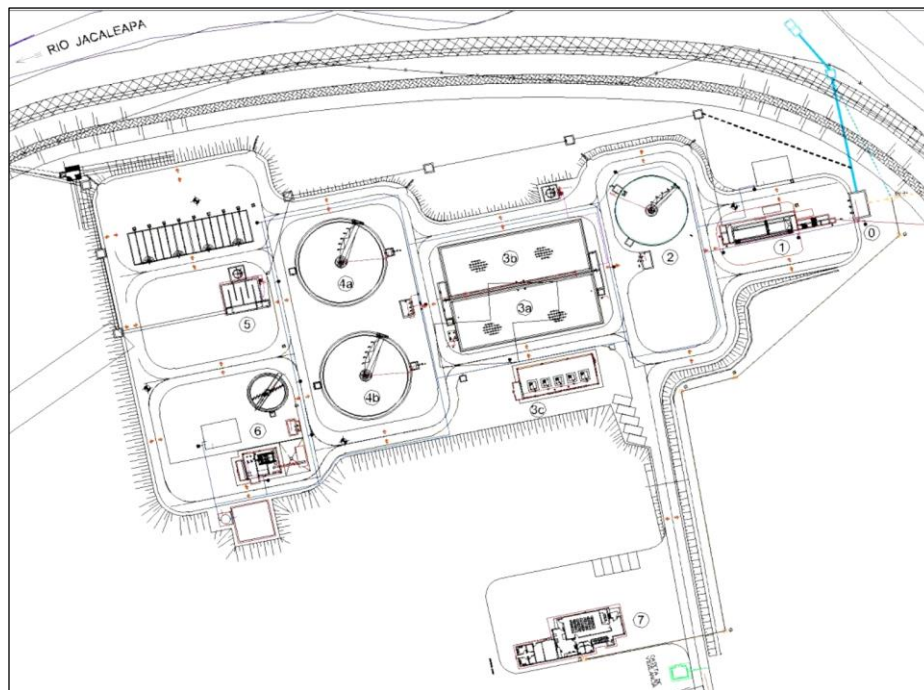
- Reducción del impacto de olores molestos: El proyecto de integración de las dos plantas, prevé la realización de un sistema de recolección y de tratamiento de las emisiones gaseosas producidas por los reactores anaeróbicos, que debido a la anómala concentración de sulfato podrían originar olores molestos

### 2.3 ASPECTOS BÁSICOS DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO

Se detallan a continuación los aspectos relevantes de las plantas San José de La Vega, y PRRAC-ASAN, de interés para el diseño de la planta integrada.

### 2.4 PLANTA SAN JOSÉ DE LA VEGA

En la Figura 2 está indicada la disposición de las obras de la planta depuradora San José de La Vega, diseñada por Galva S.p.a. en diciembre de 2001. En la Tabla 1 se detallan las características de sus componentes principales:



**Figura 2. Distribución de las obras de la planta San José de la Vega**  
Fuente: (SANAA, 2016)

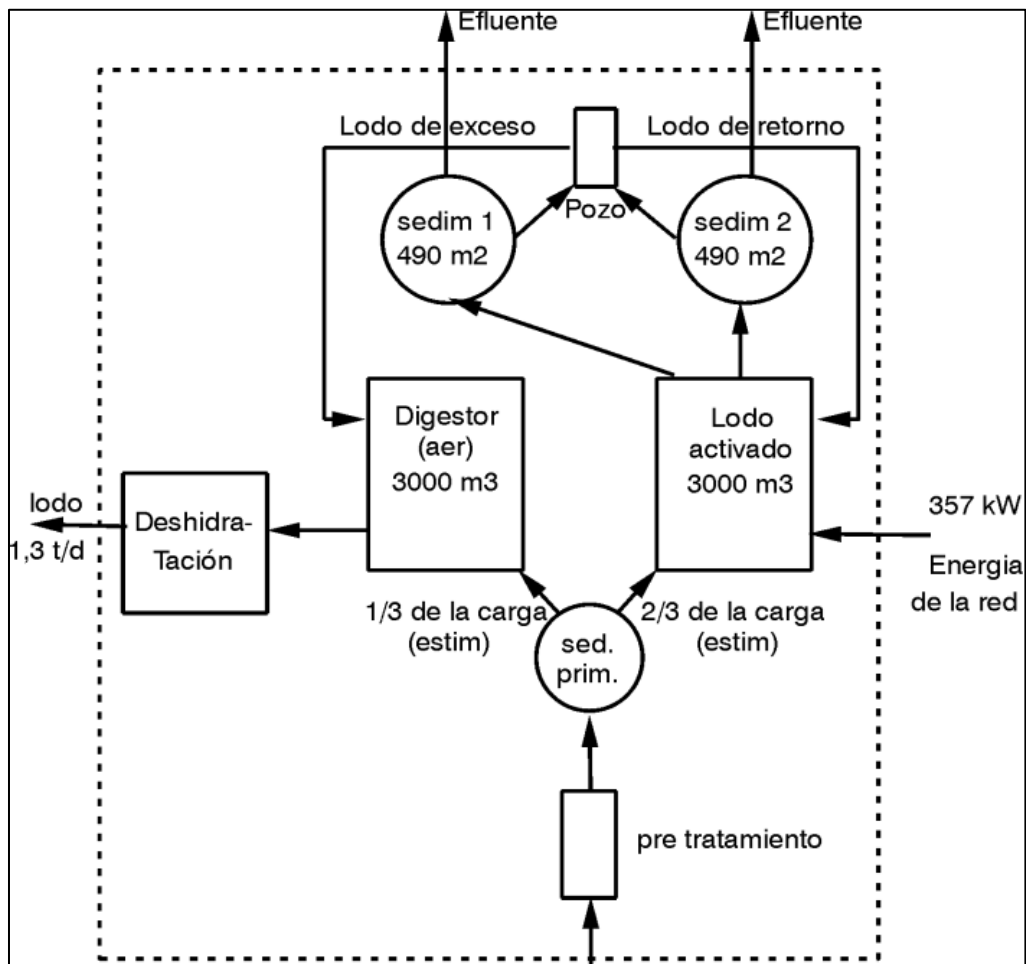
**Tabla 1. Componentes principales de la planta San José de la Vega**

Ítem	Componente	Características
0	Bombeo inicial	Q máx. 200 l/s – Qm = 100 l/s, es decir 100,000 hab.
1	Tratamiento primario	Comprende criba + desarenador/desgrasador. Diseñado para 400 l/s.
2	Sedimentación primaria	1 tanque de estructura circular D = 20 m, h = 3.50 m. Volumen ≈ 940 m <sup>3</sup> . Estaba prevista su duplicación para una futura ampliación de la planta.
3a	Tanque lodo activado	1 tanque de estructura rectangular L1= 40 m, b1= 15 m, h = 5.0 m. Volumen ≈ 3,000 m <sup>3</sup> . Concentración de lodo 3.5 kg/m <sup>3</sup>
3b	Digestor aeróbico de lodo	1 tanque airado similar al tanque de lodo activado. Funciona como digestor aeróbico de lodo. En una futura extensión de la planta se había previsto construir un nuevo digestor anaeróbico y el actual digestor aeróbico funcionará como tanque de lodo activado.
3c	Capacidad de aeración (compresores)	La capacidad máxima de aeración es aproximadamente de 154 kW por cada reactor (1 soplador de 103 kW + 1 de 51 kW). Existe un soplador de reserva también con la capacidad de 51 kW que puede alimentar, en caso de necesidad el uno u otro reactor, aumentando su capacidad de aeración a 205 kW
4a – 4b	Sedimentadores	2 tanques de estructura circular D = 25 m, h = 4.0 m. Área = 490 m <sup>2</sup> , Volumen ≈ 147 m <sup>3</sup> .
5	Clorador	Funciona con hipoclorito de sodio, tiene una capacidad de 150 m <sup>3</sup> .
6	Deshidratador	N=1 Prensa a banda, – capacidad 1.3 m <sup>3</sup> /h
7	Laboratorio y oficinas	

Fuente: (SANAA, 2016)

### 2.4.1 Esquema de flujo

El diagrama de flujo de la planta, está indicado en la siguiente figura: inicialmente, las aguas residuales ingresan a la planta de tratamiento por la tubería de recolección que está localizada aguas arriba del Río Jacaleapa, pasan a la etapa de pre-tratamiento en donde se remueven partículas y objetos de mayor tamaño, posteriormente el agua se conduce al sedimentador primario y después al tanque de lodos activados en donde comienza el proceso microbiológico, a continuación estos lodos pasan al digestor aerobio y permanecen aquí por un período de retención establecido, posteriormente pasan a los sedimentadores secundarios y finalmente el agua ya tratada se dispone en el río y los lodos pasan a los lechos de secado.



**Figura 3. Esquema de flujo de la planta San José de la Vega**

Fuente: (SANAA, 2016)

Con la entrada en funcionamiento de planta depuradora del proyecto PRRAC-ASAN, para aprovechar de las posibilidades de sinergia entre las dos plantas, se ha realizado una interconexión de la línea lodo.

Las dos plantas tienen en común la línea de tratamiento del lodo aeróbico; en el diseño inicial se había previsto la conducción del lodo aeróbico en exceso de las dos plantas hacia los reactores RAFA<sup>2</sup> del PRRAC para su digestión anaeróbica. Sucesivamente para asegurar una mayor estabilidad del proceso de la planta PRRAC-ASAN, se construyeron obras adicionales para estabilizar el lodo aeróbico en exceso de las dos plantas en una unidad independiente de los reactores RAFA. La nueva unidad de estabilización del lodo aeróbico está constituida por las siguientes instalaciones:

- Un nuevo pre-espesador (obra adicional de la planta PRRAC-ASAN).
- El digestor aeróbico de la planta San José de la Vega.
- Un post-espesador constituido por el espesador existente de la planta San José de la Vega.

Con la construcción de la planta PRRAC-ASAN se ha realizado también una conexión entre el deshidratador de la planta San José de La Vega y los dos deshidratadores de la planta PRRAC-ASAN para constituir un sistema único de deshidratación.

#### 2.4.2 Esquema de by - pass

La planta depuradora San José de La Vega tiene 3 niveles de by pass:

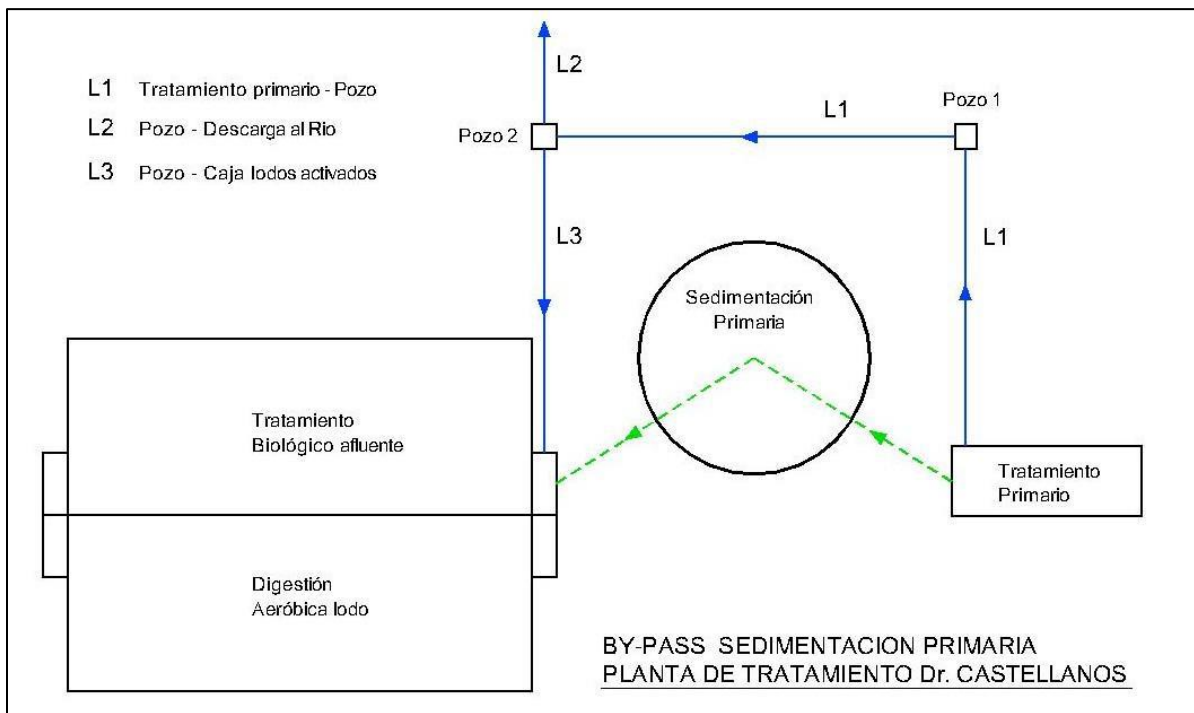
- By pass desde el pozo de bombeo: Permite descargar el afluente en el río San José sin tratamiento, evitando todas las instalaciones de la planta depuradora. La capacidad del by pass es de 400 l/s equivalente al máximo caudal que puede transitar en el alcantarillado

---

<sup>2</sup> Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente

en ocasión de eventos de lluvia. Este by pass no cuenta con órganos de regulación, y es activado automáticamente cuando el nivel hídrico del pozo supera la cota del vertedero puesto a 948.50 msnm, lo que ocurre en las siguientes situaciones:

- El afluente en ingreso supera la máxima capacidad de las bombas (200 l/s).
  - Interrupción del bombeo o bombeo parcializado.
- By pass desde el tratamiento primario: Considera el by pass del sedimentador primario. De acuerdo al esquema indicado en la Figura 4, el afluente es conducido al pozo P2, de donde es posible la alimentación del reactor a lodo activado o alternativamente la descarga del afluente en el río San José. El by pass, diseñado para un caudal de 200 l/s, viene regulado por compuerta a comando manual.



**Figura 4. Esquema de by pass desde el tratamiento primario**

Fuente: (SANAA, 2016)

Desde el tratamiento primario el afluente es conducido a través de la línea L1 al pozo 2, de donde puede ser descargado en el río a través la línea L2, o conducido al reactor a lodo activado a través la línea L3.

- El by pass del sedimentador con conducción al reactor a lodo activado puede ser efectuado cuando haya mal funcionamiento del mismo o cuando la carga orgánica en ingreso tiene valores inferiores a los de proyecto. La descarga en el río a través de la línea L2 es efectuada solamente en caso de mal funcionamiento del reactor.
- By pass desde la caja de alimentación del reactor a lodo activado: Permite descargar el afluente en el río San José, después del tratamiento primario y de la sedimentación primaria sin efectuar tratamientos biológicos.

#### 2.4.3 Sistema de telecomando y telecontrol

El sistema de tele comando y telecontrol se basa en el programa SCADA versión 9.1 y utiliza un PLC MOVICOM 9 Millenium. El sistema en estos momentos presenta problemas con los dispositivos de interface en el sitio, sin embargo, se pueden observar y ajustar de manera centralizada.

#### 2.4.4 Potencias instaladas y generador auxiliar

La potencia de los equipos electromecánicos de la planta San José de La Vega (492 kW), está servida por la ENEE mediante un transformador de 750 KVA/480 Voltios. En caso de fallas del suministro normal, la energía es suministrada por un generador de emergencia diésel de 568 KVA.

**Tabla 2. Potencia instalada de equipos en Planta San José de la Vega**

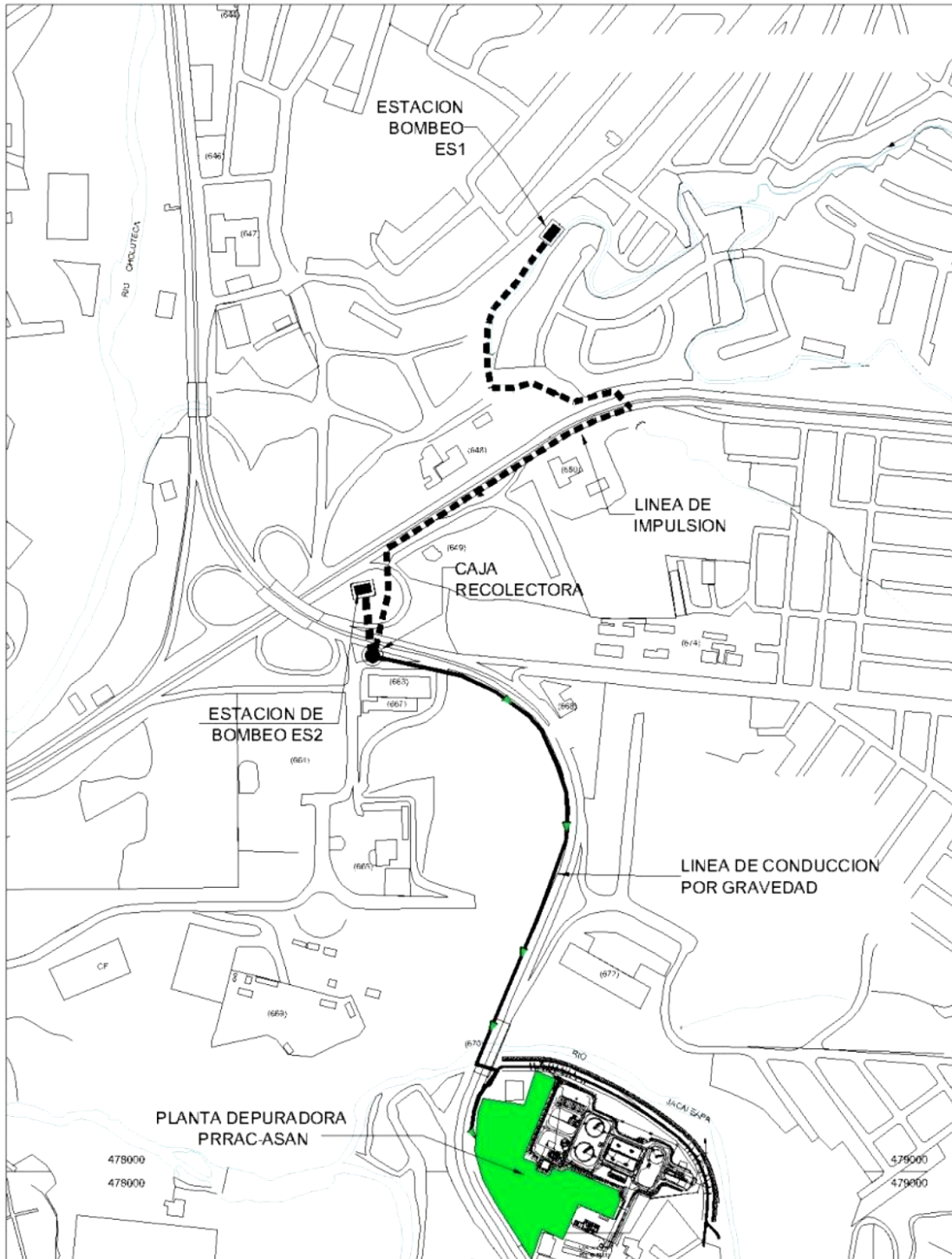
Equipo	Potencia
Equipo bombeo inicial	44.00
Tratamiento primario	3.12
Bombeos primario	13.00
Sedimentador primario	1.10
Lodo activado	359.00
Sedimentación final	18.10
Bombas lodo	6.00
Deshidratación	27.10
Agua potable, oficina y varias	20.40
Total potencia instalada	491.82

Fuente: (SANAA, 2016)

## 2.5 PLANTA PRRAC-ASAN

### 2.5.1 Componentes de la planta depuradora PRRAC-ASAN

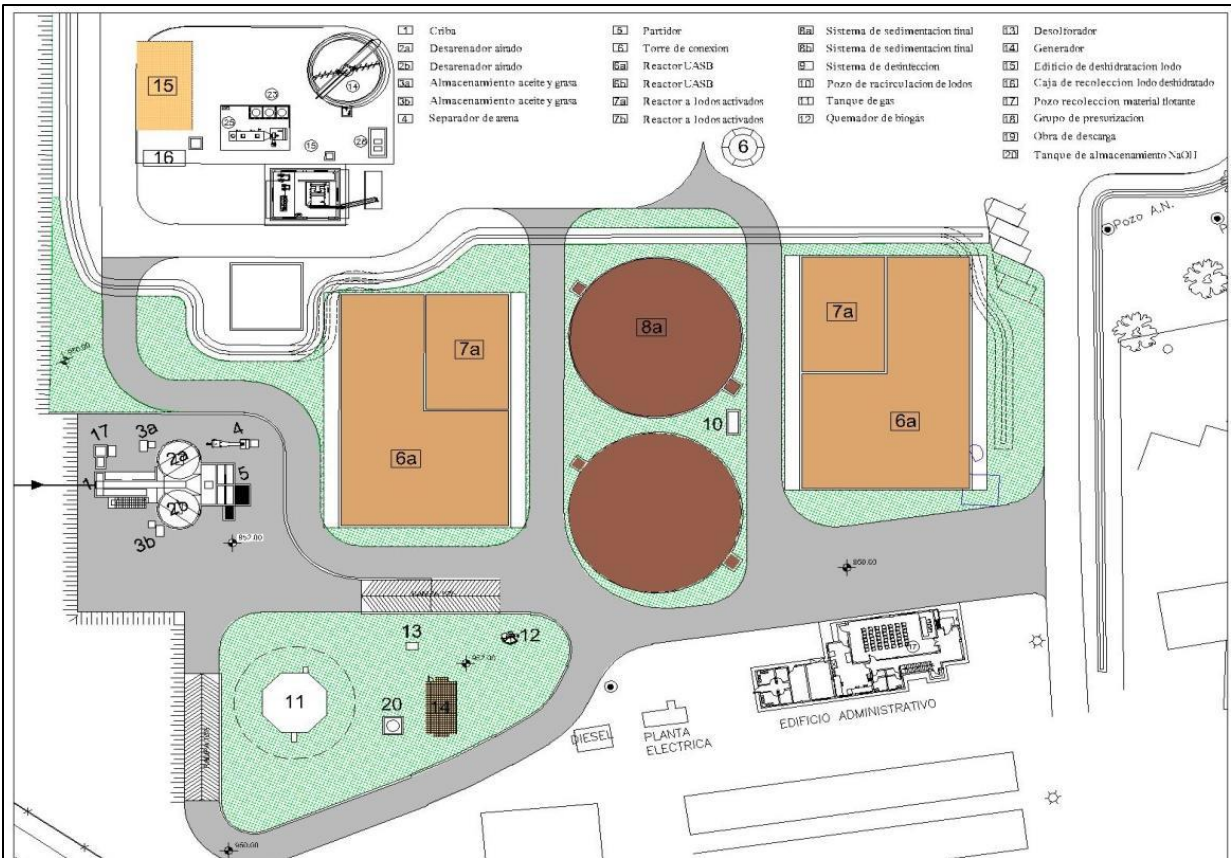
El afluente viene conducido a la planta depuradora por las dos estaciones de bombeo indicadas en el esquema de Figura 5. Al principio de la tubería de conducción, las aguas residuales son impulsadas por bombas en dos estaciones de bombeo diferentes y se recogen en una caja recolectora, posteriormente por efecto de gravedad se conducen hacia la planta de tratamiento en donde se puede recibir hasta un caudal máximo de 800 m<sup>3</sup>/h.



**Figura 5. Ubicación de la planta y de las estaciones de bombeo**  
Fuente: (SANAA, 2016)



En la Figura 6 se muestra la disposición de las obras de la planta depuradora PRRAC-ASAN. Aquí las aguas residuales ingresan en la etapa de pre-tratamiento en donde se separan las partículas más grandes, después el caudal pasa a la torre de distribución que distribuye los lodos a los reactores anaerobios de flujo ascendente, posteriormente los lodos pasan a los sedimentadores, después a tratamiento de cloro y finalmente a la deshidratación de los lodos en donde el efluente se dirige hacia el río y los lodos a los lechos para su disposición final.



**Figura 6. Distribución de las obras de la planta PRRAC-ASAN**

Fuente: (SANAA, 2016)

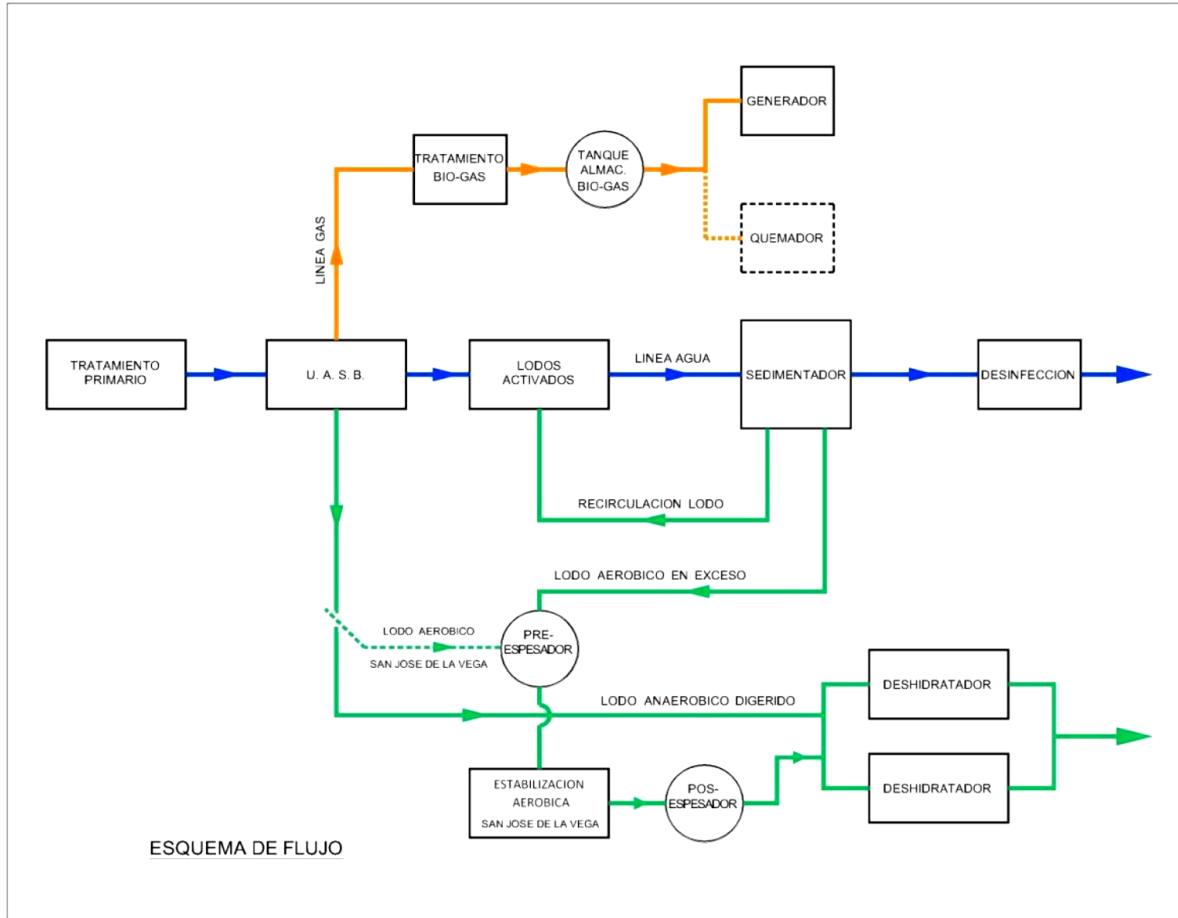
En la Tabla 3 se detallan las características de sus componentes principales.

**Tabla 3. Componentes principales de la planta PRRAC-ASAN**

Componente	Características
Estaciones de bombeo	La estación n.1, Q máx. = 92.80 l/s y TDH = 39.98 m, está constituida por tres bombas de potencia 52 kW. La estación n. 2, Q máx. = 307.20 l/s y TDH = 14.70 m, está constituida por tres bombas de potencia 52 kW.
Tratamiento primario	Comprende criba + desarenador/desgrasador. Diseñado por 700 l/s
Torre de distribución	Reparte en los 2 reactores UASB el afluyente del tratamiento primario y el lodo aireado en exceso de las plantas PRRAC-ASAN y San José de la Vega. El repartidor está diseñado para alimentar también un nuevo reactor UASB a construirse en fase de integración.
Reactores RAFA	2 unidades de 3725 m <sup>3</sup> . Cada una está en un módulo biológico de aproximadamente 5,000 m <sup>3</sup> de los cuales 1,200 m <sup>3</sup> destinados al reactor a lodo activado. El reactor UASB también efectúa la digestión anaeróbica del lodo biológico.
Tanque lodo activado	N. 2 unidades de 1,200 m <sup>3</sup> . Cada una está en un módulo biológico de aproximadamente 5,000 m <sup>3</sup> de los cuales 3,725 m <sup>3</sup> destinados al reactor a lodo activado
Capacidad de aeración.	Dispone de 2 compresores de 52 KW, En alternativa puede recibir aire desde el sistema de aeración de la planta San José de la Vega.
Sedimentadores	N = 2. Estructura circular D = 25 m, h = 4.0 m. Área = 490 m <sup>2</sup> , Volumen ≈ 147 m <sup>3</sup> .
Clorador	Funciona con cloro gas. El tanque de cloración tiene una capacidad de 450 m <sup>3</sup> .
Deshidratador	2 deshidratadores a filtro prensa – capacidad 1.3 m <sup>3</sup> /h. A estos será conectado el deshidratador a prensa a banda de la planta de la Cooperación Italiana.

Fuente: (SANAA, 2016)

El proceso de depuración de esta planta es de tipo híbrido y comprende un tratamiento anaerobio en reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), seguido por un post-tratamiento aerobio, en reactores a lodo activado. En la Figura 7 podemos observar el diagrama de flujo que la planta tiene establecido.



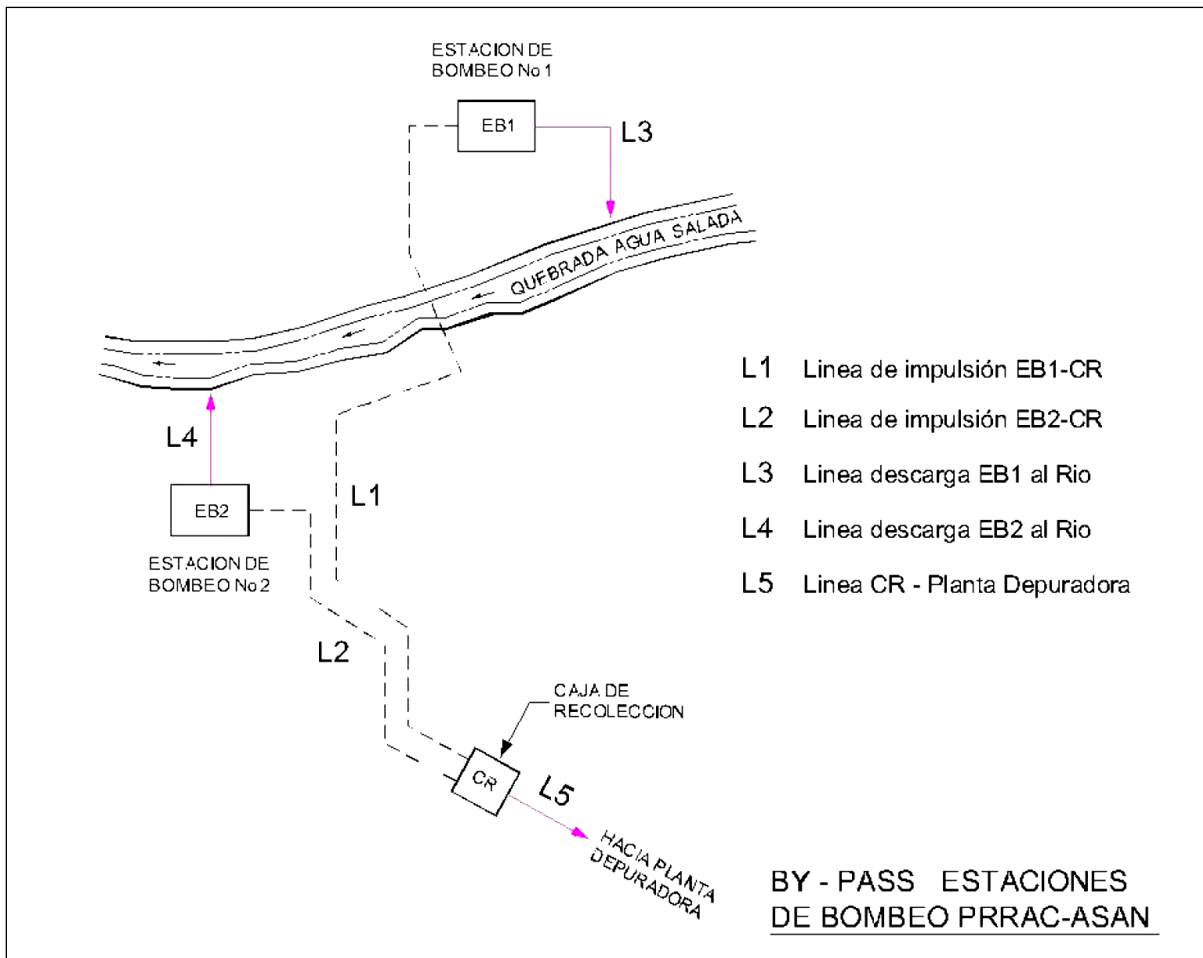
**Figura 7. Diagrama de flujo de planta PRRAC-ASAN**

Fuente: (SANAA, 2016)

### 2.5.2 Esquema de by - pass

La planta depuradora PRRAC-ASAN tiene tres niveles de by pass:

- By pass desde las estaciones de bombeo: Los by pass desde las estaciones de bombeo permiten la descarga del afluente en el río, sin que sea conducido a la planta depuradora. No cuentan con órganos de regulación y funcionan automáticamente cuando los niveles hídricos del pozo de bombeo superan la cota de los vertederos de descarga.



**Figura 8. Esquema by pass desde las estaciones de bombeo**

Fuente: (SANAA, 2016)

- La activación de los by pass con las bombas en funcionamiento se necesita cuando, por aporte de aguas de lluvia, el caudal en ingreso supera la máxima capacidad de bombeo o, cuando el bombeo es interrumpido. Se prevé interrupción de bombeo en las siguientes situaciones:
  - Mal funcionamiento de algunas componentes de la planta depuradora que requiere el fuera de servicio de la misma. El bombeo viene interrumpido de forma manual por el operador.

- Dificultad de descarga del efluente tratado en el río San José, cuando el nivel de crecida del mismo río se acerca a cota 948 msnm. El bombeo viene interrumpido de forma automática.
- Presencia en el afluente en ingreso a la estación ES 1 de contaminantes de origen industrial que impiden el correcto funcionamiento de los reactores biológicos El bombeo de la estación ES 1 viene interrumpido de forma automática de acuerdo a la medición de los valores de PH del afluente en ingreso en el pozo de bombeo.
- By - pass del reactor anaeróbico: El by pass del reactor anaeróbico es activado por medio de la operación manual de las compuertas ubicadas en el canal de alimentación de dicho reactor y permite la alimentación directa del reactor a lodo activado, con el afluente proveniente del tratamiento primario.
- By - pass del reactor aeróbico: Es activado por medio de la operación manual de las compuertas ubicadas en el canal de alimentación del reactor aeróbico y descarga en el río el efluente tratado en el reactor anaeróbico by pasando el reactor aeróbico, los sedimentadores y el sistema de cloración. Este by pass puede ser utilizado en caso de fuera de servicio del reactor aeróbico y/o de los sedimentadores.

### 2.5.3 Sistema de telecomando y telecontrol

Este sistema se basa en el programa SCADA y utiliza un PLC GE FANUC serie 90tm – 30. Además del control de las instalaciones de la planta depuradora, el sistema de tele comando y telecontrol también monitorea las estaciones de bombeo, la medición en continuo de los niveles de crecida del río San José y los valores del pH del afluente en ingreso a la estación de bombeo No.1.

#### 2.5.4 Potencias instaladas

Grupo electrógeno: Está constituido por un generador Caterpillar G3412 de 313 kW un factor de potencia de 0.8. Este grupo operará en paralelo con el sistema eléctrico público (ENEE) por medio de un banco de transformadores de 3 x 100 KVA.

#### 2.6 CARACTERÍSTICAS DEL AFLUENTE EN INGRESO A LA PLANTA

En la siguiente tabla se indican las características observadas del afluente en ingreso a la planta depuradora PRRAC-ASAN.

**Tabla 4. Características del sustrato que ingresa a la planta PRRAC-ASAN**

Parámetros	Valores observados
Población atendida (hab)	80,000
Q sanitario medio (m <sup>3</sup> /día) sin lluvia	9,100*
Carga DBO total (kg/día)	2,730
Concentración media DBO (mgO <sub>2</sub> /l)	300
Carga DQO (kg/día)	6,000
Concentración media DQO(mgO <sub>2</sub> /l)	600
Carga N-NKT (kg N/día)	450
Concentración N-NKT (mg N/l)	45
Carga de Fósforo (kg P/día)	60
Concentración de P (mg P/l)	6.6
Sulfatos (mg SO <sub>4</sub> /l)	150-250

Fuente: (SANAA, 2016)

## 2.7 MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL

En Honduras los sistemas de agua y saneamiento están regidos por un marco jurídico que tiene por objeto disminuir la contaminación de los ríos, quebradas o cualquier cuerpo receptor en dónde se disponen aguas tratadas de todo tipo y velar por el bienestar de los habitantes.

A continuación, se enumera la normativa vigente:

- Ley marco del sector de agua potable y saneamiento, Decreto 118-2003
- Ley de municipalidades, Decreto 134-90, con sus reformas: Decretos 48-91 y 127-2000
- Ley de ordenamiento territorial de Honduras, Decreto 180-2003
- Ley general del ambiente, Decreto 104-93
- Ley forestal, áreas protegidas y vida silvestre, Decreto 98-2007
- Ley general de aguas, Decreto 181-2009
- Norma técnica de la descarga de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario, acuerdo No. 058 de la Secretaría de Salud, abril de 2009
- Ley de promoción a la generación de energía eléctrica con recursos renovables, decreto 70-2007 y su reforma en el decreto 138-2013

Para la aplicación de estas leyes y sus respectivos reglamentos existen diferentes instituciones estatales, municipales y de carácter no gubernamental que destinan sus recursos económicos y humanos a la protección del agua y al desarrollo de los sistemas de saneamiento que la población requiere para su bienestar, algunas de estas instituciones son las siguientes:

### 2.7.1 Secretaría de Salud

Esta secretaría rige sus actividades de acuerdo a lo establecido en la Ley General de Administración Pública y una de sus obligaciones es: realizar el control sanitario de los sistemas de tratamiento, conducción y suministro de agua para consumo humano. Asimismo, debe realizar el control de los sistemas de alcantarillado, manejo y/o disposición de excretas, manejo de aguas lluvias y aguas servidas.

### 2.7.2 Mi Ambiente

Esta institución del gobierno le corresponde la formulación y ejecución de políticas públicas orientadas a la protección y aprovechamiento de los recursos hídricos y a la conservación del medio ambiente, que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de la población. Esta secretaría trabaja en conjunto con las autoridades municipales a través de las Unidades Municipales Ambientales (UMAs).

### 2.7.3. CONASA

Es el Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento, fue creado en 2003 con la aprobación de la Ley Marco del Sector Agua Potable y Saneamiento y su finalidad primordial es ser el representante oficial del gobierno en lo referente a los temas de agua potable y saneamiento, adicionalmente, velar por la aplicación de la Ley Marco y su Reglamento y contribuir con el fortalecimiento y modernización del sector.

### 2.7.4 SANAA

El Servicio Nacional de Acueductos y Alcantarillados fue creado en 1961 bajo dependencia de la Secretaría de Salud, actualmente es una institución descentralizada encargada de la operación y administración de los sistemas de agua potable, alcantarillado y saneamiento en el país, sin embargo, según lo establecido en la Ley de Municipalidades todas estas responsabilidades pasarán



a las autoridades locales y a la comunidad, siempre bajo el apoyo del SANAA con asesorías, estudios y demás acciones que garanticen un servicio de calidad a la población. Cabe señalar, que en varios municipios del país los sistemas de agua y saneamiento ya funcionan de esta manera a través de juntas de agua o concesiones a empresas privadas que administran estos servicios.

#### 2.7.5. Prestadores de servicio

Estas son instituciones competentes, las cuales obtienen una autorización o concesión para brindar el servicio de agua potable y/o saneamiento en un término municipal, son generalmente de capital privado y trabajan para entregar un servicio de calidad, realizando estudios para lograr un mayor alcance en la población, asimismo para conservar las cuencas que abastecen las comunidades.

### CAPÍTULO III. METODOLOGÍA

Esta investigación es de carácter experimental y se esperan obtener resultados a partir de la realización de un ensayo que muestre qué tan apto es el sustrato del que se dispone en la planta de tratamiento. El ensayo es sobre la Actividad Metanogénica Específica (AME) que tiene el lodo primario, ya que a partir de esta etapa del proceso se implementaría un proceso microbiológico anaerobio y veríamos el potencial de la planta para la producción de energía eléctrica.

La actividad metanogénica específica del lodo se define como la cantidad de sustrato convertido a metano por unidad de masa de lodo por unidad de tiempo y se expresa como:

$$ACH4 = gCH4 - DQO / gSSV.d \quad (1)$$

donde:

$gCH_4$  = gramos de metano

DQO = demanda química de oxígeno

$gSSV.d$  = gramos de sólidos suspendidos volátiles al día

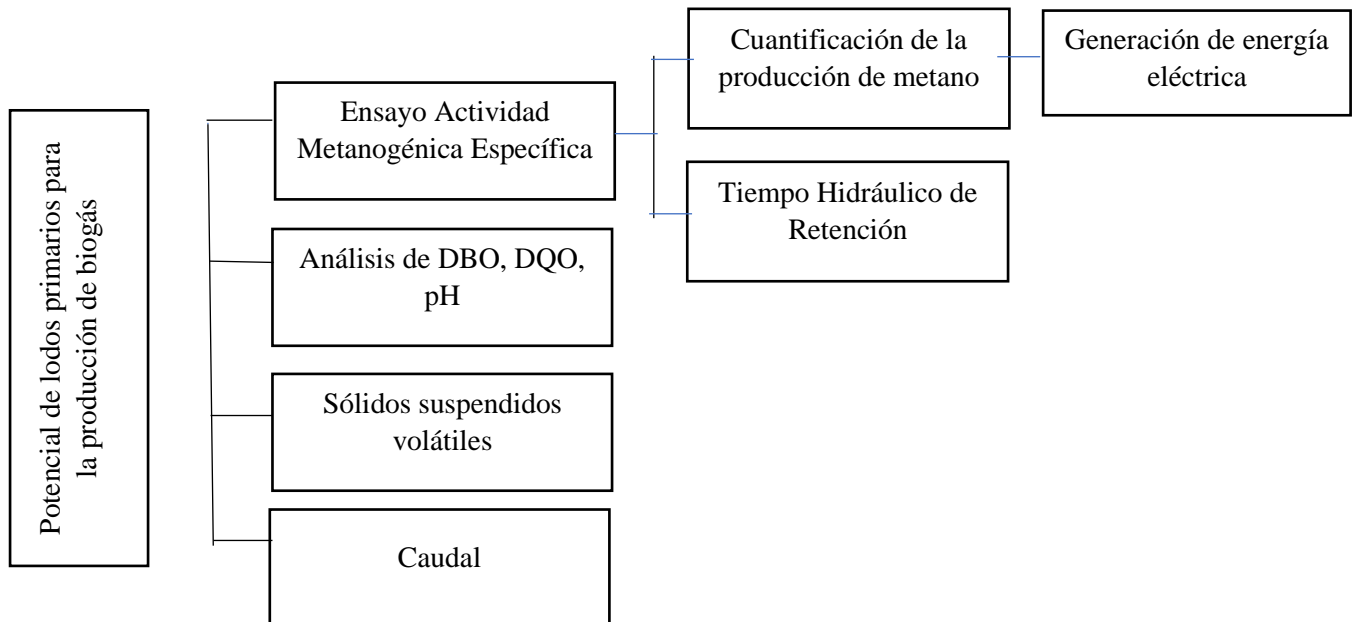
El resultado de esta prueba aportará un criterio más para seleccionar la fuente del inóculo y estimar la carga orgánica inicial que puede aplicarse al reactor. Este análisis permite conocer la capacidad de transformación de la materia orgánica a metano y la “salud” del lodo dentro del reactor.

La cuantificación de volumen de gas producido, se determina mediante el desplazamiento de un líquido. El inicio de la producción de biogás, depende del lodo utilizado, aunque generalmente en las primeras seis horas del experimento, no se detecta biogás debido a que se establece un período de adaptación de los microorganismos al exceso de ácido acético y también a que debe alcanzarse un equilibrio entre la fase líquida y gaseosa del recipiente.

La tasa máxima de producción de metano se obtiene a partir de la pendiente máxima de la curva de producción del gas durante el período de incubación de la muestra y que corresponda al consumo mínimo de 50 % del sustrato añadido (Aquino et al., 2007).

El PBM, como AME, mide la digestibilidad anaerobia de un sustrato reportada como  $L$   $CH_4/gSSV.día$ ; dicho modelo se fundamenta en el modelo cinético de Monod (1950) que asume la tasa de crecimiento de una colonia de bacterias afectada por un sustrato limitante que se acaba por efecto de saturación. Los efectos de saturación se desprecian y la tasa de crecimiento bacteriana es proporcional a la formación del producto final, metano (Moody, Burns, Wu-haan, & Robert, 1996; Borja, Martín, Duran, & Duran, 1992).

Durante el desarrollo del ensayo se tomaron cuatro muestras en diferentes fechas con el fin de obtener datos con un alcance mayor y poder observar una tendencia que permita ver las características favorables del sustrato, en determinadas épocas del año.



**Figura 9. Flujograma de la metodología**

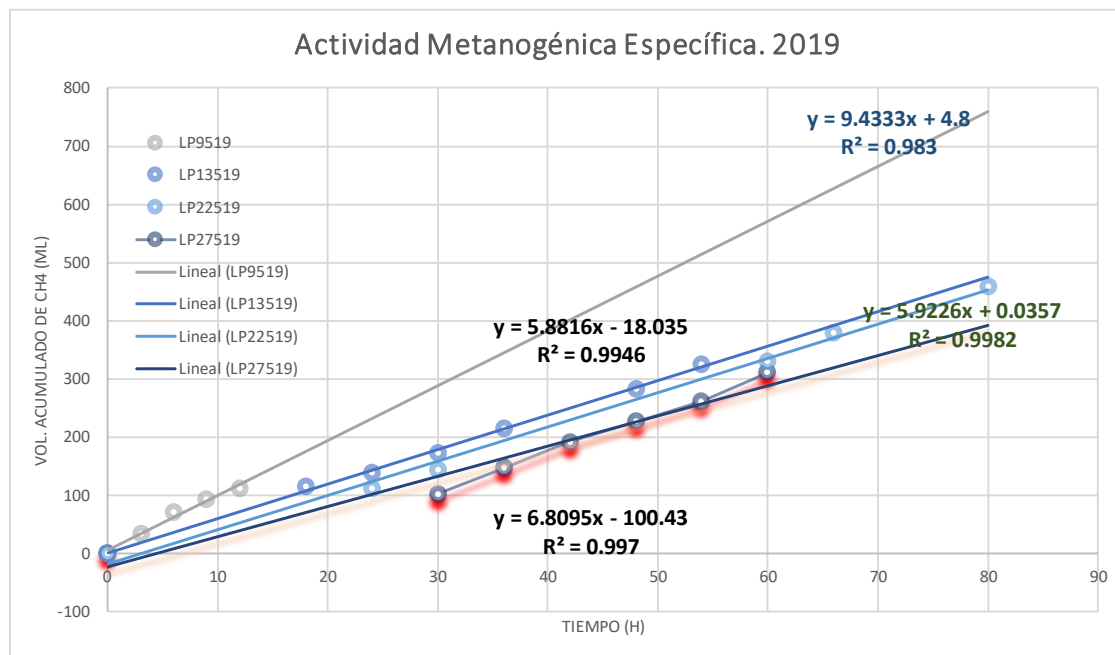
## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez que se han completado las cuatro muestras de lodos primarios que se han analizado se obtuvieron los siguientes resultados. Las muestras fueron tomadas en el mes de mayo de 2019, con la particularidad que la muestra No. 1 fue tomada cuando no se habían presentado lluvias sobre la ciudad capital, por lo tanto, presenta un resultado más favorable ya que las precipitaciones diluyen la concentración del sustrato.

**Tabla 5. Valores obtenidos de Actividad Metanogénica Específica**

Muestra	Fecha	AME (gDQO / gSSV día)
1	9/5/2019	0.261
2	13/5/2019	0.164
3	22/5/2019	0.163
4	27/5/2019	0.143

Fuente: (Laboratorio GEODIVH, 2019)



**Figura 10. Gráfico de Actividad Metanogénica Específica**

Fuente: (Laboratorio GEODIVH, 2019).

Los resultados obtenidos en los diferentes análisis nos arrojan datos alentadores ya que los valores de AME alcanzados son mayores a 0.1 y superan lo esperado para este tipo de sustrato, por lo que la producción de biogás sería suficiente para la operación del generador con el que se cuenta en las instalaciones de la planta PRRAC-ASAN.

Para cuantificar la generación de energía haremos el siguiente cálculo:

Datos:

$$\text{mLCH}_4/\text{gSSV día} = 79.15$$

$$\text{SSV} = 28,749.25 \text{ mg/L}$$

$$\text{Volumen del digester anaerobio} = 1,800 \text{ m}^3$$

Biomasa alojada en digester (SSV):

$$28.749 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 1,800 \text{ m}^3 = 51,750 \text{ Kg} \quad (2)$$

CH4 obtenido:

$$79.15 \text{ L} * 51,750 \text{ Kg} = 4,096,012.5 \text{ L/Kg} \quad (3)$$

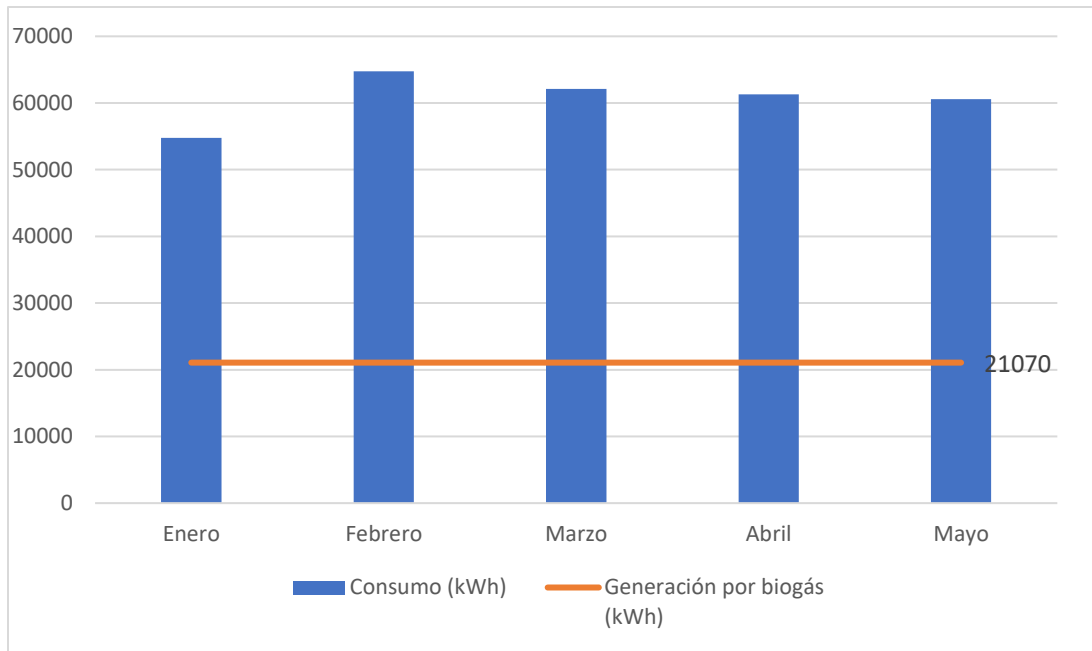
$$(4,096,012.5 \text{ L/Kg}) / (1,000 \text{ L/Kg} * \text{m}^3) = 4,096 \text{ m}^3 \quad (4)$$

Energía eléctrica generada con eficiencia del motor de 30%:

$$\left(10.86 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}\right) * (4,096 \text{ m}^3) * (0.3) = 13,344.8 \text{ kWh} \quad (5)$$

Esta energía representa un 25% del consumo mensual de la planta de tratamiento.

Esta generación se produce en el tiempo de retención hidráulica (TRH) que el sustrato permanece en el biodigester anaeróbico, el cual es de 19 días.



**Figura11. Gráfico de Consumo y Generación de Energía.**  
Fuente: (SANAA, 2019).

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de la Actividad Metanogénica Específica, cuyos resultados fueron mayores a 0.1, podemos afirmar que el potencial energético que posee este sustrato es aceptable y por lo tanto es viable la producción de biogás para la generación de energía eléctrica.
2. Según los cálculos efectuados se podría generar la cantidad de 21,070.7 kWh al mes, lo que representa alrededor de un 38% de la demanda de energía eléctrica requerida.
3. Una ventaja importante de estos sistemas de saneamiento es que permite la incorporación de sustrato adicional en la fase de tratamiento primario, aumentando de esta manera el potencial energético. Por ejemplo, aguas residuales de fosas sépticas o de plantas de procesamiento de carnes o rastros.
4. Una de sus desventajas si se considera la construcción de estos sistemas de saneamiento en zonas urbanas, es la emisión de malos olores. Otro problema importante es la producción del ácido sulfhídrico ( $\text{SH}_2$ ) en el biogás, el cual causa la corrosión de los equipos.
5. Los lodos resultantes del proceso de tratamiento anaerobio pueden ser utilizados para fines agrícolas como abono para el mejoramiento de los suelos en diferentes cultivos. Por otro lado, el caudal de agua tratada que se vierte al cuerpo receptor puede tener un uso alternativo para el riego de áreas verdes de la comunidad.
6. En la temporada seca del año se puede obtener mayor producción de biogás ya que las condiciones climáticas de temperatura y humedad favorecen la actividad microbológica en el

sustrato, a diferencia de la temporada lluviosa en dónde se presenta mayor contenido de agua que diluyen la concentración de los lodos.

7. Con el fin de aumentar la producción de biogás se pueden utilizar sustancias químicas como el ácido acético y el incremento de la temperatura en el biodigestor que aceleren la descomposición del sustrato y por lo tanto disminuir el Tiempo de Retención Hidráulico mejorando la eficiencia del sistema de tratamiento.



## **Recomendaciones**

1. Tomar todas las acciones pertinentes para poner en funcionamiento la planta PRRAC – ASAN de proceso anaerobio, utilizar el biodigestor para la producción de biogás que sirva de combustible para el sistema cogenerador.
2. Prescindir del uso de los reactores anaerobios de flujo ascendente ya que presentan fugas en las tuberías de recolección de biogás.
3. Para obtener un mayor volumen de producción de biogás, se requiere la incorporación al proceso anaerobio de otro tipo de sustratos como ser de origen animal y alimenticios.

## BIBLIOGRAFÍA

Calixto, R., Hernández, V., & Herrera, L. (2012). *Ecología y Medio Ambiente* (1.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <https://bibliotecavirtual.cengage.com/books/172-ecologia-y-medio-ambiente>

Carta González, J. A. (2012). *Centrales de energías renovables* (2.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <https://www.biblionline.pearson.com/Pages/BookRead.aspx>

De Juana, J. M. (2009). *Energías Renovables para el desarrollo* (1.<sup>a</sup> ed.). España.

*Guía hacia un futuro energético sustentable para las Américas*. (2016). Recuperado el 8 de febrero de 2019 de [https://ianas.org/docs/books/Guia\\_hacia\\_un\\_futuro.html](https://ianas.org/docs/books/Guia_hacia_un_futuro.html)

Barnes, G. E. (1967). *Tratamiento de Aguas Negras y Desechos Industriales* (1.<sup>a</sup> ed.). México.

Gabriel, D., & Sierra, H. (2017). *Purificación y usos del biogás* (1.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <https://search.proquest.com/docview/2136043296/B49AFDD1559241AEPQ/1?accountid=35325>

José Ferrero H. (1974). *Depuración Biológica de las Aguas* (1.<sup>a</sup> ed.). Honduras

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 de <http://www.bdigital.unal.edu.co/1915/>

SANAA. (2004). *Normas de diseño para alcantarillado sanitario, alcantarillado pluvial y tratamiento de aguas residuales*.

Ferrer Polo, J., Seco Torrecillas, A., & Robles Martínez, Á. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales* (3.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5635057>

- Solera del Río, R. (2014). *Aspectos biológicos de la digestión anaeróbica II.2*. Recuperado de <http://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtual-ebooks/detail.action?docID=4849931>
- C. Li, P. Champagne, and B.C. Anderson, (2013). *Biogas production performance of mesophilic and thermophilic anaerobic co-digestion with fat, oil, and grease in semi-continuous flow digesters: effects of temperature, hydraulic retention time, and organic loading rate*. *Environmental Technology*, vol. 34, no. 13—16, pp. 2125—33, 2013.
- Weber, B., Oropeza, M.R., Bernal, M., & González, L. (2012). *Producción de Biogás en México, estado actual y perspectivas*. Recuperado de <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/12/CT5.pdf>
- Canales, R. J. (2011). *Producción de biogás a partir de aguas residuales y residuos agrícolas*. Recuperado de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/404/1/IAD-2011-T007.pdf>
- Varnero, M. T. (2011). *Manual de biogás*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/as400s/as400s.pdf>
- Hernández, E., Samayoa, S., Álvarez, E., & Talavera, C. (2012). *Estudio sobre el potencial de desarrollo de iniciativas de biogás a nivel productivo en Honduras*. Recuperado de <https://www.undp.org/content/dam/honduras/docs/publicaciones/EstudioBiogas.pdf>
- Mantilla, G., Sandoval, L., Ramírez, E., Gasca, S., Navarro, J., Hernández, N., García, J., Esquivel, A., & Calderón, C. (2017). *Energía limpia del agua sucia: aprovechamiento de lodos residuales*. Recuperado de [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/energia-limpia/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/energia-limpia/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

- Pérez Pariente, J. (2016). *Biocombustibles* (1.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=4870617>
- Ochoa Miranda, M. (2018). *Gestión integral de residuos*. (2.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5486754>
- García Garrido, S. (2018). *Cogeneración: diseño, operación y mantenimiento de plantas de cogeneración*. (1.<sup>a</sup> ed.). Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=5425997>
- Castells, X. E. (2012). *Biomasa y bioenergía*. Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bvunitecvirtualsp/detail.action?docID=3201239>
- Buchauer, K., Vásquez, V., Nolasco, D., & Pramanik, A. (2014). *Generación de energía en plantas de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de [https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/2015/ANEAS\\_PRESENTACIONES2014/Presentaciones%20C%20y%20T/12%20Taller%20Sinergias%20Banco%20Mundial/ANEAS%202014%20W2E.pdf](https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/infraestructurahidraulica/2015/ANEAS_PRESENTACIONES2014/Presentaciones%20C%20y%20T/12%20Taller%20Sinergias%20Banco%20Mundial/ANEAS%202014%20W2E.pdf)

## ANEXOS



**Anexo 1.** Vista área de Plantas de Tratamiento San José de La Vega y PRRAC-ASAN



**Anexo 2.** Tratamiento primario y sedimentador



**Anexo 3.** Análisis de pH de lodo primario



**Anexo 4.** Toma de muestra de lodo primario



**Anexo 5.** Decantación de lodos primarios



**Anexo 6.** Separación de SSV para ensayo de AME



**Anexo 7.** Medición de volumen de SSV para ensayo AME



**Anexo 8.** Reactivos para ensayo AME

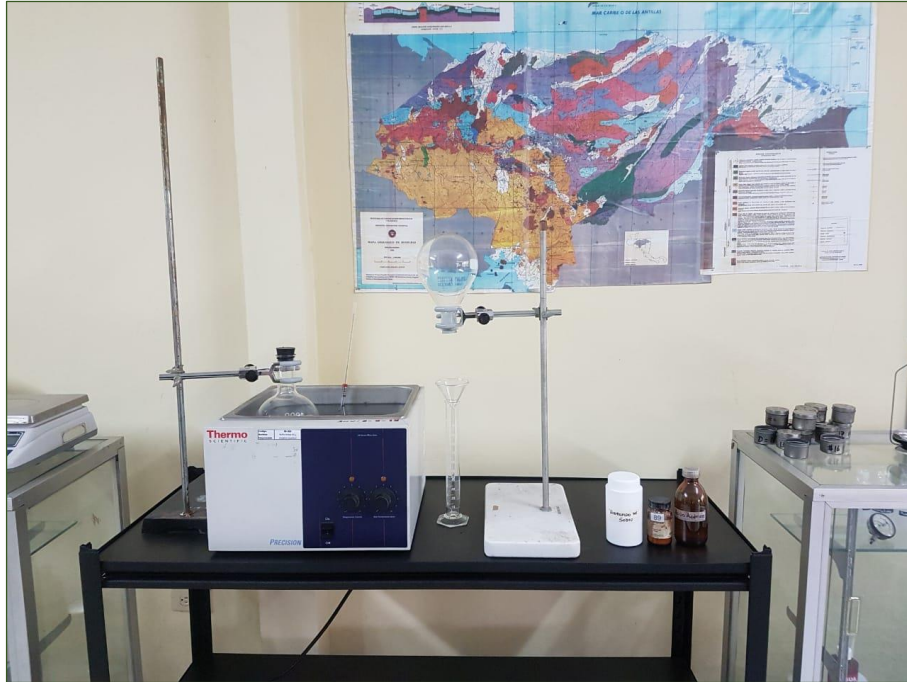




**Anexo 9.** Preparación de muestra para ensayo AME



**Anexo 10.** Preparación de muestra para ensayo AME



**Anexo 11.** Equipo de laboratorio, cristalería y materiales para ensayo AME



**Anexo 12.** Montaje del ensayo Actividad Metanogénica Específica

## Inventario de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Honduras

Nº	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
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	Copán	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

Nº	Localidad	Departamento	Población Servida	Tecnología Usada
38	Playas Marias, 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	Moroceli	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 Paraiso	Trojes	4,800	LF
46	El Zamorano	Francisco Morazán	800	IMHOFF
47	Sabanagrande	Francisco Morazán	1,500	IMHOFF
48	Valle de Angeles	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, Comavagtiela.	Francisco Morazán	400	RAFA
65	Col Cruz Roja, Comayagtiela, 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 Puríngla	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 )

N°	Localidad	Departamento	Población Servida	Tecnología Usada
89	Gualala	Santa Bárbara	485	IMHOFF
90	El Nispero	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

**Anexo 13.** Inventario Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en Honduras  
Fuente. (Quezada et al, 2010, p.40)

ENSAYO: ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA					
PROYECTO DE TESIS: POTENCIAL ENERGÉTICO EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES					
ENSAYO EXPERIMENTAL No.1			FECHA INICIO: 08May19 FECHA FINAL: 12May19		
DÍA	HORA	TIEMPO (H)	CH4(ML)	Vol. CH4 ACUMULADO (ML)	OBSERVACIÓN
1	10:25 AM	0	0.00	0.00	Muestra No.1
1	1:25 PM	3	49.00	49.00	Muestra No.1
1	4:25 PM	6	37.00	86.00	Muestra No.1
1	7:25 PM	9	22.00	108.00	Muestra No.1
1	10:25 PM	12	20.00	128.00	Muestra No.1
1	4:25 AM	18	20.00	148.00	Muestra No.1
1	10:25 AM	24	24.00	172.00	Muestra No.1
2	4:25 PM	30	42.00	214.00	Muestra No.1
2	10:25 PM	36	56.00	270.00	Muestra No.1
2	4:25 AM	42	30.00	300.00	Muestra No.1
2	10:25 AM	48	60.00	360.00	Muestra No.1
3	4:25 PM	54	53.00	413.00	Muestra No.1
3	10:25 PM	60	56.00	469.00	Muestra No.1
3	4:25 AM	66	-	469.00	Muestra No.1
3	10:25 AM	72	76.00	545.00	Muestra No.1
4	4:25 PM	78	30.00	575.00	Muestra No.1
4	6:25 PM	80	50.00	625.00	Muestra No.1
4	10:25 AM	96	120.00	745.00	Muestra No.1



Elaborado por: Antonio Urcina y Juan Posadas

Dr. Saulo Díaz  
Aprobó

**Anexo 14. Datos Muestra No.1**

ENSAYO: ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA					
PROYECTO DE TESIS: POTENCIAL ENERGÉTICO EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES					
ENSAYO EXPERIMENTAL No.1			FECHA INICIO: 08May19 FECHA FINAL: 12May19		
DÍA	HORA	TIEMPO (H)	CH4(ML)	Vol. CH4 ACUMULADO (ML)	OBSERVACIÓN
1	10:25 AM	0	0.00	0.00	Muestra No.2
1	1:25 PM	3	0.00	0.00	Muestra No.2
1	4:25 PM	6	0.00	0.00	Muestra No.2
1	7:25 PM	9	0.00	0.00	Muestra No.2
1	10:25 PM	12	0.00	0.00	Muestra No.2
1	4:25 AM	18	0.00	0.00	Muestra No.2
1	10:25 AM	24	0.00	0.00	Muestra No.2
2	4:25 PM	30	12.00	12.00	Muestra No.2
2	10:25 PM	36	0.00	12.00	Muestra No.2
2	4:25 AM	42	0.00	12.00	Muestra No.2
2	10:25 AM	48	1.00	13.00	Muestra No.2
3	4:25 PM	54	1.00	14.00	Muestra No.2
3	10:25 PM	60	0.00	14.00	Muestra No.2
3	4:25 AM	66	0.00	14.00	Muestra No.2
3	10:25 AM	72	1.00	15.00	Muestra No.2
4	4:25 PM	78	0.00	15.00	Muestra No.2
4	6:25 PM	80	1.00	16.00	Muestra No.2
4	10:25 AM	96	0.00	16.00	Muestra No.2



Elaborado por: Antonio Urcina y Juan Posadas

Dr. Saulo Díaz

Aprobó

**Anexo 15. Datos Muestra Control No. 1**

ENSAYO: ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA					
PROYECTO DE TESIS: POTENCIAL ENERGÉTICO EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES					
ENSAYO EXPERIMENTAL No.2			FECHA INICIO: 14May19 FECHA FINAL: 18May19		
DÍA	HORA	TIEMPO (H)	CH4(ML)	Vol. CH4 ACUMULADO (ML)	OBSERVACIÓN
1	9:30 AM	0	0.00	0.00	Muestra No.1
1	12:30 PM	3	46.00	46.00	Muestra No.1
1	3:30 PM	6	42.00	88.00	Muestra No.1
1	6:30 PM	9	20.00	108.00	Muestra No.1
1	9:30 PM	12	14.00	122.00	Muestra No.1
1	3:30 AM	18	8.00	130.00	Muestra No.1
1	9:30 AM	24	24.00	154.00	Muestra No.1
2	3:30 PM	30	34.00	188.00	Muestra No.1
2	9:30 PM	36	42.00	230.00	Muestra No.1
2	3:30 AM	42	20.00	250.00	Muestra No.1
2	9:30 AM	48	48.00	298.00	Muestra No.1
3	3:30 PM	54	42.00	340.00	Muestra No.1
3	9:30 PM	60	80.00	420.00	Muestra No.1
3	3:30 AM	66	74.00	494.00	Muestra No.1
3	9:30 AM	72	56.00	550.00	Muestra No.1
4	5:30 PM	80	200.00	750.00	Muestra No.1



Elaborado por: Antonio Urcina y Juan Posadas

Dr. Saulo Díaz  
Aprobó

**Anexo 16.** Datos Muestra No. 2



ENSAYO: ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA					
PROYECTO DE TESIS: POTENCIAL ENERGÉTICO EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES					
ENSAYO EXPERIMENTAL No.2			FECHA INICIO: 14May19 FECHA FINAL: 18May19		
DÍA	HORA	TIEMPO (H)	CH4(ML)	Vol. CH4 ACUMULADO (ML)	OBSERVACIÓN
1	9:30 AM	0	0.00	0.00	Muestra No.2
1	12:30 PM	3	0.00	0.00	Muestra No.2
1	3:30 PM	6	0.00	0.00	Muestra No.2
1	6:30 PM	9	0.00	0.00	Muestra No.2
1	9:30 PM	12	0.00	0.00	Muestra No.2
1	3:30 AM	18	0.00	0.00	Muestra No.2
1	9:30 AM	24	10.00	10.00	Muestra No.2
2	3:30 PM	30	2.00	12.00	Muestra No.2
2	9:30 PM	36	0.00	12.00	Muestra No.2
2	3:30 AM	42	0.00	12.00	Muestra No.2
2	9:30 AM	48	0.00	12.00	Muestra No.2
3	3:30 PM	54	2.00	14.00	Muestra No.2
3	9:30 PM	60	0.00	14.00	Muestra No.2
3	3:30 AM	66	0.00	14.00	Muestra No.2
3	9:30 AM	72	0.00	14.00	Muestra No.2
4	5:30 PM	80	2.00	16.00	Muestra No.2



Elaborado por: Antonio Urcina y Juan Posadas

Dr. Saulo Díaz

Aprobó

### Anexo 17. Datos Muestra Control No. 2

ENSAYO: ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA					
PROYECTO DE TESIS: POTENCIAL ENERGÉTICO EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES					
ENSAYO EXPERIMENTAL No.3			FECHA INICIO: 23May19 FECHA FINAL: 27May19		
DÍA	HORA	TIEMPO (H)	CH4(ML)	Vol. CH4 ACUMULADO (ML)	OBSERVACIÓN
1	9:30 AM	0	0.00	0.00	Muestra No.1
1	12:30 PM	3	10.00	10.00	Muestra No.1
1	3:30 PM	6	16.00	26.00	Muestra No.1
1	6:30 PM	9	34.00	60.00	Muestra No.1
1	9:30 PM	12	20.00	80.00	Muestra No.1
1	3:30 AM	18	20.00	100.00	Muestra No.1
1	9:30 AM	24	32.00	132.00	Muestra No.1
2	3:30 PM	30	32.00	164.00	Muestra No.1
2	9:30 PM	36	28.00	192.00	Muestra No.1
2	3:30 AM	42	38.00	230.00	Muestra No.1
2	9:30 AM	48	40.00	270.00	Muestra No.1
3	3:30 PM	54	26.00	296.00	Muestra No.1
3	9:30 PM	60	54.00	350.00	Muestra No.1
3	3:30 AM	66	50.00	400.00	Muestra No.1
3	9:30 AM	72	50.00	450.00	Muestra No.1
4	5:30 PM	80	30.00	480.00	Muestra No.1



Elaborado por: Antonio Urcina y Juan Posadas

Dr. Saulo Díaz

Aprobó

**Anexo 18.** Datos Muestra No. 3

ENSAYO: ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA					
PROYECTO DE TESIS: POTENCIAL ENERGÉTICO EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES					
ENSAYO EXPERIMENTAL No.3			FECHA INICIO: 23May19 FECHA FINAL: 27May19		
DÍA	HORA	TIEMPO (H)	CH4(ML)	Vol. CH4 ACUMULADO (ML)	OBSERVACIÓN
1	9:30 AM	0	0.00	0.00	Muestra No.2
1	12:30 PM	3	0.00	0.00	Muestra No.2
1	3:30 PM	6	0.00	0.00	Muestra No.2
1	6:30 PM	9	0.00	0.00	Muestra No.2
1	9:30 PM	12	0.00	0.00	Muestra No.2
1	3:30 AM	18	0.00	0.00	Muestra No.2
1	9:30 AM	24	0.00	0.00	Muestra No.2
2	3:30 PM	30	0.00	0.00	Muestra No.2
2	9:30 PM	36	10.00	10.00	Muestra No.2
2	3:30 AM	42	0.00	10.00	Muestra No.2
2	9:30 AM	48	0.00	10.00	Muestra No.2
3	3:30 PM	54	4.00	14.00	Muestra No.2
3	9:30 PM	60	0.00	14.00	Muestra No.2
3	3:30 AM	66	0.00	14.00	Muestra No.2
3	9:30 AM	72	1.00	15.00	Muestra No.2
4	5:30 PM	80	6.00	21.00	Muestra No.2



Elaborado por: Antonio Urcina y Juan Posadas

Dr. Saulo Díaz

Aprobó

**Anexo 19. Datos Muestra Control No. 3**

ENSAYO: ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA					
PROYECTO DE TESIS: POTENCIAL ENERGÉTICO EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES					
ENSAYO EXPERIMENTAL No.4			FECHA INICIO: 29May19 FECHA FINAL: 02Jun19		
DÍA	HORA	TIEMPO (H)	CH4(ML)	Vol. CH4 ACUMULADO (ML)	OBSERVACIÓN
1	9:30 AM	0	0.00	0.00	Muestra No.1
1	12:30 PM	3	30.00	30.00	Muestra No.1
1	3:30 PM	6	14.00	44.00	Muestra No.1
1	6:30 PM	9	32.00	76.00	Muestra No.1
1	9:30 PM	12	16.00	92.00	Muestra No.1
1	3:30 AM	18	18.00	110.00	Muestra No.1
1	9:30 AM	24	12.00	122.00	Muestra No.1
2	3:30 PM	30	18.00	140.00	Muestra No.1
2	9:30 PM	36	45.00	185.00	Muestra No.1
2	3:30 AM	42	45.00	230.00	Muestra No.1
2	9:30 AM	48	35.00	265.00	Muestra No.1
3	3:30 PM	54	35.00	300.00	Muestra No.1
3	9:30 PM	60	50.00	350.00	Muestra No.1
3	3:30 AM	66	50.00	400.00	Muestra No.1
3	9:30 AM	72	15.00	415.00	Muestra No.1
4	5:30 PM	80	15.00	430.00	Muestra No.1



Elaborado por: Antonio Urcina y Juan Posadas

Dr. Saulo Díaz

Aprobó

## Anexo 20. Datos Muestra No.4

ENSAYO: ACTIVIDAD METANOGÉNICA ESPECÍFICA					
PROYECTO DE TESIS: POTENCIAL ENERGÉTICO EN AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES					
ENSAYO EXPERIMENTAL No.4			FECHA INICIO: 29May19 FECHA FINAL: 02Jun19		
DÍA	HORA	TIEMPO (H)	CH4(ML)	Vol. CH4 ACUMULADO (ML)	OBSERVACIÓN
1	9:30 AM	0	0.00	0.00	Muestra No.2
1	12:30 PM	3	0.00	0.00	Muestra No.2
1	3:30 PM	6	0.00	0.00	Muestra No.2
1	6:30 PM	9	10.00	10.00	Muestra No.2
1	9:30 PM	12	0.00	10.00	Muestra No.2
1	3:30 AM	18	0.00	10.00	Muestra No.2
1	9:30 AM	24	2.00	12.00	Muestra No.2
2	3:30 PM	30	7.00	19.00	Muestra No.2
2	9:30 PM	36	1.00	20.00	Muestra No.2
2	3:30 AM	42	0.00	20.00	Muestra No.2
2	9:30 AM	48	3.00	23.00	Muestra No.2
3	3:30 PM	54	3.00	26.00	Muestra No.2
3	9:30 PM	60	3.00	29.00	Muestra No.2
3	3:30 AM	66	3.00	32.00	Muestra No.2
3	9:30 AM	72	2.00	34.00	Muestra No.2
4	5:30 PM	80	5.00	39.00	Muestra No.2



Elaborado por: Antonio Urcina y Juan Posadas

Dr. Saulo Díaz  
Aprobó

**Anexo 21. Datos Muestra Control No. 4**



SERVICIO AUTONOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS  
 LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD – DIVISION METROPOLITANA  
 Col. Villa Los Laureles, 1,5 km carretera al Seminario Mayor, Comayagüela, MDC  
 Tel/fax: 227-4498  
**INFORME DE RESULTADOS VARIOS**  
 RTL-33-11

No de Informe: **586 620 665 673**

No de Solicitud: **293 308 333 336**

DATOS DEL CUENTA	
Nombre	Carlos Antonio Urcina Benavidez
Proyecto	
Dirección	Col. Alameda
Teléfono/fax:	9465-6273
Correo Electrónico	

DATOS DEL MUESTREO				
Fuente	Planta La Vega			
Localidad				
Tomada por	Antonio Urcina			
Fecha/ Hora	Entre el 06/05/2019 y el 27/05/2019 Entra las 4:00pm y las 12:00pm			
Tipo de Muestra	AC	AT	AR	PZ
Entregada por	Antonio Urcina Entre el 07/05/2019 y el 28/05/2019 Entra las 9:05pm y las 10:00am			
Datos de Campo	Tº	Cl	pH	ODis
Condiciones Ambientales				
Observaciones	Temperatura de la muestra al llegar al laboratorio 586 FQ = 27,7°C 620 FQ = 28,0°C 665 FQ = 26,0°C 673 FQ = 27,5°C			

CONDICIONES AMBIENTALES		
Area	Fisicoquímica	Microbiología
Fecha		
Tº	°C	°C
Humedad	%	%
Observaciones		

OBSERVACIONES:

Se prohíbe la reproducción de este informe en forma parcial, sin la aprobación escrita del Jefe de Laboratorio  
 1 de 2

**Anexo 22.** Análisis de Sulfatos y Nitrógeno Amoniacal de lodos primarios (Pág. 1)



SERVICIO AUTONOMO NACIONAL DE ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS  
 LABORATORIO CONTROL DE CALIDAD – DIVISION METROPOLITANA  
 Col. Villa Los Laureles, 1,5 km carretera al Seminario Mayor, Comayagüela, MDC  
 Tel/fax: 227-4498

INFORME DE RESULTADOS VARIOS  
 RTL-33-11

No de Informe: **586 620 665 673**

No de Solicitud: **293 308 333 336**

No de Informe	Fecha	Punto de Muestreo	Físico Químico	
			Sulfatos mg/l	Nitrógeno Amoniacal mg/l
586	06/05/2019	Lodos primarios, Planta de Tratamiento, La Vega (Muestras Compuesta)	73,40	135,25
620	13/05/2019	Lodos primarios, Planta de Tratamiento, Aguas Residuales La Vega	194,90	128,25
665	22/05/2019	Lodos primarios, Planta de Tratamiento La Vega	191,40	99,00
673	29/05/2019	Lodos primarios, Planta de Tratamiento, Aguas Residuales La Vega	188,00	69,20
		Norma	<b>400,00**</b>	<b>20,0 **</b>

El primer valor de la Norma corresponde a descargas a cuerpos receptores y el segundo al alcantarillado sanitario  
 \* Standard Method for the Examination for the Water and Waste Water, 21 Ed (DE-05-01)  
 \*\* Normas Técnicas de las Descargas de Aguas Residuales a Cuerpos Receptores y Alcantarillado Sanitario (DE-04-02)  
 \*\*\* Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes EPA (DE-05-05)  
 Ue = Incertidumbre Expandida  
 [\*] No está normado  
 [\*\*] Ver artículo 10 de acuerdo a Numero 058

  
 Dra. Claudia Lagos  
 Analista Químico

  
 Dra. Loides Reyes  
 Jefe Control de Calidad

Se prohíbe la reproducción de este informe en forma parcial, sin la aprobación escrita del Jefe de Laboratorio

2 de 2

**Anexo 23.** Análisis de Sulfatos y Nitrógeno Amoniacal de lodos primarios (Pág. 2)