



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**EFICIENCIA DE LOS DIGESTORES DE PRESION HIDRAULICA (DPH),
COMO TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS
SOLIDOS URBANOS ORGANICOS PROCESADOS EN LA PLANTA DE
BIOGAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE CARAZO**

Para optar al título de ingeniero civil

Elaborado por

Br. Arlen Daniela González Leiva

Br. Erick Joan Martínez Hernández

Tutor

M. Sc. Ing. Mario Francisco Castellón Zelaya

Managua, diciembre 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC-FTC-REF-No.1090
Managua, diciembre 04 del 2013

Bachilleres
ARLEN DANIELA GONZALEZ LEIVA
ERICK JOAN MARTINEZ HERNANDEZ
Presente

Estimados Bachilleres:

Es de mi agrado informarles que el PROTOCOLO de su Tema Monográfico titulado "EFICIENCIA DE LOS DIGESTORES DE PRESION HIDRAULICA (DPH), COMO TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS ORGANICOS (RSUO) PROCESADOS EN LA PLANTA DE BIOGAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE CARAZO", ha sido aprobado por esta Decanatura.

Asimismo les comunico estar totalmente de acuerdo, de que el Ing. MARIO FRANCISCO CASTELLON ZELAYA, sea el tutor de su trabajo final.

La fecha límite, para que presenten concluido su documento, debidamente revisado por el tutor guía será el 04 Junio del 2014.

Esperando puntualidad en la entrega de la Tesis, me despido.

Atentamente,


Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Protocolo
Tutor
Archivo*Consecutivo
DIOGS*mary



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
DECANATURA

DEC.FTC.REF No. 0118
Managua, 22 Julio del 2016.

Bachilleres
ARLEN DANIELA GONZÁLEZ LEIVA
ERICK JOAN MARTÍNEZ HERNÁNDEZ
Presente

Estimados Bachilleres:

En atención a su carta de solicitud de **PRORROGA**, para finalizar su trabajo De **Monografía** titulado **“EFICIENCIA DE LOS DIGESTORES DE PRESIÓN HIDRAULICA (DPH), COMO TECNOLOGIA PARA EL TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS ORGANICOS (RSUO) PROCESADORES EN LA PLANTA DE BIOGAS DEL MUNICIPIO DE SAN MARCOS, DEPARTAMENTO DE CARAZO”**. Esta Decanatura aprueba la misma considerando los problemas planteados en su comunicación.

Deberán presentar concluido su documento debidamente revisado por el tutor guía **el 22 septiembre del 2016**.

Esperando de ustedes puntualidad en la entrega de su trabajo final, me despido.

Atentamente,


Dr. Ing. Oscar Gutiérrez Somarriba
Decano

CC: Tutor
Archivo-Consecutivo

DEDICATORIA

Primeramente a **Nuestro Dios Padre**, por haberme dado la vida, llenarme sabiduría y fortaleza para saber llevar todos los retos que me puso en el camino de mis estudios, pero que con su amor y ayuda logré superar.

A mi madre **María Antonieta Leiva**, porque gracias a todos sus esfuerzos y sacrificios, estoy concluyendo mi carrera profesional.

A mi tío **Dionisio Leiva**, por toda la gran ayuda, apoyo y consejos que me ha brindado para poder concluir mis estudios.

A mi esposo **Franklin Vásquez**, quien me ha dado su apoyo, amor y comprensión.

A mi hijo **Joshua Jared Vásquez González**, que es por quien hago todo el esfuerzo para concluir mi trabajo monográfico, quien me brinda todo su amor con cada bella sonrisa.

Y por último a mi abuela **María Teresa Leiva González** y a mi tía **María Teresa Leiva**, a quienes amo y han sido parte fundamental para que yo sea la persona que soy hoy en día. Gracias a su apoyo.

Br. Arlen Daniela González Leiva

DEDICATORIA

En primera instancia a Dios por ser mi Creador y mi Salvador, porque me brindó la oportunidad y las fuerzas para llegar hasta este momento, Él ha sido mi luz y mi guía en cada momento de mi vida y sin El nada es Posible.

A mis padres Claritza Hernández, Hadert Martínez y Armando Ortegaray puesto que han sido mi inspiración y orgullo. Por brindarme su amor y su apoyo incondicional en cada uno de los momentos difíciles de mi vida, les agradezco toda la motivación que me dieron siempre para seguir adelante, por ser un ejemplo de dedicación, sacrificio, trabajo y amor.

A mis hermanos Enrique José, Claritza Judith y Rut Amanda a quienes amo y les deseo lo mejor de lo mejor de este mundo.

A mi bella esposa Yumayra Vetania, quien es una persona muy especial para mí y por eso deseo compartir el resto de mi vida a su lado, con nuestros futuros hijos.

A mis familiares, mis tías, Ernelda, Marlene y Rosa. A mi abuelita María Cristina, a mis tíos que los considero como mis hermanos, Marcelo y Boanerges, a quienes aprecio mucho.

Y a todos aquellos que me brindaron su apoyo, de una u otra manera para hacer posible este sueño.

Br. Erick Joan Martínez Hernández

AGRADECIMIENTO

A las **Autoridades Superiores de la Universidad Nacional de Ingeniería** y a la **Dirección del PIENSA** por su apoyo incondicional y decidido a la Investigación como proceso fundamental en el quehacer universitario.

A la **Vicerrectoría de Investigación de la UNI** quien a través de la **Dirección de Investigación y Desarrollo** brindó su total respaldo a través de la gestión del financiamiento de esta investigación.

Al Tutor de Monografía, **M. Sc. Ing. Mario Francisco Castellón Zelaya**, por su tiempo y por compartir sus amplios conocimientos y experiencia.

A la **Lic. Violeta Machado Escobar** y al **Ing. Herty Guevara**, Presidenta y Jefe de Proyectos de **APRODIM** respectivamente, por su total respaldo a través de su acompañamiento en la gestión y obtención de las condiciones necesarias para el estudio.

Al **Lic. Marco Tulio Navarro**, Concejal Municipal de la **Alcaldía de San Marcos**, por su enorme disposición y trabajo como autoridad municipal.

A los operadores de la Planta de Biogás por su indispensable apoyo, su dedicación y empeño.

A todas las personas que de muchas maneras dieron su aporte para que este trabajo de monografía fuera una realidad.

RESUMEN EJECUTIVO

A través del presente estudio se determinó la eficiencia de los biodigestores que actualmente operan en el municipio de San Marcos, en cuanto a la estabilización de los residuos sólidos urbanos orgánicos (RSUO), la producción de biogás y el aporte ambiental al reducirse las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Algunas de las limitaciones fueron las siguientes:

- La Planta de Biogás no cuenta con todas las instalaciones necesarias para optimizar su funcionamiento. Actualmente carece de abastecimiento de agua, por lo que durante la época seca enfrenta serios problemas para la alimentación de los biodigestores.
- Así mismo, no dispone de una fuente de energía eléctrica continua para la correcta trituración de los residuos sólidos urbanos orgánicos a ser tratados en la planta, lo cual limita la eficiencia en el proceso de biodigestión y en consecuencia la cantidad y calidad de los subproductos.
- Aun no se ha logrado implementar con éxito la separación en el origen de los residuos sólidos urbanos, lo cual impide obtener permanentemente un sustrato homogéneo en cuanto a características físicas; influyendo de esta manera en la estabilidad con que opera la planta.

Se determinaron los valores para los anteriores indicadores para diferentes sustratos o tipos de residuos sólidos urbanos. Primero se utilizó la cáscara de Pitahaya, denominado Sustrato 1. El segundo sustrato utilizado fueron residuos de comida y cáscaras, denominados Sustrato 2.

Se tomaron muestras de lixiviados y de efluentes líquidos y sólidos provenientes de la planta, las cuales fueron analizadas en los laboratorios para luego determinar la eficiencia de los biodigestores en la estabilización de los RSUO.

Como resultados se obtuvo que la producción per cápita (PPC) en el casco urbano del municipio de San Marcos es de 0.55 kg/hab/día, con un volumen total de generación de 79.70 m³/día. El 88% del volumen de residuos sólidos corresponden a la Fracción Orgánica compuesta mayormente por follajes o residuos de jardín en un 59%, y restos de comida en un 24%.

De los dos sustratos utilizados durante el monitoreo, la Pitahaya posee una humedad del 90%, lo cual es consecuente dado su alta densidad de 650.99 kg/m³. En el caso de los RSUO la humedad es del 43.21% con una densidad de 367.43kg/m³, Así mismo el porcentaje de Materia Volátil de la cáscara de Pitahaya es de 90.1% y la de los RSUO es de 42.59%.

Según los registros los biodigestores operan con valores de temperatura en un rango de 24 - 27 °C, que corresponde a un rango mesofílico. Los valores de pH de operación variaron de 7.0 – 8.5 manteniéndose sin variaciones significativas.

La velocidad de carga orgánica (VCO) para los dos sustratos tiene un valor de 0.06 kgSV/m³*día para la cáscara de Pitahaya y de 0.07 kgSV/m³*día para los RSUO, pudiendo estar influenciada por el alto contenido de Sólidos Volátiles de la cáscara de Pitahaya (90%) respecto a los RSUO (43%).

Con tiempos de retención hidráulica (TRH) de 32 días para el Sustrato 1, se obtuvieron valores de remoción de DQO y DBO₅ de 65 y 54% respectivamente. En el caso de los RSUO con un TRH de 33 días la remoción tanto de DQO como de DBO₅ fue del 95%.

Para el sustrato 1 se obtuvo una producción promedio de biogás 3.47 m³/día y de 3.20 m³/día para el sustrato 2. El porcentaje de metano del biogas medido se encuentra por encima del estimado que fue de 52.83% y 53.42% para el sustrato 1 y 2 respectivamente.

ÍNDICE

I. GENERALIDADES	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. ANTECEDENTES	2
1.3. JUSTIFICACION	4
II. OBJETIVOS	5
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
III. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE BIOGÁS	6
3.1. Localización	6
3.2. Datos generales de la planta	6
3.3. Funcionamiento de la planta	8
3.3.1. Tipo de biodigestor	8
3.3.2. Pre tratamiento y mezcla de los RSU	10
3.3.3. Tiempo de retención hidráulica	12
3.3.4. Velocidad de carga orgánica	12
3.3.5. Almacenamiento y uso del biogás	12
3.3.6. Disposición de biol o efluente líquido	13
IV. MARCO TEORICO	14
4.1. Biomasa	14
4.1.1. Clasificación de la biomasa	14
4.1.2. Tipos de biomasa	15
4.2. Residuos sólidos urbanos	15
4.2.1. Clasificación de los RSU	16
4.2.2. Composición de los RSU	16
4.2.3. Características de los RSU	17
4.2.3.1. Características físicas	17
4.2.3.2. Características químicas	18
4.2.4. Gestión de los RSU	18
4.3. Tratamiento de los RSU	19

4.3.1. Disposición en vertederos	19
4.3.2. Incineración	20
4.3.3. Proceso de digestión aerobia (compostaje)	20
4.3.3.1. Etapas de la digestión aerobia	20
4.3.4. Proceso de digestión anaerobia	21
4.3.4.1. Tipos de biodigestores	22
4.3.4.2. Etapas de la digestión anaerobia (DA)	30
4.3.4.3. Factores que influyen en la digestión anaerobia	31
4.3.4.4. Subproductos de la biogasificación	35
4.4. Solución energética	39
V. DISEÑO METODOLÓGICO	40
5.1. Tipo de investigación	40
5.2. Universo de estudio	40
5.3. Caracterización físico - química de los sustratos	40
5.3.1. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya (Residuos de plantas agroindustriales)	40
5.3.2. Sustrato 2: Residuos Sólidos Urbanos Orgánicos separados en el vertedero	40
5.4. Métodos generales y particulares empleados	42
5.4.1. Caracterización de los residuos sólidos	42
5.5. Arranque y operación de la planta	44
5.5.1. Recolección de RSU	44
5.5.2. Almacenamiento	46
5.5.3. Selección y pesaje	46
5.5.4. Triturado y mezcla de RSU	47
5.5.5. Alimentación	48
5.6. Monitoreo de parámetros de operación	48
5.6.1. Temperatura	48
5.6.2. pH	48
5.6.3. Velocidad de carga orgánica	49
5.6.4. Tiempo de retención hidráulica (TRH)	50

5.7. Producción de biogás	50
5.7.1. Medición de biogás producido	50
5.7.2. Toma de muestras	51
5.7.3. Generación de metano	51
5.7.4. Eficiencia de estabilización de RSU	52
5.7.4.1. Calidad de lixiviado	52
5.7.4.2. Calidad del Biol	54
5.7.4.2.1. Efluente líquido	54
5.7.4.2.2. Lodos	54
VI. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS	56
5.1. Residuos sólidos municipales en San Marcos	56
5.1.1. Muestra	56
5.1.2. Producción	56
5.1.3. Caracterización física	56
5.2. Caracterización físico - química de los sustratos	57
5.3. Parámetros de Operación de la Planta	57
5.3.1. Velocidad de carga orgánica	59
5.3.2. Tiempo de retención hidráulica (TRH)	60
5.4. Producción de biogás	60
5.4.1. Caracterización de biogás	63
5.4.2. Relación entre producción de biogás y temperatura	65
5.4.3. Relación entre biogás y pH	68
5.5. Estabilización de RSU	71
5.5.1. Efluente líquido	71
5.5.1.1. Demanda Química de Oxígeno	71
5.5.1.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno	76
5.5.2. Lodos	80
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	85
X. BIBLIOGRAFÍA	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Macro y Micro Localización de la Planta de Biogás	6
Figura 2. Esquema General de la Planta de Biogás	7
Figura 3. Esquema General de un DPH de 10 m ³ de Capacidad Efectiva	9
Figura 4. Componentes de un DPH	10
Figura 5. Composición de la Basura en Nicaragua	17
Figura 6. Digestor de tercera generación	23
Figura 7. Digestor de Tipo Pozo Séptico	24
Figura 8. Digestor de Tipo Domo Flotante (Indio)	25
Figura 9. Digestor de Tipo Domo Fijo (Chino)	26
Figura 10. Digestor de Tipo Estructura Flexible	27
Figura 11. Digestor de 10 m ³ con Tanque de Preparación	29
Figura 12. Fases de la Digestión Anaerobia	31
Figura 13. Usos del Biogás	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades químicas del biogás	37
Tabla 2. Propiedades físicas del Biogás	37
Tabla 3. Características físico químicas de los sustratos	57
Tabla 4. Valores de temperatura y pH. Sustrato 1 y sustrato 2	58
Tabla 5. Porcentaje de metano en biogás generado	65
Tabla 6. Cuadro comparativo de concentraciones y eficiencia de remoción de DQO	76
Tabla 7. Cuadro comparativo de concentraciones y eficiencia de remoción de DBO ₅	80
Tabla 8. Contenido de nutrientes en lodos del Biol	81

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Trituradoras de materia orgánica	11
Fotografía 2. Pila de mezcla de residuos triturados	11
Fotografía 3. Bolsas para almacenamiento de biogás	12
Fotografía 4. Vertido de efluente líquido	13
Fotografía 5. Recolección de muestra de Biol	45
Fotografía 6. Almacenamiento temporal de RSU	45
Fotografía 7. Pesaje de RSU	46
Fotografía 8. Triturado de RSU	47
Fotografía 9. Homogenización de la mezcla de alimentación	48
Fotografía 10. Medición de pH	49
Fotografía 11. Medidor de flujo de gas	50
Fotografía 12. Toma de muestras de biogás	51
Fotografía 13. Proceso de lixiviación de sustratos	53

ÍNDICE DE GRÁFIOS

Gráfico 1. Clasificación de RSU	56
Gráfico 2. Producción de biogás por digestor. Sustrato 1	61
Gráfico 3. Producción de biogás por digestor. Sustrato 2	62
Gráfico 4. Producción de metano. Sustrato 1	64
Gráfico 5. Producción de metano. Sustrato 2	64
Gráfico 6. Producción de metano vs temperatura. Sustrato 1	66
Gráfico 7. Producción de metano vs temperatura. Sustrato 2	67
Gráfico 8. Producción de metano vs pH. Sustrato 1	69
Gráfico 9. Producción de metano vs pH. Sustrato 2	70
Gráfico 10. Concentración de DQO salida y entrada. Sustrato 1	72
Gráfico 11. Remoción de DQO. Sustrato 1	73
Gráfico 12. Concentración de DQO salida y Entrada. Sustrato 2	74
Gráfico 13. Remoción de DQO. Sustrato 2	75
Gráfico 14. Concentración de DBO ₅ salida y entrada. Sustrato 1	77
Gráfico 15. Concentración de DBO ₅ salida y entrada. Sustrato 2	78
Gráfico 16. Remoción de DBO ₅ . Sustrato 1	79
Gráfico 17. Remoción de DBO ₅ . Sustrato 2	79

I.GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Los centros urbanos generan los denominados residuos sólidos urbanos que están constituidos por cantidades considerables de residuos orgánicos como papel, madera, alimentos y residuos vegetales. Cuando ésta fracción de residuos se descompone, se generan compuestos volátiles como el metano y el dióxido de carbono, que son contribuyentes del efecto invernadero.

Los residuos sólidos son tan antiguos como la humanidad misma y son producidos por las distintas actividades del hombre. A medida que el hombre se asentó conformando aldeas y se concentró en las ciudades el problema se tornó más agudo debido a que la acumulación de residuos fue mayor y en consecuencia las enfermedades y los animales que las propagaban fueron proliferando.

A través de este estudio se monitoreó y evaluó la operación de la Planta de Biogás existente en el municipio de San Marcos, departamento de Carazo, la cual trata una Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU), generados en el municipio; con el fin de determinar y evaluar los parámetros de operación de la planta, tales como temperatura, pH, tiempo de retención hidráulica (TRH), entre otros. Así mismo, se determinó la cantidad y calidad del biogás generado y la calidad del efluente líquido de los biodigestores para medir la eficiencia con que son estabilizados los RSU.

El monitoreo se realizó para diferentes sustratos tomando en cuenta que los RSU no solo incluyen los residuos domésticos sino también de las actividades industriales propias del municipio. El primer sustrato utilizado fue la cáscara de Pitahaya, la cual es un residuo de los procesos desarrollados en plantas agroindustriales aledañas al sitio de la planta. El segundo sustrato está formado por RSU domésticos obtenidos de tres barrios urbanos y de algunos establecimientos comerciales como restaurantes y comiderías.

1.2. ANTECEDENTES

Actualmente existen millones de toneladas de basura confinadas bajo el subsuelo nacional y mundial que, en menor o mayor grado, están emitiendo gases a la atmósfera y líquidos al subsuelo, y en algunos casos representan un riesgo potencial de incendio o explosión. El metano es uno de los constituyentes principales al inventario mundial de gases con efecto invernadero.

Hasta la fecha, los rellenos sanitarios a nivel nacional y mundial constituyen el sistema de tratamiento final de residuos sólidos urbanos que ofrece las mejores soluciones técnicas, económicas y sanitarias.

En nuestro país existe un método sencillo, el cual consiste en instalar una gran bolsa especial, la cual recibe todos los excrementos animales y desechos generados por cosechas de plantas como cacao y café, y a partir de ahí unas bacterias se encargan de crear gas y fertilizante.

Antes de llevar a cabo este proyecto piloto en el municipio de San Marcos, ya se había instalado con éxito una primera planta a una escala más pequeña, esta planta lleva tiempo procesando los residuos orgánicos y produciendo biogás que se utiliza en el comedor institucional de la UPOLI.

De igual manera hay biodigestores domiciliarios rurales que han sido instalados principalmente en los departamentos de Chinandega, León, Matagalpa, Jinotega, Estelí y Madriz, con el apoyo de instituciones, MEM, MAGFOR, INAFOR; las organizaciones de productores UNAG, CANISLAC, NICACENTRO; las organizaciones micro-financieras como FDL, y los proveedores de fondos como PNUD y BCIE

El 13 de julio del año 2012 se firmó la carta para el desarrollo del proyecto **Instalación de Plantas de Biogás en el Municipio de San Marcos**. El 17 de septiembre del año 2012 se inició el trabajo de la ingeniería en detalle, cuyos

resultados permitieron elaborar el **Proyecto Piloto para el Tratamiento de Residuos Sólidos Urbanos con Aprovechamiento Energético Integral, en la Ciudad de San Marcos.**

En esta planta de tratamiento se alimenta con Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos (FORSU), aunque inicialmente para agilizar el proyecto se comenzó utilizando los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) mezclados que se reciben actualmente en el Centro de Separación de RSU.

1.3. JUSTIFICACION

En Nicaragua muy pocos municipios cuentan con un sistema de tratamiento y disposición final adecuado, donde los pocos que existen consisten básicamente en rellenos sanitarios. En los municipios donde no existen rellenos sanitarios, los sistemas existentes son de naturaleza tradicional, radicando prácticamente en la disposición de los desechos sólidos en los lugares más convenientes para la población: basureros a cielo abierto seleccionados por las alcaldías (en las afueras de las ciudades), quema y enterramiento de la basura, etc.

En la búsqueda de alternativas amigables con el medio ambiente, la biodigestión de residuos sólidos urbanos es una opción para tratar los desechos orgánicos de tal manera que se preserve el medio. Los digestores, toman las sobras o cualquier tipo de desecho orgánico, sólido o líquido, y lo convierte en biogás gracias a unas bacterias instaladas en el fondo. Aunque se trata de tecnología básica, un Digestor de Presión Hidráulica (DPH), puede convertir cualquier desecho en biogás para usarlo en la cocina. Además, sus residuos líquidos son en realidad abono orgánico que ayuda al cuidado del suelo y de las plantas que se encuentran en él.

Este proyecto piloto se llevó a cabo en la Planta de Biogás del municipio de San Marcos, para comprobar la eficiencia de los DPH en el tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) y también como una forma de promover el uso de los biodigestores para el tratamiento de los RSU Orgánicos.

Una vez desarrollado el estudio, la Alcaldía de San Marcos como propietaria de la planta cuenta con las recomendaciones e instrumentos necesarios para manejar de una manera más eficiente la planta existente e incluso una ampliación de la misma. Así mismo las demás alcaldías municipales cuentan con una referencia y experiencia para implementar futuros proyectos de biodigestión de RSU en sus localidades.

II.OBJETIVOS

Objetivo general

Determinar la eficiencia de los Digestores de Presión Hidráulica (DPH) como tecnología para el tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos Orgánicos procesados en la Planta de Biogás del municipio de San Marcos, departamento de Carazo.

Objetivos específicos

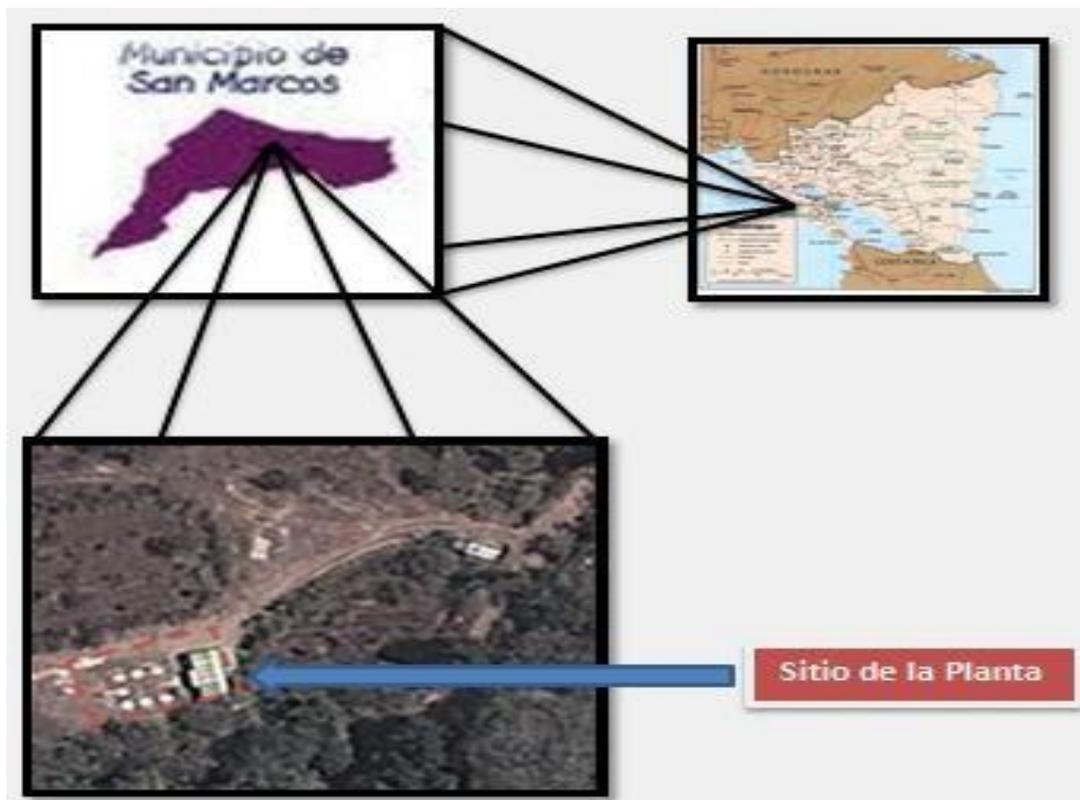
- Realizar la caracterización físico – química de los residuos sólidos urbanos orgánicos tratados en la Planta de Biogás del municipio de San Marcos, departamento de Carazo.
- Monitorear la generación de biogás por el proceso de biodigestión de la biomasa de los residuos sólidos en la Planta de Biogás del municipio de San Marcos, departamento de Carazo.
- Analizar las características del efluente líquido de los DPH para determinar su calidad.

III. Descripción de la Planta de Biogás

3.1. Localización

La planta de biogás objeto de este estudio está ubicada en el municipio de San Marcos, departamento de Carazo, en la zona sur occidental de Nicaragua. (Figura 1).

Figura 1. Macro y micro localización de la planta de biogás



Fuente. Elaboración propia

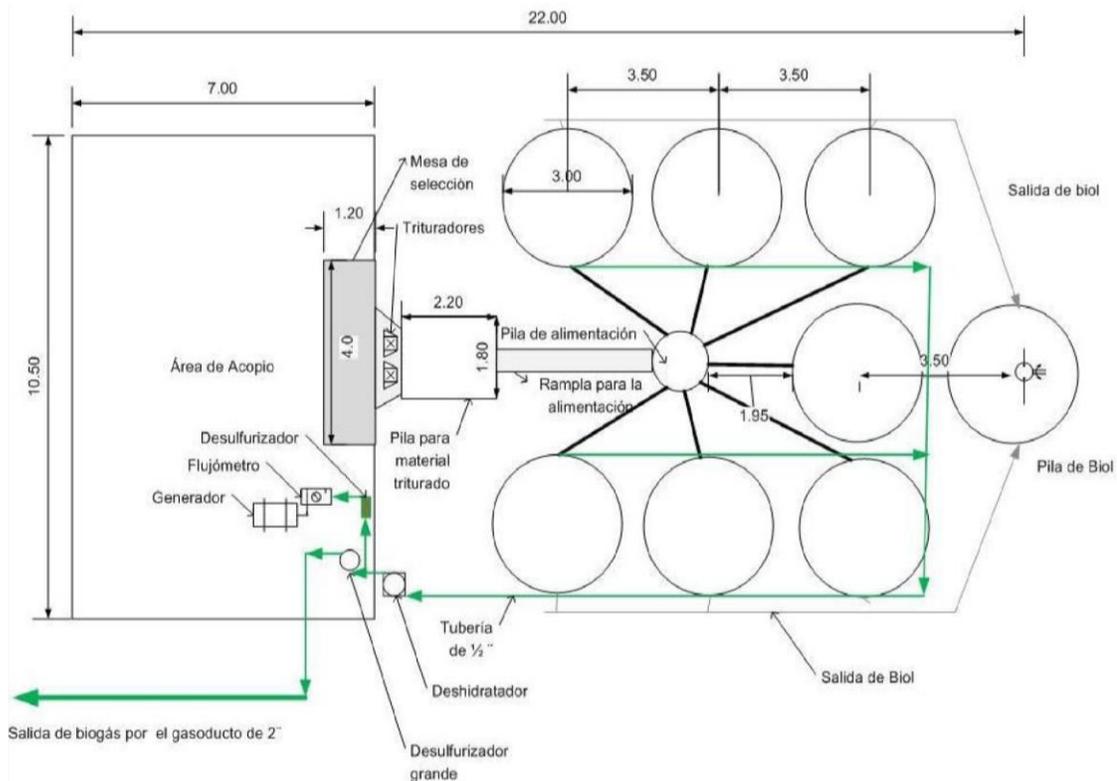
3.2. Datos generales de la planta

La Planta de Biogás de San Marcos fue construida en el año 2012 como parte del proyecto piloto: Tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos con Aprovechamiento Energético Integral en la ciudad de San Marcos.

La planta fue gestionada a través de la Alcaldía Municipal y la Asociación para el Desarrollo Integral de los Municipios (APRODIM) y fue diseñada por el Centro de

Estudios Biotecnológicos (CEBiot) de la Universidad Politécnica de Nicaragua (UPOLI).

Figura 2. Esquema General de la Planta de Biogás



Fuente. González, 2012

La planta cuenta con 7 Digestores de Presión Hidráulica (DPH) con un una pila de alimentación común. Además de los digestores, la planta cuenta con una Pila de dosificación para los digestores, la meseta de separación final de productos, la pila de residuos y la rampa para los residuos triturados, la pila de biol y bomba de recirculación de biol, dos trituradores de FORSU y un generador de 3.0 kw, un desulfurador, un deshidratador, medidores de flujo para el gasoducto y para el generador, el sistema de tuberías de biol y de biogás, y una bomba de mecate alternativa para la recirculación de biol. (Figura 2).

3.3. Funcionamiento de la planta

Según su diseño, cada DPH tiene la capacidad para procesar aproximadamente 125 kg/día de RSO, con un contenido de materia orgánica fermentable de como mínimo 30%, lo que significa una capacidad total de 875 kg/día con una capacidad de almacenamiento de biogás de 7 m³.

La planta fue diseñada para ser alimentada con residuos sólidos orgánicos seleccionados de los RSU recolectados por la Alcaldía Municipal, seleccionando de los mismos los restos de comida, complementados con los denominados residuos de mercado, o sea cáscaras y restos de frutas y verduras: y de algunas industrias alimenticias cercanas.

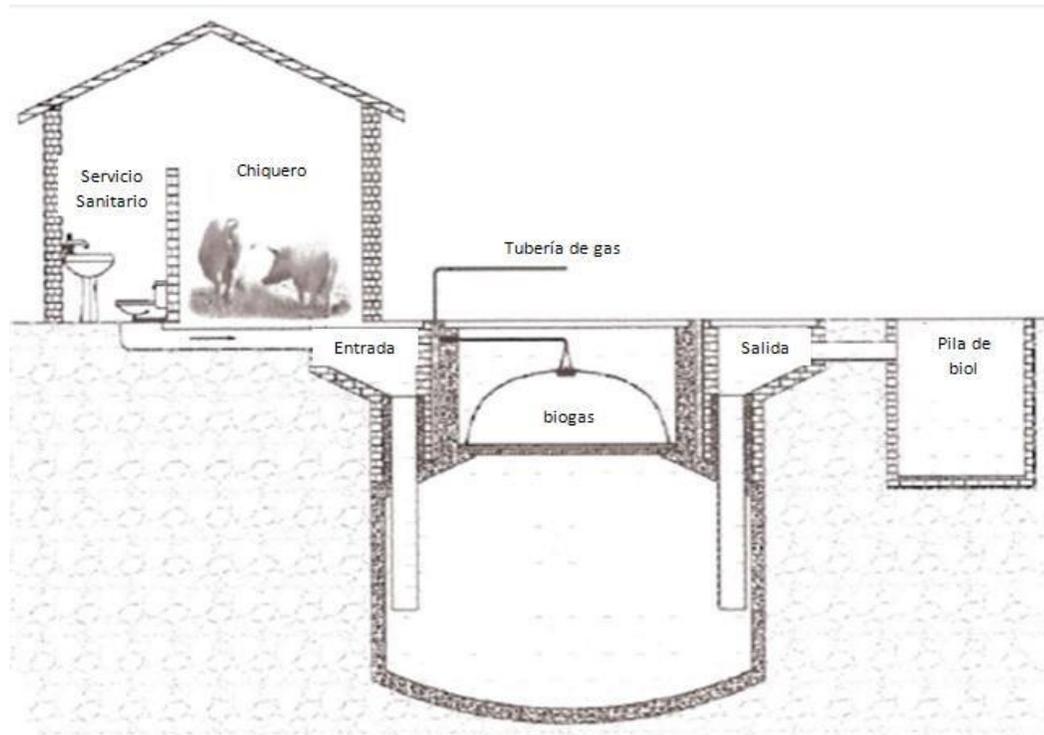
El biogás generado en la planta es utilizado como combustible doméstico para la cocción de alimentos de 15 familias asentadas en los alrededores de la planta.

El biogás es conducido a través de un gasoducto de 1.6 km de longitud.

3.3.1. Tipo de biodigestor

La tecnología existente es la de Digestores de Presión Hidráulica (DPH), la cual es una combinación de Digestores de Cúpula Fija y Digestores de Campana Flotante, resultando un Biodigestor de Campana Fija y Presión constante. (Figura 3).

Figura 3. Esquema General de un DPH de 10 m³ de Capacidad Efectiva

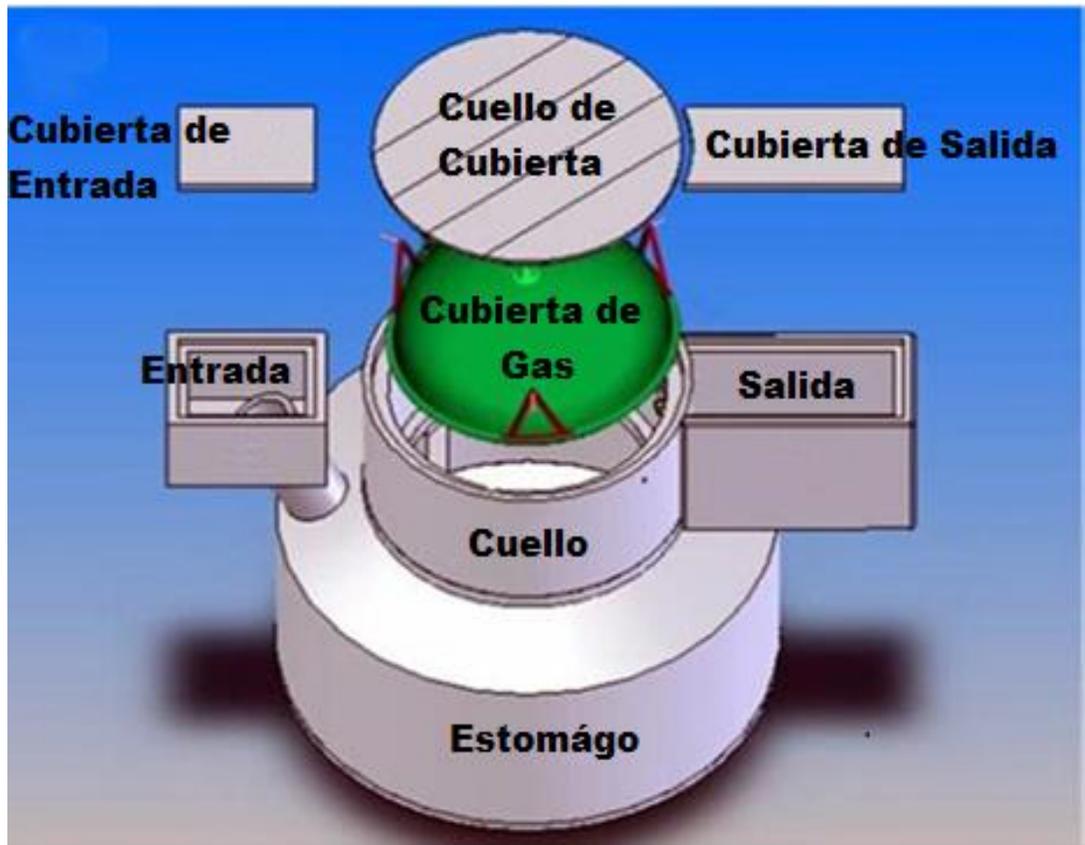


Fuente. González, 2013

Tal como se muestra en la figura 4, el cuerpo de los digestores está compuesto del estómago, que constituye la mayor parte del digestor, la semi-cúpula, que sirve de unión entre el estómago y el cuello; y este último que contiene el gasómetro hidráulico, que es uno de los componentes claves de la tecnología DPH.

Los digestores son de alimentación continua o de Flujo Pistón, los cuales operan de forma continua forzando la circulación por desplazamiento horizontal de los materiales ya existentes en el interior del digestor.

Figura 4. Componentes de un DPH



Fuente. González, 2012

3.3.2. Pre tratamiento y mezcla de los RSU

La biomasa con que se alimenta la planta es llevada a pequeñas partículas a través de Trituradoras de Materia Orgánica y luego transportados hasta una Pila para la Mezcla y Homogenización del material triturado y el agua. (Fotografías 1 y 2).

Fotografía 1. Trituradoras de materia orgánica



Fuente. Elaboración propia

Fotografía 2. Pila de Mezcla de residuos triturados



Fuente. Elaboración propia

Fotografía 3. Bolsas para almacenamiento de biogás



Fuente. Elaboración propia

3.3.3. Tiempo de retención hidráulica

Los digestores existentes fueron diseñados para alcanzar un TRH de 33 días.

3.3.4. Velocidad de carga orgánica

Los 7 biodigestores que componen la planta fueron calculados para operar con una dilución 1:1 y con una concentración alta. En este caso el volumen de alimentación debe estar en función del sustrato a utilizar y de la capacidad de almacenamiento y consumo del biogás generado.

3.3.5. Almacenamiento y uso del biogás

La planta cuenta con dos bolsas para el almacenamiento del biogás. Cada bolsa tiene una capacidad de almacenamiento de 10 m³ tal como se muestra en la Fotografía 3. Este es utilizado como combustible para la cocción de alimentos en 15 viviendas ubicadas en el barrio.

3.3.6. Disposición de biol o efluente líquido

En la concepción de la planta se consideró que el efluente líquido o biol proveniente de todos los biodigestores sería recirculado haciendo uso de un generador eléctrico que utilizaría el mismo biogás producido en la planta. Sin embargo, en la práctica la recirculación no se da debido a que el biogás producido no es suficiente para operar el generador eléctrico. Como alternativa se instaló una bomba de mecate para extraer el efluente líquido de la pila.

Actualmente el excedente de Biol es vertido directamente sobre la superficie del suelo en áreas aledañas a la Planta. (Fotografía 4).

Fotografía 4. Vertido de efluente líquido



Fuente. Elaboración propia

IV.MARCO TEORICO

4.1. Biomasa

El término biomasa se refiere a toda la materia orgánica que proviene de árboles, plantas y desechos de animales que pueden ser convertidos en energía; o las provenientes de la agricultura (residuos de maíz, café, arroz), del aserradero (podas, ramas, aserrín, cortezas) y de los residuos urbanos (aguas negras, basuras orgánicas y otros). (Biomass Users Network [BUN-CA], 2002).

Desde la prehistoria la forma más común de utilizar la energía de la biomasa ha sido por medio de la combustión directa: quemándola en hogueras a cielo abierto en hornos y cocinas artesanales e incluso en calderas; convirtiéndola en calor para suplir las necesidades de calefacción, cocción de alimentos, productos de vapor, entre otros. Los avances tecnológicos han permitido el desarrollo de procesos más eficientes y limpios para la conversión de biomasa en energía; transformándola, por ejemplo, en combustible líquido o gaseoso, los cuales son más convenientes y eficientes.

La biomasa podría proporcionar energías sustitutivas a los combustibles fósiles, gracias a agro combustibles (como el biodiesel o bioetanol), gaseosos (gas metano) o solidos (leña), pero todo depende de que no se emplee más biomasa que la producción neta del ecosistema explotado, de que no se incurra en otros consumos de combustibles en los procesos de transformación, y de que la utilidad energética sea la oportuna frente a otros usos.

4.1.1. Clasificación de la biomasa

Biomasa natural: Es la que se produce de la naturaleza sin intervención humana.

Biomasa residual: Es el sub producto o residuo generado en las actividades agrícolas, silvícolas, ganaderas, de la industria agroalimentaria, de la industria de transformación de madera, residuos depurados y el reciclado de aceites.

Cultivos energéticos: Son aquellos que están destinados a la producción de biocombustibles. Además de los cultivos existentes para la industria alimentaria (cereales y remolacha para la producción de bioetanol).

4.1.2. Tipos de biomasa

Los recursos biomásicos se presentan en diferentes estados físicos que determinan la factibilidad técnica y económica de los procesos que pueden aplicarse.

Para definir el tipo de biomasa es preciso conocer los siguientes parámetros:

- **Composición física.** Las características físicas más importantes son la densidad y el contenido de humedad.

- **Análisis elemental.** Implica la determinación del porcentaje en peso del Carbono (C), Hidrógeno (H), Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S) y cenizas.

- **Análisis físico – químico.** Implica la evaluación del contenido de carbono fijo, los sólidos volátiles y las cenizas.

- **Análisis estructural.** Determinación del contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa.

4.2. Residuos sólidos urbanos

Los residuos sólidos urbanos (RSU), son los que se originan en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos. En los países desarrollados en los que cada vez se usa más envases, papel, y en los que la cultura de usar y tirar se ha extendido a todo tipo de bienes de consumo, las cantidades de basura que se generan han ido creciendo hasta llegar a cifras muy altas.

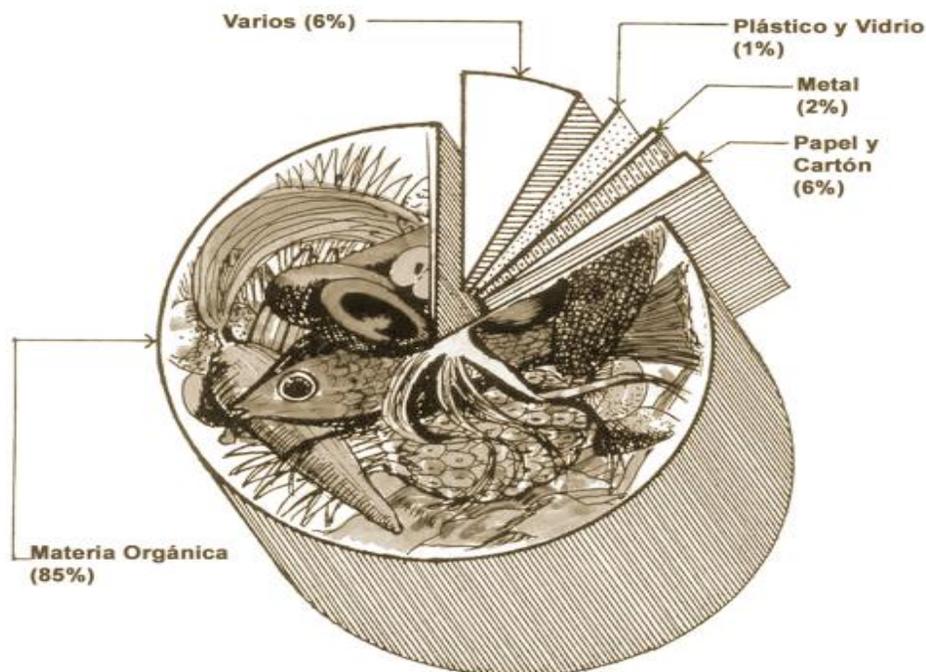
4.2.1. Clasificación de los RSU

- Desechos residenciales o domiciliarios
- Desechos de servicio o desechos comerciales
- Desechos de actividades al aire libre
- Desechos industriales
- Desechos agropecuarios
- Desechos combustibles
- Desechos orgánicos
- Desechos inertes

4.2.2. Composición de los RSU

En el caso de Nicaragua, el conocimiento de la composición física de los desechos sólidos puede establecerse, a partir de una clasificación de los grupos que se describen a continuación: materia orgánica (restos de alimentos, follaje), papeles y cartones, plásticos, cauchos y cueros, textiles, escombros, cenizas y lodos, metales férricos, metales no férricos, vidrios, huesos, madera y otros. (Figura 5).

Figura 5. Composición de los RSU en Nicaragua (Estudio de la composición de la basura realizado en siete ciudades (Masaya, Jinotepe, Matagalpa, La Paz Centro, San Marcos, Masatepe y Sébaco, 1993)



Fuente. INIFOM, 1996

4.2.3. Características de los RSU

4.2.3.1. Características físicas

Humedad: Se encuentra presente en un porcentaje aproximado de 40% en pesos; puede oscilar entorno al 25% y el 60%. La máxima aportación de humedad la proporcionan la materia orgánica, mientras que la mínima los productos de naturaleza sintética.

Peso específico: Tiene vital importancia para calcular las dimensiones de los recipientes de pre recogida, los volúmenes de los equipos de recogida y transporte, tolvas de recepción, cintas o capacidad de vertederos. Este puede variar dependiendo del grado de compactación de los residuos.

Granulometría: El grado de segregación de los materiales y el tamaño físico de los componentes elementales de los RSU, representan un valor imprescindible para el cálculo de las dimensiones en los procesos mecánicos de separación y, especialmente, para escoger cribas, tromeles y artilugios.

4.2.3.2. Características químicas

Composición química: Es necesaria para determinar las características de recuperación energética y la potencialidad de producir fertilizantes con la adecuada relación carbono/nitrógeno. También la presencia y concentración de residuos tóxicos y peligrosos para evaluar el riesgo de los RSU.

Poder calorífico: La valoración, que es fruto de la propia variabilidad de la composición de los residuos, viene predefinida por el poder calorífico de cada producto. Se puede estipular que el poder calorífico de los RSU se sitúa en un entorno a los 1,500 y 2,200 kcal/kg.

4.2.4. Gestión de los RSU

Pre recogida: Comprende las manipulaciones, separación, almacenamiento y procesamiento de los RSU en el origen, con la intención de concentrarlos y modificar algunas de sus características físicas para facilitar su recogida.

Recogida: Típicamente se realiza la recogida bajo varios tipos de convenios de gestión, abarcando desde servicios municipales hasta servicios privados, bajo concesión, funcionando a través de distintos tipos de contratos.

Transporte: En esta etapa se produce el traslado de los residuos hacia estaciones de transferencia (instalaciones en las que los residuos son almacenados de forma temporal y compactados para ser transportados posteriormente), a plantas de reciclado, clasificación o valorización energética y los vertederos.

Transformación, valorización energética o eliminación: Los componentes de los residuos podrán ser transformados con la finalidad de obtener nuevos productos con otras aplicaciones, valorizados energéticamente con el propósito de convertirlos en combustibles con el cual poder generar energía, o eliminados completamente en el relleno sanitario.

4.3. Tratamiento de los RSU

El tratamiento incluye la selección y aplicación de tecnologías apropiadas para el control y transformación de los residuos o de sus constituyentes, su principal objetivo es reducir el volumen de los residuos que requerirán la disposición final y obtener un producto de nueva utilidad o un producto que se deseche sin ningún tipo de riesgo. Respecto a la disposición final la alternativa comúnmente utilizada es el relleno sanitario.

El tratamiento de los residuos sólidos puede ser físico, químico y/o biológico, y pueden darse con la intervención del hombre o por procesos naturales; a continuación se presenta algunos tipos de tratamientos que existen para los RSU.

4.3.1. Disposición en vertederos

Vertederos incontrolados o clandestinos: Lugares donde se acumulan residuos sin control, fue el primer método usado por el ser humano para eliminar los residuos sin embargo, ocasionan graves problemas medio ambientales y de salud, al carecer de controles adecuados. En la actualidad estos, son sellados y clausurados llevándose a cabo las correspondientes medidas de saneamiento.

Vertederos controlados: Son instalaciones de eliminación destinadas al depósito de residuos, localizadas en emplazamientos apropiados, donde se sitúan de forma ordenada los residuos y bajo condiciones seguras y supervisadas, que tienen como fin evitar los problemas de contaminación de agua, aire y suelo.

4.3.2. Incineración

Este método, consiste en un proceso de combustión térmica controlada que desencadena una oxidación del carbono y del hidrogeno presente en la materia orgánica que constituye los residuos, obteniéndose productos como cenizas, dióxido de carbono, agua, dioxinas y furanos.

Las características y factores que se tienen presentes para la instalación y buen mantenimiento del vertedero:

- Condiciones geológicas y geomorfológicas del terreno
- Condiciones climatológicas
- Instalación de puntos de salida de gases
- Accesos para el paso de vehículos

4.3.3. Proceso de digestión aerobia (compostaje)

El compost es obtenido de manera natural por descomposición aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos como restos vegetales, animales, excrementos y purines, por medio de la reproducción masiva de bacterias aerobias termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar. Normalmente se trata de evitar la putrefacción de los residuos orgánicos.

Una gran parte de los materiales presentes en los RSU pueden ser considerados para compostaje pero hay otros que no, tales como son los plásticos, metales, vidrios y cueros.

4.3.3.1. Etapas de la digestión aerobia

Pre-procesamiento: Es el acondicionamiento necesario para separar las impurezas provenientes con los residuos así como chipear o moler los residuos verdes. Suele tratarse de una preclasificación separando plásticos, vidrios y metales o de un chipeado de ramas.

Biodegradación: Durante esta etapa es importante controlar la temperatura, ya que es un factor condicionante para el crecimiento de determinados microorganismos fundamentales para la degradación de la materia orgánica. Esta etapa termina al estabilizarse el material. El compostaje aun no es completo.

Maduración: Es la etapa de mayor duración, es cuando aumenta la cantidad de nutrientes presentes en el compost y puede ser utilizado por las raíces. El material se encuentra bien degradado y la materia prima original ya no se identifica.

Acondicionamiento final: Se realiza un cribado final del material, para separar las últimas impurezas presentes y lograr un producto más homogéneo con mayor facilidad de posterior venta.

4.3.4. Proceso de digestión anaerobia

La digestión anaeróbica es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes.

En biodigestores se aprovecha esta liberación de gases para luego ser usados como combustibles.

En el tratamiento anaerobio existen diferentes reactores que pueden clasificarse en función del tiempo de retención hidráulico (TRH), contacto entre el lodo y el sustrato, volúmenes del reactor, costos y condiciones de operación.

En el proceso de biodigestión se identifican dos rangos de operación de las bacterias metanogénicas. Rango mesofílico (15 – 40)°C y el rango termofílico (55 - 65)°C. (Mandujano, 2001).

En el rango mesofílico, la digestión anaeróbica se desenvuelve bien a temperaturas desde 12°C hasta 35°C, siendo la temperatura óptima de operación

entre 29°C y 33°C. En el rango termofílico de operación entre los 37°C y 65°C siendo la temperatura óptima de 55°C.

El proceso de digestión se da con mayor velocidad cuando se opera en el rango termofílico, lográndose además una mayor remoción de microorganismos patógenos.

Para digestores que operan en el rango mesofílico con temperaturas entre 30°C y 33°C se manejan TRH entre 25 y 30 días. En el caso de operar en el rango termofílico con temperaturas entre 50°C y 60°C el tiempo de retención se reduce a valores entre 10 y 15 días. (Mandujano, 2001)

4.3.4.1. Tipos de biodigestores

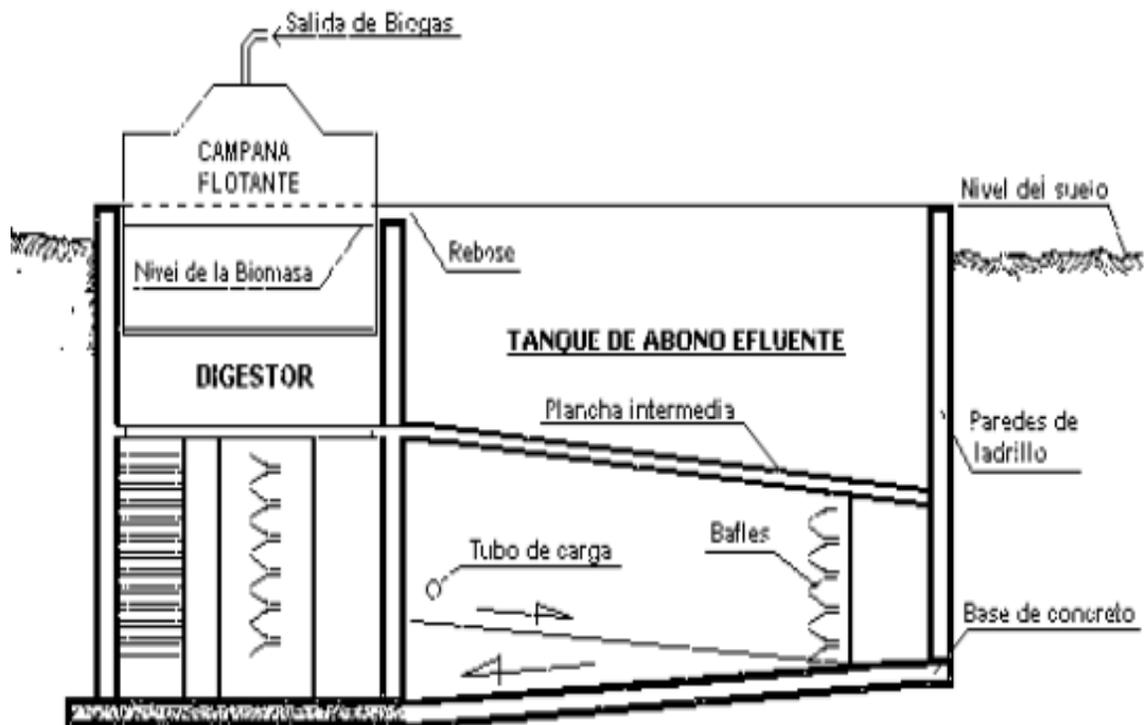
Reactores de primera generación: El tiempo de retención celular es igual al TRH, por lo que se requieren TRH muy altos, existe un contacto inadecuado entre la biomasa y la materia orgánica. Lagunas Anaerobias, Tanque Séptico, Tanque Imhoff.

Reactores de segunda generación: Se caracterizan por el hecho de que tienen mecanismos para retención de los lodos, independizando el tiempo de retención celular del TRH. Los dos mecanismos más aplicados son:

- a) Inmovilización del lodo por adhesión a material sólido - Filtros anaerobios de flujo ascendente y descendente;
- b) Separación líquido-sólido del efluente, con el retorno de los sólidos separados al reactor - UASB, el cual usa un sedimentador interno.

Reactores de tercera generación: Para optimizar el contacto entre el sustrato y la biomasa, esta se adhirió con partículas de arena, alúmina o plástico, las cuales se expanden - Reactores de lecho fluidizado o expandido. (Figura 6).

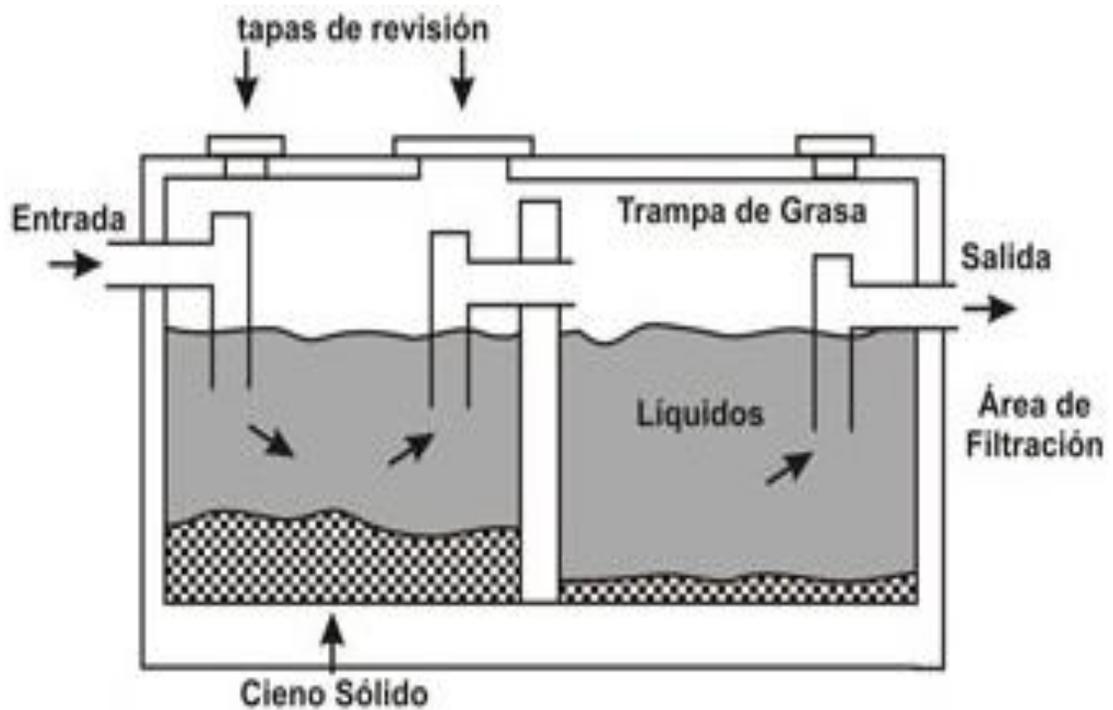
Figura 6. Digestor de tercera generación



Fuente. Bautista, 2010

Pozo séptico: Es el más antiguo y sencillo digestor anaeróbico que se conoce, utilizado normalmente para la disposición de aguas residuales domésticas. Se cree que de allí deriva el uso potencial de los gases producidos por la fermentación anaeróbica, para el uso doméstico. (Figura 7).

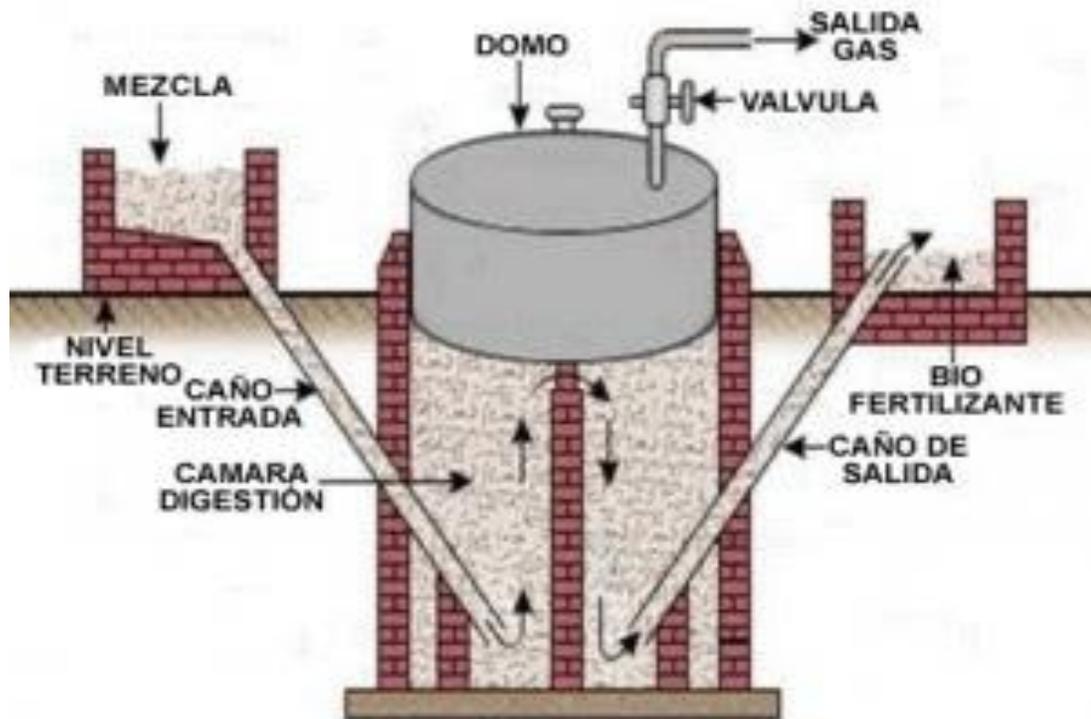
Figura 7. Digestor de tipo pozo séptico



Fuente. Bautista, 2010

Biodigestor de domo flotante (Indio): Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. La presión del gas disponible depende del peso del poseedor de gas por el área de la unidad. (Figura 8).

Figura 8. Digestor de tipo domo flotante (Indio)

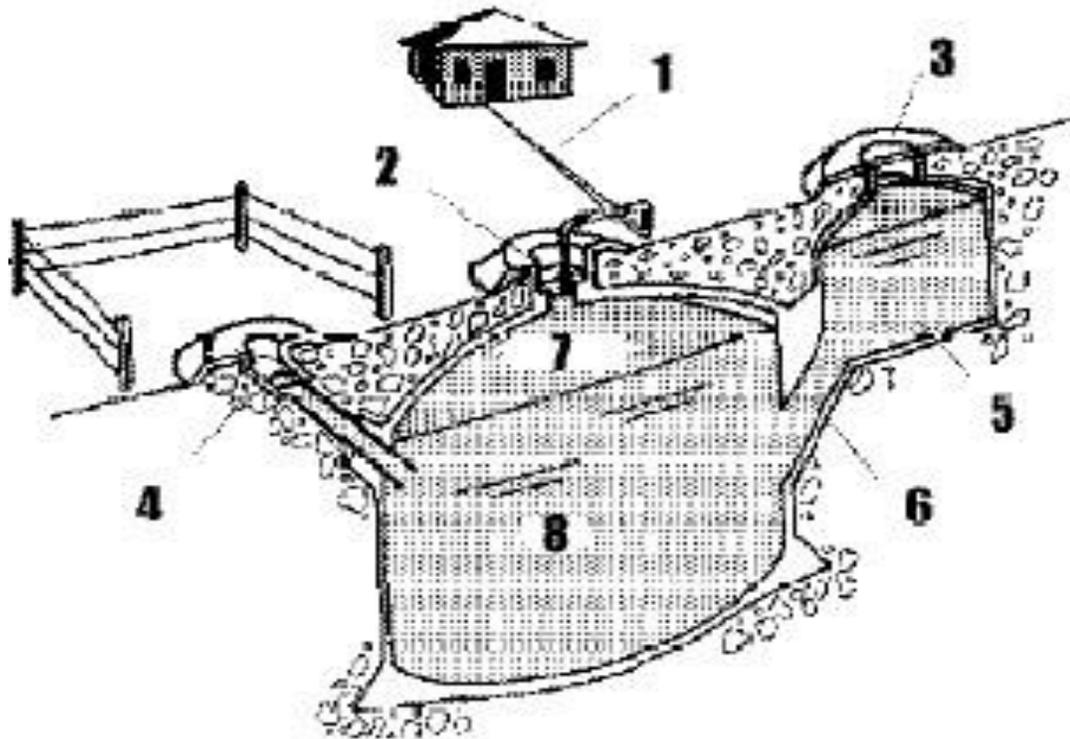


Fuente. Bautista, 2010

Biodigestor de domo fijo (Chino): Este reactor consiste en una cámara de gas firme construida de ladrillos, piedra u hormigón. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo y cambia de sitio algunos de los volúmenes del digestor en la cámara del efluente, con presiones en el domo entre 1 y 1.5 mts de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la cima hemisférica y el fondo. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor.

Esta instalación tienen como ventaja su elevada vida útil (pueden llegar como promedio a 20 años), siempre que se realice un mantenimiento sistemático.

Figura 9. Digestor de tipo domo fijo (Chino)



Fuente. Bautista, 2010

Esquema del Digestor Chino: 1. tubería de salida del gas; 2. Sello removible; 3. Tapa móvil; 4. Entrada; 5. Tanque de desplazamiento; 6. Tubería de salida; 7. Almacenamiento de gas; 8. Materia orgánica.

Biodigestor de estructura flexible: Desde 1986 se ha recomendado biodigestores de plástico como la tecnología apropiada por hacer mejor uso de excrementos del ganado. El gas se acumula en la parte superior de la bolsa, parcialmente llena con biomasa en fermentación; la bolsa se va inflando lentamente con una presión baja.

Figura 10. Digestor de Tipo Estructura Flexible



Fuente. Bautista, 2010

Los reactores para la digestión anaerobia también pueden clasificarse en función de parámetros operacionales. En cuanto al régimen de alimentación se clasifican:

Sistema continuo: La alimentación de la fracción orgánica del residuo se adiciona de forma continuada y constante en el fermentador. Todavía no han sido totalmente dilucidados los efectos de la frecuencia de la alimentación en la eficiencia de la digestión anaerobia. En principio cabe esperar un mejor funcionamiento cuando se opera en continuo, aunque, experiencias a nivel de laboratorio, han obtenido resultados análogos de producción de metano operando en continuo y en semi continuo.

Sistema en discontinuo: En los sistemas discontinuos el volumen del reactor se llena, en una única toma, con la alimentación. La materia orgánica, junto con el inóculo, permanecen en el reactor hasta transcurrir el tiempo necesario para conseguir la degradación requerida. Los vertederos controlados pueden ser considerados como ejemplo de un reactor discontinuo en gran escala.

Sistema en Semi - continuo: Los procesos semi continuos consisten en introducir la materia orgánica en el reactor periódicamente. En aplicaciones prácticas, esta alimentación suele dosificarse intermitentemente de 1 a 3 veces al día.

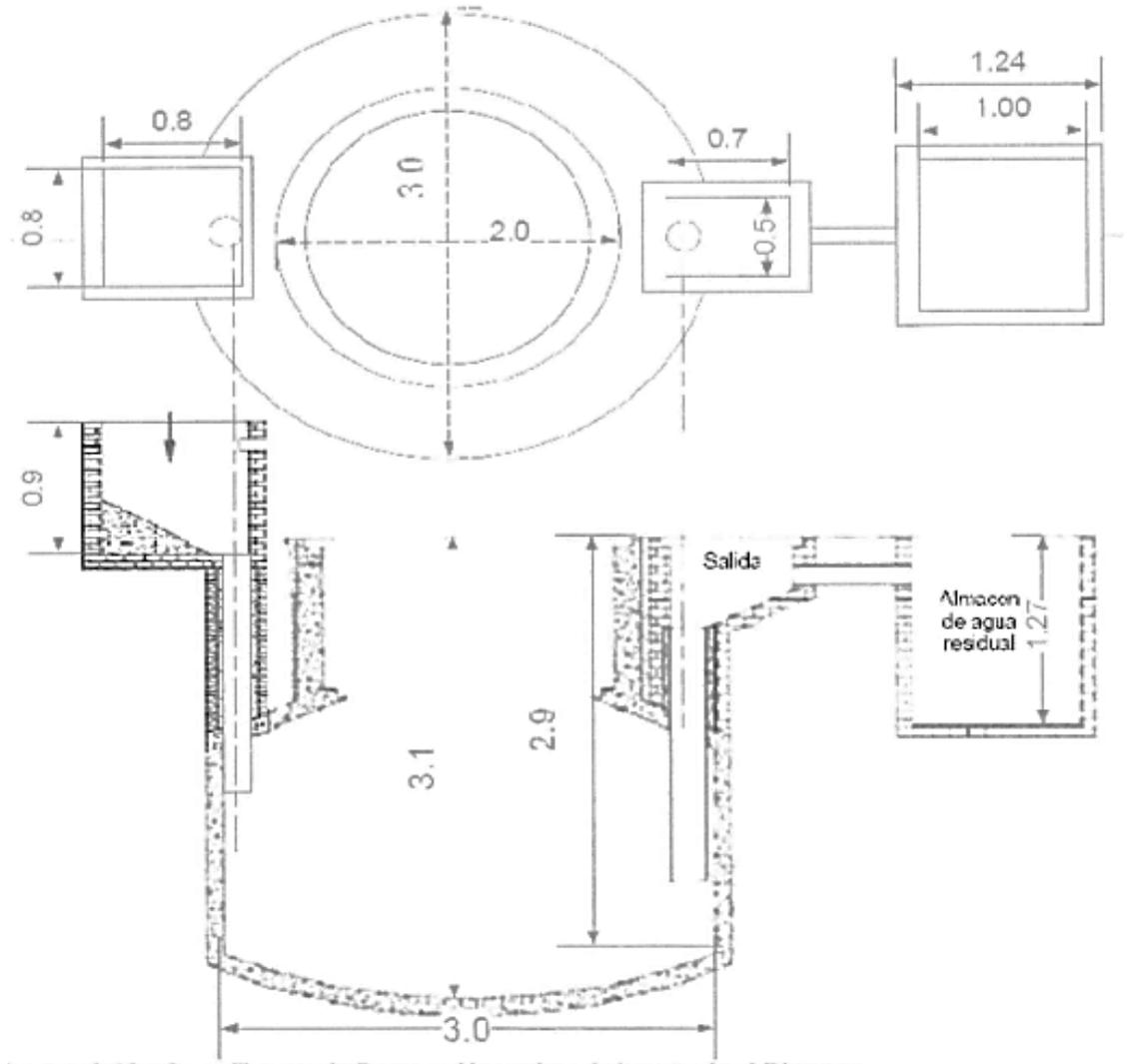
No obstante, desde el punto de vista biológico, los sistemas en continuo pueden degradar mayor volumen de sustrato que los semicontinuos, puesto que en estos casos la alimentación se presenta intermitentemente en exceso y en defecto.

El digestor es el utilizado en la planta de biogás de San Marcos, es un tipo de digestor de Alta Velocidad o Flujo Inducido (Figura 11), generalmente estos trabajan a presión constante. Se diferencian de los digestores convencionales en que se les ha agregado una agitación mecánica continua o intermitente, que permite al material aún no digerido, entrar en contacto con las bacterias activas y así obtener buena digestión de la materia orgánica con tiempos de retención hidráulica relativamente cortos, de hasta 15 días.

Este es un concepto nuevo dentro de la tecnología de fermentación anaeróbica, combina las ventajas de varios tipos de digestores en una sola unidad, facilitando el manejo y procesamiento de material biodegradable de diverso origen y calidad.

El tiempo de operación continua de estos equipos es bastante largo y requiere un mínimo de atención al momento de cargarlos, como es el evitar introducir elementos extraños tales como arena, piedra, metal, plásticos o cualquier otro tipo de material lento o imposible de digerir. Luego de unos cuatro o cinco años se debe detener el funcionamiento para hacer una limpieza general y retirar sedimentos indigeridos. Este nuevo modelo de digestor retiene la materia de origen vegetal, que normalmente tiende a flotar, dentro de las zonas de máxima actividad bacteriana.

Figura 11. Digestor de 10m³ con Tanque de Preparación Encima de la Entrada del Digestor Utilizado en la Planta de Biogás de San Marcos, Carazo



Fuente. González, 2012

4.3.4.2. Etapas de la digestión anaerobia (DA)

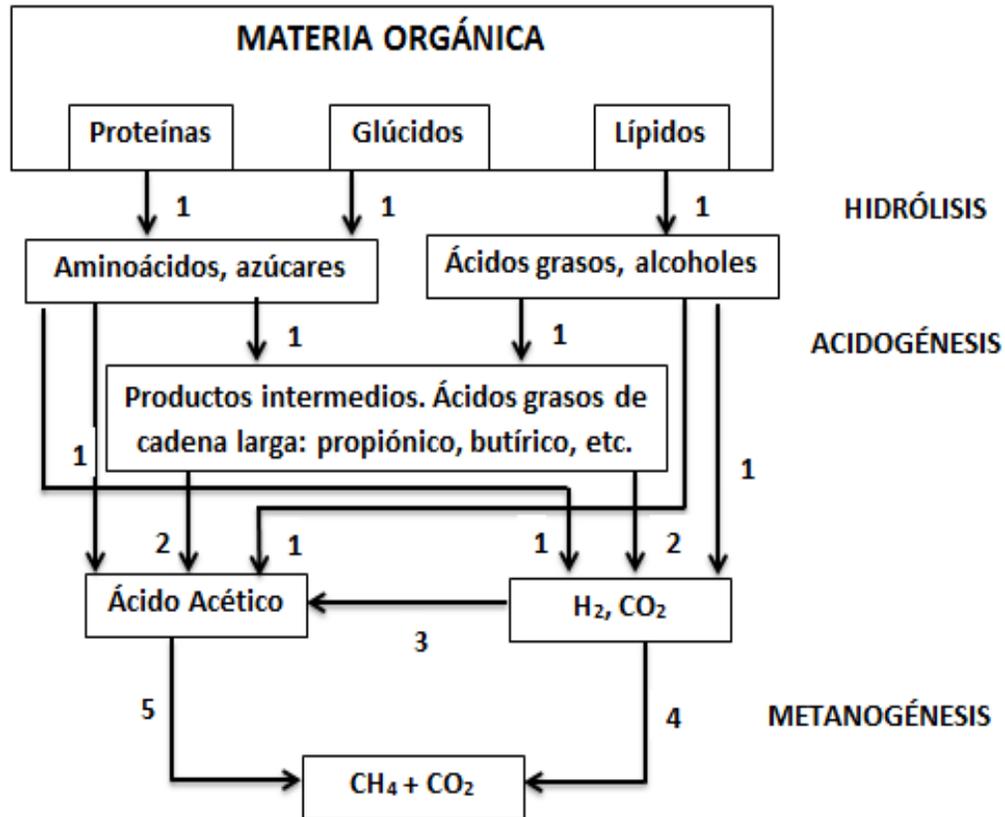
Hidrolisis: Requiere la participación de las llamadas exoenzimas que son secretadas por las bacterias fermentativas y permiten el desdoblamiento de la MO.

Acidogénesis: Los compuestos disueltos son absorbidos en las células de las bacterias fermentativas y después por las acidogénicas, excretados como sustancias orgánicas simples como ácidos grasos volátiles, alcoholes, ácido láctico y compuestos como CO_2 , H_2 , NH_3 , H_2S , etc.

Acetogénesis: En esta etapa, dependiendo del estado de oxidación del material orgánico a ser digerido, la formación del ácido acético puede ser acompañada por el surgimiento de CO_2 o H_2 .

Metanogénesis: Limita la velocidad del proceso de digestión. El metano es producido por las bacterias acetotróficas a partir de la reducción del ácido acético o por las bacterias hidrogenotróficas a partir de la reducción del CO_2 .

Figura 12. Fases de la digestión anaerobia



Fuente. Pozuelo, Flotats i Ripoll y Bonmatí i Blasi, s.f.

Fases de la Digestión Anaerobia y Poblaciones Bacterianas que intervienen.

1. Bacterias acidogénicas, 2. Bacterias acetogénicas, 3. Bacterias homoacetogénicas, 4. Bacterias metanogénicas hidrogenófilas, 5. Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

4.3.4.3. Factores que influyen en la digestión anaerobia

Humedad: Para un correcto desarrollo de la digestión anaerobia, se necesita una humedad superior al 75%, ya que las reacciones metabólicas se desarrollan en medio líquido. Este grado de humedad permite también una distribución homogénea de nutrientes y microorganismos.

pH: A pesar de que cada uno de los grupos de microorganismos que toman parte en el proceso anaerobio tiene un rango propio de pH óptimo, el proceso se desarrolla correctamente si el pH está próximo a la neutralidad.

Poder tampón (Buffer): Se define como la capacidad de un sistema para amortiguar la modificación del pH. La principal sustancia que amortigua las modificaciones de pH es el bicarbonato.

Potencial redox: Es un indicador de la presencia/ausencia de oxígeno. La digestión anaerobia se desarrolla en un ambiente fuertemente reductor. Los potenciales redox óptimos son inferiores a los -350mV. No obstante, el proceso se puede desarrollar hasta valores próximos a los -200mV.

Nutrientes: Es imprescindible la presencia de macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes en concentraciones adecuadas. Hay que destacar que el exceso de nitrógeno provoca problemas por inhibición de las bacterias metanogénicas.

Estabilidad, inhibición y toxicidad: Para que la digestión aerobia se realice de manera adecuada, es necesario que las etapas que conforman el proceso se desarrollen encadenadamente y a velocidades similares. Por ejemplo, la generación de ácidos en la etapa acidogénica tiene que ser similar al consumo de estos por parte de las bacterias metanogénicas; una acumulación de ácidos provocaría la inhibición del proceso. Así mismo, concentraciones elevadas de determinadas sustancias (AGV, NH₃, H₂S, determinados iones, metales pesados, antibióticos, desinfectantes) pueden provocar fenómenos de inhibición y/o toxicidad.

Temperatura: El proceso anaerobio se puede desarrollar a tres rangos de temperatura: psicrófilo T^a óptima 20°C, mesófilo T^a óptima 37°C y termófilo T^a óptima 55°C. En general se puede afirmar que a mayor temperatura mayor velocidad de proceso, no obstante es aconsejable que la temperatura sea próxima a la óptima en cada uno de los rangos.

Agitación: La agitación del residuo dentro del reactor para posibilitar el contacto entre los microorganismos y el residuo es clave para el proceso. La agitación ha

de ser suficientemente energética para producir una mezcla homogénea, pero no ha de ser tan intensa que rompa los agregados bacterianos. La agitación puede ser mecánica o neumática mediante la compresión e inyección del biogás generado.

Velocidad de Carga Orgánica (VCO): La Velocidad de Carga Orgánica (VCO) es la cantidad de materia orgánica introducida por unidad de volumen y tiempo. Valores bajos implican baja concentración en el influente y/o elevado tiempo de retención. El incremento en la VCO implica una reducción en la producción de gas por unidad de materia orgánica introducida.

La diferencia básica entre las tecnologías de digestión anaerobia es el nivel de concentración de sólidos en el proceso de digestión.

• **Digestión anaerobia de baja concentración**

La digestión anaerobia de baja concentración se trata de un proceso anaerobio con elevada dilución que se desarrolla en concentraciones de sólidos iguales o menores que el 4-8%. (Tchobanoglous, Theisen, & Vigil, 1994)

Entre las desventajas de este proceso está el requerimiento de grandes cantidades de agua y de energía para que la concentración de sólidos se mantenga en el rango requerido. Además se requiere la deshidratación del efluente líquido producido.

• **Digestión anaerobia de alta concentración**

La digestión anaerobia de alta concentración se produce con una concentración de sólidos del 22% o más. Tchobanoglous recomienda concentraciones de sólidos del 22% al 28%.

Las principales ventajas que presenta la digestión anaerobia de alta concentración son los bajos requerimientos de agua para la dilución del residuo, menores

requerimientos para la deshidratación del residuo final y mayor producción de biogás por unidad de volumen del digestor.

La concentración de sólidos también puede expresarse en función la cantidad de Sólidos Volátiles (SV) por unidad de volumen del biodigestor. En diferentes estudios realizados se encuentran registros de biodigestores operando con tasas desde 0.5 a 20 kgSV/m³ *día. (Mandujano, 2001)

Entre las ventajas de este sistema se mencionan:

- Menor tiempo de operación
- Evita la formación de una costra de material dentro del digestor
- Logra la dispersión de materiales inhibitorios de la acción metabólica de las bacterias, impidiendo concentraciones localizadas de material potencialmente tóxico para el sistema
- Ayuda a la desintegración de partículas grandes en otras más pequeñas, que aumentan el área de contacto y por lo tanto la velocidad de digestión
- Mantiene una temperatura más uniforme de la biomasa dentro del digestor para una reacción y degradación más uniformes
- Inhibe el asentamiento de partículas biodegradables de mayor tamaño
- Permite una separación más rápida y el ascenso del gas a medida que se va formando dentro del digestor
- Mejora las condiciones de control y estabilidad de la biomasa dentro del digestor

Tiempo de Retención Hidráulica. El Tiempo de Retención Hidráulica (TRH), es uno de los principales parámetros de operación y control de los sistemas anaerobios, ya que afecta al funcionamiento del reactor y al nivel de las distintas poblaciones bacterianas que se establecen en el medio.

Se define como el tiempo que el sustrato (residuo) pasa dentro del reactor, sometido a la actividad de los microorganismos. Por lo tanto, a mayor tiempo de retención más degradación de la materia orgánica y mayor generación de biogás.

No obstante, se debe llegar a un compromiso entre el tiempo de retención y la inversión necesaria para la construcción del reactor.

El TRH está en estrecha relación con el volumen del biodigestor y la concentración de sólidos a la cual opera. En procesos de digestión anaerobia de residuos en alta concentración, el TRH disminuye permitiendo una reducción del volumen del biodigestor.

4.3.4.4. Subproductos de la biogásificación

- **Biogás**

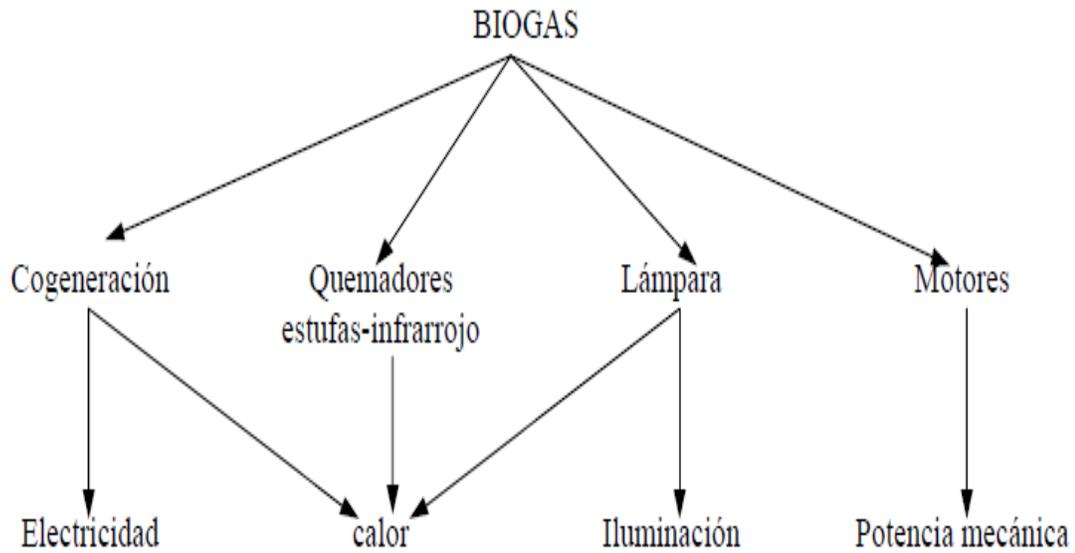
Se llama biogás al gas que se produce mediante un proceso metabólico de descomposición de la materia orgánica sin la presencia del oxígeno del aire. La generación natural de biogás es una parte importante del ciclo biogeoquímico del carbono. De modo natural se produce en la putrefacción de la materia orgánica y se llama gas de los pantanos o gas natural. También hay diferente material en descomposición de donde se puede extraer el biogás; estiércol animal y humano, lagos, grasas, residuos sólidos municipales y agrícolas que tengan un contenido alto en materia orgánica.

El principal componente del biogás es el metano producto de bacterias; es el último eslabón en una cadena de microorganismos que degradan material orgánico y devuelven los productos de la descomposición al medio ambiente.

a) Usos del biogás

En principio el biogás puede ser utilizado en cualquier tipo de equipo comercial para uso de gas natural.

Figura 13. Usos del biogás



Fuente. Bautista, 2010

Las cocinas y calentadores son fácilmente modificables, agrandando el paso del gas de los quemadores. Las heladeras domesticas constituyen un interesante campo de aplicación directo del biogás debido a que tienen un consumo parejo y distribuido a lo largo de las 24 horas del día lo cual minimiza la necesidad de almacenaje del gas. Los quemadores infrarrojos comúnmente utilizados en la calefacción de ambientes (especialmente en criadores y parideras) presentan como ventaja su alta eficiencia lo cual minimiza el consumo de gas para un determinado requerimiento térmico.

A los motores de Ciclo Diésel se les agrega un mezclador de gases con un sistema de control manteniendo el sistema de inyección convencional. De esta manera estos motores pueden funcionar con distintas proporciones de biogás diésel y pueden convertirse fácil y rápidamente de un combustible a otro lo cual los hace muy confiables.

b) Propiedades químicas del biogás

El biogás lo constituye una mezcla de gases combustibles que a continuación se componen de la siguiente manera: (Ver tabla 1).

Tabla 1. Propiedades químicas del biogás

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

Fuente. Tchobanougus, Theisen, & Vigil, 1994

c) Propiedades físicas del biogás

El biogás es incoloro, indoloro e insaboro, pero los otros gases que contiene el biogás en especial el sulfuro de hidrógeno, dan a este, un olor característico a pantano o a huevo podrido. (Ver tabla 2).

Tabla 2. Propiedades físicas del biogás

Presión	8 – cm.c.a.
Presión crítica	42 Atm (82 bar)
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	1.2 Kg/m ³

Fuente. Tchobanougus, Theisen, & Vigil, 1994

d) Tratamiento del biogás

Acumulación: Se puede acumular con entrega a presión variable o a presión constante. Una de las formas es en el propio digestor, en general, se aplican para

regular consumos cotidianos. Tienen la ventaja de su bajo costo relativo y la facilidad que brinda para su transporte. El sistema más común de acumulación para instalaciones fijas, con entrega de gas a presión constante, es el gasómetro.

Condensación: Uno de los componentes de biogás es el vapor de agua, que puede estar presente en cantidades más o menos apreciables. Cuando el biogás sale del digestor, a través de la tubería de conducción, se somete a una disminución de la temperatura, ocasionando la condensación de la humedad, fenómeno que puede obstruir la tubería. Para una mejor condensación la tubería de conducción con una inclinación hacia el digestor, buscando con ello que el agua fluya de regreso.

Remoción Ácido Sulhídrico: El ácido sulhídrico (H_2S), es uno de los principales componentes de las mezclas de gases sulfurados reducidos emitido. Cuando se utiliza el biogás como combustible para motores, el H_2S reacciona con el oxígeno y con el vapor de agua, produciendo ácido sulfúrico, lo cual puede causar daños internos en un motor.

- **Efluente líquido**

El proceso fermentativo y de producción de biogás no extrae más que carbono, trazas de azufre, hidrógeno y algo de nitrógeno por reducción de NH_3 . La viscosidad del efluente se ve reducida drásticamente debido a la transformación de los sólidos volátiles (un 50% de los mismos son reducidos en un digestor en régimen). Esto hace al efluente mucho más manejable para su utilización.

El efluente carece prácticamente de olor debido a que las sustancias provocadoras del mal olor son reducidas casi en su totalidad en función al tiempo de retención. La relación Carbono/Nitrógeno se ve reducida mejorando en forma general el efecto fertilizante del efluente. Todos los nutrientes utilizados por los vegetales en forma importante (nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio) al igual que los elementos menores son preservados durante la fermentación.

4.4. Solución energética

La instalación de biodigestores trae consigo grandes beneficios económicos, ya que tiene diferentes usos: produce gas metano, el cual se puede utilizar para la calefacción; y en la iluminación, reduciendo así el uso de energía eléctrica convencional. Esta es una forma de producir energía que no es contaminante ni en el proceso de su producción ni en su combustión, contrario a lo que sucede con los combustibles fósiles.

Contribuyen a reducir los niveles de deforestación por el menor uso de leña con fines energéticos.

El biogás producido por los biodigestores tiene una gran diversidad de usos: alumbrado, cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, transporte automotor y otros.

Países como China e India, emplean de manera tradicional el biogás como combustible para calefacción, cocina e iluminación.

La utilización de biogás puede sustituir a la electricidad, al gas propano y al diesel como fuente energética en la producción de electricidad, calor o refrigeración. En el sector rural el biogás puede ser utilizado como combustible en motores de generación eléctrica para autoconsumo de la finca o para vender a otras. Puede también usarse como combustible para hornos de aire forzado, calentadores y refrigeradores de adsorción.

V. DISEÑO METODOLÓGICO

5.1. Tipo de investigación

La investigación a desarrollar es del tipo aplicada.

5.2. Universo de estudio

En el trabajo de investigación desarrollado se evaluó la eficiencia de los Digestores de Presión Hidráulica (DPH), trabajados estos con Residuos Sólidos Municipales Orgánicos (RSMO) de tipo urbano, en los que se incluyen los residuos sólidos domésticos de la ciudad de San Marcos, Carazo y en su mayoría alimentada por los residuos generados en las plantas agroindustriales aledañas a la ciudad.

5.3. Caracterización físico - química de los sustratos

5.3.1. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya (Residuos de plantas agroindustriales)

El muestreo de los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) de plantas agroindustriales se hizo, seleccionando el sitio de recolección de más fácil acceso. Se identificaron las plantas agroindustriales generadoras de Residuos Sólidos Orgánicos, que están ubicadas en sectores aledaños a la Planta de Biogás y de fácil acceso para esta.

Para esto, el sustrato que fue utilizado es la cáscara de Pitahaya, una fruta tropical, cosechada ampliamente en las zonas aledañas y que actualmente es procesada industrialmente. La selección de este sustrato, es porque al momento de realizar el estudio ya la planta se encontraba operando con este, debido a que era el principal residuo generado en la planta agroindustrial abastecedora.

5.3.2. Sustrato 2: Residuos Sólidos Urbanos Orgánicos separados en el vertedero

Se realizó un muestreo de los RSU para todo el municipio a fin de determinar la Producción Per Cápita (PPC), Densidad y Composición Física. Esta información

fue muy útil para poder proyectar la cantidad y composición física de los RSU; y luego estimar la eficiencia de los digestores con este sustrato.

Para la determinación de la muestra se utilizó el Método de Muestreo en la Fuente, considerando el siguiente proceso:

- El programa de muestreo cubrió ocho días consecutivos, descartando la muestra tomada el primer día de recolección, ya que se desconoce la duración del almacenamiento para esa muestra.
- La duración de ocho días de muestra se definió en función de estudiar las posibles variaciones en la producción durante toda la semana y así obtener la mayor precisión posible para los datos obtenidos.
- El número de muestras para la determinación de la Producción Per Cápita (PPC), en el casco urbano se obtuvo aplicando el Método de Muestreo Simple Aleatorio, es un método de selección de unidades tomadas de un total de viviendas N, de tal forma que cada una de las muestras posibles tengan la misma posibilidad de ser escogida.
- Según dicho método, se puede determinar el tamaño necesario de la muestra (n) por la siguiente ecuación:

Ecuación 1:

$$n = \frac{V^2}{\left(\frac{E}{1.96}\right)^2 + \frac{V^2}{N}}$$

Donde:

n: número de viviendas a probar aleatoriamente

V: desviación estándar de variables xi (xi = PPC de la vivienda i) (gr/hab/día)

E: error permisible en la estimación de PPC (gr/hab/día)

N: número total de viviendas del estrato en cuestión

- La muestra se calculó en base a los siguientes parámetros estadísticos:
 - a) porcentaje de confiabilidad igual al 95%,
 - b) un error permisible de 50 gr/hab/día y
 - c) una desviación estándar de 200 gr/hab/día.

- Dos días antes al inicio de la recolección se realizó la distribución de las viviendas de forma aleatoria procurando la mayor representatividad posible. Para tal fin, se realizará un recorrido sobre las vías orientadas Oeste – Este y luego Norte – Sur, de tal manera que sobre cada cuadra se seleccionó una vivienda, quedando al final cuadro viviendas por cada manzana, una en cada cuadra.

- Después de la selección de viviendas se hizo una visita explicativa a cada una de ellas, explicando la dinámica del método de muestreo y de los objetivos del estudio en general. A cada unidad se le hizo entrega de una bolsa plástica para la recolección de los residuos y se le asignó un número o código de identificación, el cual consistió en las primeras tres letras del nombre de cada barrio seguido del número de vivienda seleccionada en orden consecutivo.

- Cada día de muestreo, los recolectores entregaron una bolsa plástica a cada vivienda a cambio de la bolsa llena de basura, marcándola para su identificación.

5.4. Métodos generales y particulares empleados

5.4.1. Caracterización de los residuos sólidos

Se realizó la caracterización físico - química de los diferentes sustratos con que fueron alimentados los biodigestores. Los análisis de laboratorio para la obtención de estos parámetros se realizaron en los Laboratorios Ambientales del Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales (PIENSA) utilizando el Standard Methods 21st edition, 2000.

Para los dos sustratos utilizados se determinaron los siguientes parámetros:

- **Densidad**

La densidad suelta de los sustratos se obtuvo dividiendo su peso total en kilogramos entre su volumen total en metros cúbicos.

Para el cálculo de la densidad se utilizó un recipiente con un volumen de 0.022 m³
Para evitar que hubiese espacios vacíos se realizaron movimientos fuertes de manera circular para que la basura se asentara.

El cálculo de la densidad se realizó mediante el uso de la siguiente expresión matemática:

Ecuación 2:

$$\text{Densidad (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Peso (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

- **Humedad**

Método Analítico 2540 – A. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **pH**

Se determinó por el Método Potenciométrico (4500-H+) establecido en el Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Alcalinidad Total**

Método Analítico 2320 – B. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Materia seca**

Método Analítico 2540 – A. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Materia volátil y cenizas**

Método Analítico 2540 – E. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Nitrógeno total**

Método Indirecto. Obtenido de la sustracción entre Nitrógeno total y Nitrato más Nitrito.

- **Carbono total y materia orgánica**

Método Analítico 5220 – C. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Fósforo total**

Método Analítico 4500 - C. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Volumen de desechos sólidos utilizados**

El cálculo volumétrico de los desechos sólidos se hizo en base al volumen de capacidad de los digestores.

5.5. Arranque y operación de la planta

Al momento del inicio del estudio la Planta ya estaba operando de manera estable. Para el arranque de la planta los biodigestores fueron inoculados con lodos provenientes de una planta demostrativa ubicada en las instalaciones de la Universidad Politécnica de Nicaragua (UPOLI) en la ciudad de Managua.

5.5.1. Recolección de RSU

Los RSU de las plantas agroindustriales fueron recolectados y transportados hasta el sitio de la Planta de Biogás por el personal de dichas empresas.

Los RSUO domésticos fueron recolectados en los distintos barrios de la ciudad a través del Sistema de Recolección Municipal para luego ser transportados hasta un predio aledaño a la Planta de Biogás y posteriormente separar manualmente la fracción orgánica. (Fotografía 5).

Fotografía 5. Recolección de Muestra de Biol



Fuente. Elaboración propia

Fotografía 6. Almacenamiento Temporal de RSU



Fuente. Elaboración propia

5.5.2. Almacenamiento

Para el almacenamiento de los distintos sustratos se utilizaron depósitos de 0.2 m³ y fosas recubiertas con plástico de polietileno color oscuro. (Fotografía 6).

5.5.3. Selección y pesaje

Del volumen de residuos almacenados se procedió a la separación de la fracción orgánica. Posteriormente se realizó el pesaje según la carga a alimentar para cada sustrato. (Fotografía 7)

Fotografía 7. Pesaje de Residuos Sólidos Orgánicos



Fuente. Elaboración propia

Fotografía 8. Triturado de RSU



Fuente. Elaboración propia

5.5.4. Triturado y mezcla de RSU

A pesar de que la planta cuenta con Trituradoras de Materia Orgánica, estas no pudieron ser operadas a causa de no existir una conexión a la red de energía eléctrica y a que el biogás producido no es suficiente para operar el generador eléctrico propio de la planta.

Cada sustrato utilizado en la alimentación de la planta fue picado manualmente utilizando palas metálicas y machetes. La biomasa fue picada hasta alcanzar una masa homogénea con partículas de aproximadamente 3 cm en promedio. (Fotografía 8).

Posteriormente fue llevada hasta la pila de mezcla agregándose un volumen de agua equivalente al volumen del sustrato para obtener una relación 1:1. La mezcla fue agitada hasta lograr su homogenización para luego ser descargada a cada biodigestor. (Fotografía 9).

Fotografía 9. Homogenización de la mezcla de alimentación



Fuente. Elaboración propia

5.5.5. Alimentación

Los biodigestores fueron alimentados diariamente con un peso de biomasa variable según el sustrato a utilizar. Para el Sustrato 1 (cáscara de Pitahaya) se alimentó con 250 lbs y para el Sustrato 2 (RSU separados) se utilizó 120 lbs diarias.

5.6. Monitoreo de parámetros de operación

5.6.1. Temperatura

La temperatura fue medida en la muestra obtenida directamente una vez al día de la primera descarga en el pozo de biol. Se utilizó un Termómetro marca TEL – TRU Germanow.

5.6.2. pH

En la primera muestra recogida diariamente en la descarga de la pila de biol. Se midió el valor de pH a fin de tener un valor aproximado del valor de pH con que

operan los biodigestores. Se utilizó un pH metro marca PH Meter, modelo PH- 009 (I). (Fotografía 10).

Fotografía 10. Medición de pH



Fuente. Elaboración propia

5.6.3. Velocidad de carga orgánica

Conocido el volumen de sustratos con que se alimentó cada digestor y la concentración del sustrato se calculó la Velocidad de Carga Orgánica (VCO).

Ecuación 3:

$$VCO(\text{kg}/\text{m}^3 * \text{día}) = \frac{Q * S}{V}$$

Donde:

Q: caudal de alimentación del sustrato ($\text{m}^3/\text{día}$)

S: concentración de sustrato en la alimentación (kg/m^3)

V: volumen del biodigestor (m^3)

5.6.4. Tiempo de retención hidráulica (TRH)

El TRH se calculó como la relación entre el biodigestor y el caudal de alimentación del sustrato.

Ecuación 4

$$\text{TRH (días)} = \frac{Q}{V}$$

Donde:

Q: caudal de alimentación del sustrato (m³/día)

V: volumen del biodigestor (m³)

5.7. Producción de biogás

5.7.1. Medición de biogás producido

El volumen de biogás producido se obtuvo mediante el registro de las lecturas de un medidor de flujo de gases instalado en la Planta de Biogás. Para ello se llevó un registro diario de las lecturas del medidor. (Fotografía 11).

Fotografía 11. Medidor de flujo de gas



Fuente. Elaboración propia

5.7.2. Toma de muestras

Las muestras de biogás fueron tomadas directamente en el gasoducto antes de llegar al tanque de eliminación de vapor de agua. Para la toma de muestras se utilizaron bolsas SKC Quality Sample Bag Catalog Number: 231 - 20 de 40 lts de capacidad. (Fotografía 12).

Fotografía 12. Toma de muestras de biogás



Fuente. Elaboración propi

5.7.3. Generación de metano

Se realizó prueba de laboratorio para determinar la producción de metano como porcentaje del biogás generado. Dichos análisis fueron realizados en el Laboratorio de Aguas Residuales del Programa BIOMASA de la Universidad Nacional de Ingeniería.

El método de análisis utilizado fue el de Desplazamiento de Líquidos utilizando Hidróxido de Sodio (NaOH).

El método consiste en utilizar una solución concentrada de NaOH en un rango entre 15 – 20 g/lit. A medida que el biogás pasa a través de estas soluciones de pH alto, el CO₂ del biogás se convierte en carbonato y es absorbido dentro del líquido.

Únicamente el gas metano pasa a través de la solución y un volumen equivalente es impulsado a fuera de la botella de Mariotte. El líquido desplazado puede medirse en un cilindro graduado o puede pesarse. Si se pesa el líquido, debe medirse también su densidad para calcular el volumen.

5.7.4. Eficiencia de estabilización de RSU

5.7.4.1. Calidad de lixiviado

Para la obtención de las muestras de lixiviado se tomó una muestra de aproximadamente 10 kg de cada sustrato en la alimentación de los digestores. (Fotografía 13).

Luego dicha muestra fue depositada en un recipiente y dejada en reposo durante 12 días, tiempo en que se considera se ha agotado todo el oxígeno presente. El recipiente fue perforado en el fondo a fin de permitir el paso del lixiviado hasta un recipiente más pequeño que permitió la recolección de la muestra.

Fotografía 13. Proceso de lixiviación de sustratos



Fuente. Elaboración propia

Una vez obtenida la muestra, ésta fue llevada hasta los Laboratorios Ambientales del PIENSA donde se analizaron los siguientes parámetros:

- **Potencial hidrógeno (pH)**

Se determinó por el Método Potenciométrico (4500-H+) establecido en el Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Método Analítico 5210 – B. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Método Analítico 5220 – C. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Nitrógeno Total**

Método Indirecto. Obtenido de la sustracción entre Nitrógeno total y Nitrato más Nitrito.

- **Fósforo Total**

Método Analítico 4500 - C. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Potasio**

Método Analítico 3500 - C. Standard Methods 21st edition, 2000.

5.7.4.2. Calidad del Biol

La muestra de Biol fue recolectada directamente de la descarga de los biodigestores en la pila de biol. Las muestras fueron analizadas en los Laboratorios Ambientales del PIENSA donde se examinaron diferentes parámetros de calidad tanto para el efluente líquido como para los lodos.

5.7.4.2.1. Efluente líquido

- **Potencial Hidrógeno (pH)**

Se determinó por el Método Potenciométrico (4500-H+) establecido en el Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

Método Analítico 5210 – B. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Método Analítico 5220 – C. Standard Methods 21st edition, 2000.

5.7.4.2.2. Lodos

- **Nitrógeno Total**

Método Indirecto. Obtenido de la sustracción entre Nitrógeno total y Nitrato más Nitrito.

- **Fósforo Total**

Método Analítico 4500 - C. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Potasio**

Método Analítico 3500 - C. Standard Methods 21st edition, 2000.

- **Alcalinidad**

Método Analítico 2320 - B. Standard Methods 21st edition, 2000.

VI. ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

5.1. Residuos sólidos municipales en San Marcos

5.1.1. Muestra

De la aplicación del método descrito en la metodología se obtuvo un tamaño de muestra de 58 viviendas para el casco urbano del municipio de San Marcos. (Anexo 1).

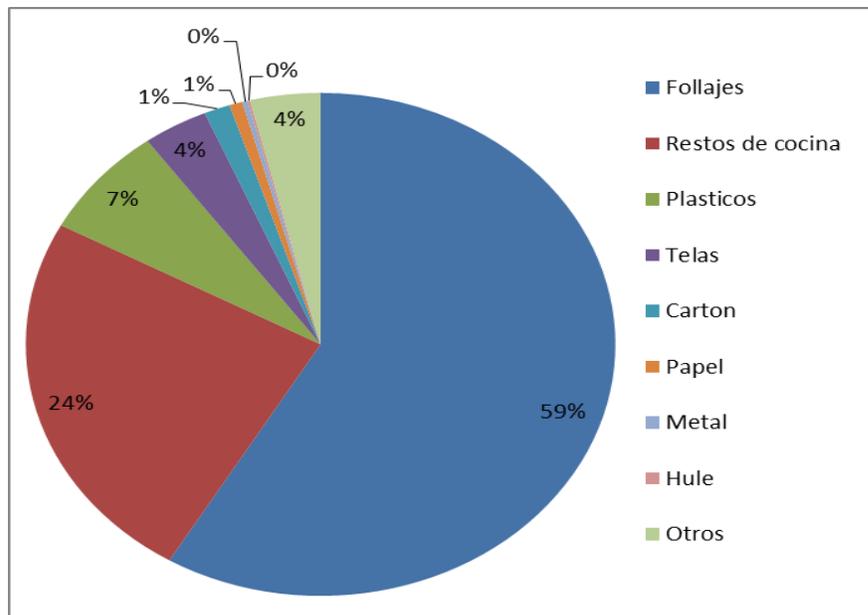
5.1.2. Producción

Según estudio de Caracterización de los Residuos Sólidos Municipales de San Marcos, la Producción Per Cápita (PPC) en el casco urbano del municipio de San Marcos es de 0.55 kg/hab/día, con un volumen total de generación de 79.70 m³/día. (Pérez & Herrera, 2013).

5.1.3. Caracterización física

En el municipio de San Marcos el 83% del volumen de residuos sólidos corresponden a la Fracción Orgánica, compuesta mayormente por follajes o residuos de jardín, y restos de comida. (Gráfico 1).

Gráfico 1. Clasificación de RSU



Fuente. Pérez & Herrera, 2013

5.2. Caracterización físico - química de los sustratos

De medición de campo y de los análisis de laboratorio se obtuvieron los parámetros que definen la composición física – química (Tabla 3), de los sustratos utilizados. (Análisis de Laboratorios en Anexo 2 y 3).

Tabla 3. Características Físico - química de los sustratos

Parámetro	Unidad	Sustrato	
		Cáscara de Pitahaya	FORSU
Densidad Suelta	Kg/m ³	650.99	367.43
Potencial Hidrógeno	pH	3.89	5.27
Humedad	%	90.10	43.21
Alcalinidad	g/Kg	<0.0002	8.62
Materia Seca	%	19.53	90.61
Materia Volátil	%	90.43	42.59
Cenizas	%	9.57	48.02
Nitrógeno Total	g/Kg	0.0012	1.78
Carbono Total	g/Kg	0.17	30.56
Fósforo Total	gP ₂ O ₅ /%MS	0.00017	4.28
Materia Orgánica	g/Kg	0.32	57.67

Fuente. Elaboración propia

5.3. Parámetros de Operación de la Planta

A continuación se presentan los valores de Temperatura y pH a los cuales operaron los digestores durante el periodo de monitoreo. (Tabla 4 y 5)

Tabla 4. Valores de temperatura y pH

N°	Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya			Sustrato 2: RSU Separados		
	Fecha	T°C	pH	Fecha	T°C	pH
1	10/09/2013	26	-	08/10/2013	21	7.5
2	11/09/2013	24	-	09/10/2013	26	7.5
3	12/09/2013	24	-	10/10/2013	27	7.4
4	13/09/2013	24	-	11/10/2013	27	7.5
5	14/09/2013	24	-	12/10/2013	25	7.4
6	16/09/2013	24	-	14/10/2013	26	7.5
7	17/09/2013	25	-	15/10/2013	25	7.4
8	18/09/2013	24	-	16/10/2013	25	7.5
9	19/09/2013	24	-	17/10/2013	25	7.4
10	20/09/2013	24	7.1	18/10/2013	25	7.6
11	21/09/2013	26	7.3	19/10/2013	26	7.5
12	23/09/2013	25	7.4	21/10/2013	25	7.4
13	24/09/2013	24	7.2	22/10/2013	25	7.5
14	25/09/2013	24	7.3	23/10/2013	25	7.5
15	26/09/2013	24	7	24/10/2013	24	7.6
16	27/09/2013	25	7	25/10/2013	25	7.5
17	28/09/2013	25	7.3	26/10/2013	25	7.6
18	30/09/2013	25	7.3	28/10/2013	24	7.5
19	01/10/2013	25	7.4	29/10/2013	25	8.4
20	02/10/2013	25	7.7	30/10/2013	25	8.5
21	03/10/2013	24	7.4	31/10/2013	24	7.6
22	04/10/2013	25	7.4	01/11/2013	25	7.7
23	05/10/2013	26	7.4	02/11/2013	25	7.7
24	-	-	-	04/11/2013	26	7.7
25	-	-	-	05/11/2013	25	7.6
26	-	-	-	06/11/2013	25	76.7

Tabla 4. Valores de temperatura y pH

27	-	-	-	07/11/2013	24	7.8
28	-	-	-	09/11/2013	24	7.7
	Promedio	25	7.3	Promedio	25	7.6

Los valores de temperatura a la cual operaron los digestores durante el periodo de estudio varían entre los 24 y 26 grados, lo que corresponde a un rango mesofílico. Sin embargo este valor se considera bajo dado a que el biodigestor se encuentra bajo tierra, lo cual infiere para que no existan variaciones de temperatura significativas que pudieran atribuirse a la estructura de concreto de la cual están contruidos ni a su ubicación subterránea.

El pH promedio para el sustrato 1 fue de 7.3 y 7.6 para el sustrato 2. Este parámetro se encuentra dentro del rango normal según la literatura consultada. La homogeneidad del pH a lo largo del tiempo de muestreo puede deberse a que se mantuvo constante el tipo y concentración del sustrato.

5.3.1. Velocidad de carga orgánica

El valor de VCO durante el monitoreo fue la misma para cada sustrato dado que el caudal y la concentración de alimentación se mantuvo constante para cada uno de ellos.

Sustrato 1

$$VCO = \frac{(0.32 \text{ m}^3/\text{día})(2.01 \text{ kgSV}/\text{m}^3)}{10 \text{ m}^3}$$

$$VCO = 0.06 \text{ kgSV}/\text{m}^3 * \text{día}$$

Sustrato 2

$$VCO = \frac{(0.30 \text{ m}^3/\text{día})(2.10 \text{ kgSV}/\text{m}^3)}{10 \text{ m}^3}$$

$$VCO = 0.07 \text{ kgSV}/\text{m}^3 * \text{día}$$

La notable diferencia en el volumen de compensación requerido por cada biodigestor para cada sustrato se sustenta en que el peso con que se alimentó para el sustrato 1 fue el doble que el utilizado para el sustrato 2 (250 lbs y 120 lbs respectivamente).

Además el Sustrato 1 contiene casi el doble de Sólidos Volátiles por Kg de peso que el Sustrato 2. (90.10 % SV y 42.59% SV respectivamente).

5.3.2. Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Sustrato 1

$$\text{TRH(días)} = \frac{10 \text{ m}^3}{0.32 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\text{TRH(días)} = 31.25 \text{ días}$$

Sustrato 2

$$\text{TRH(días)} = \frac{10 \text{ m}^3}{0.30 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\text{TRH(días)} = 33.33 \text{ días}$$

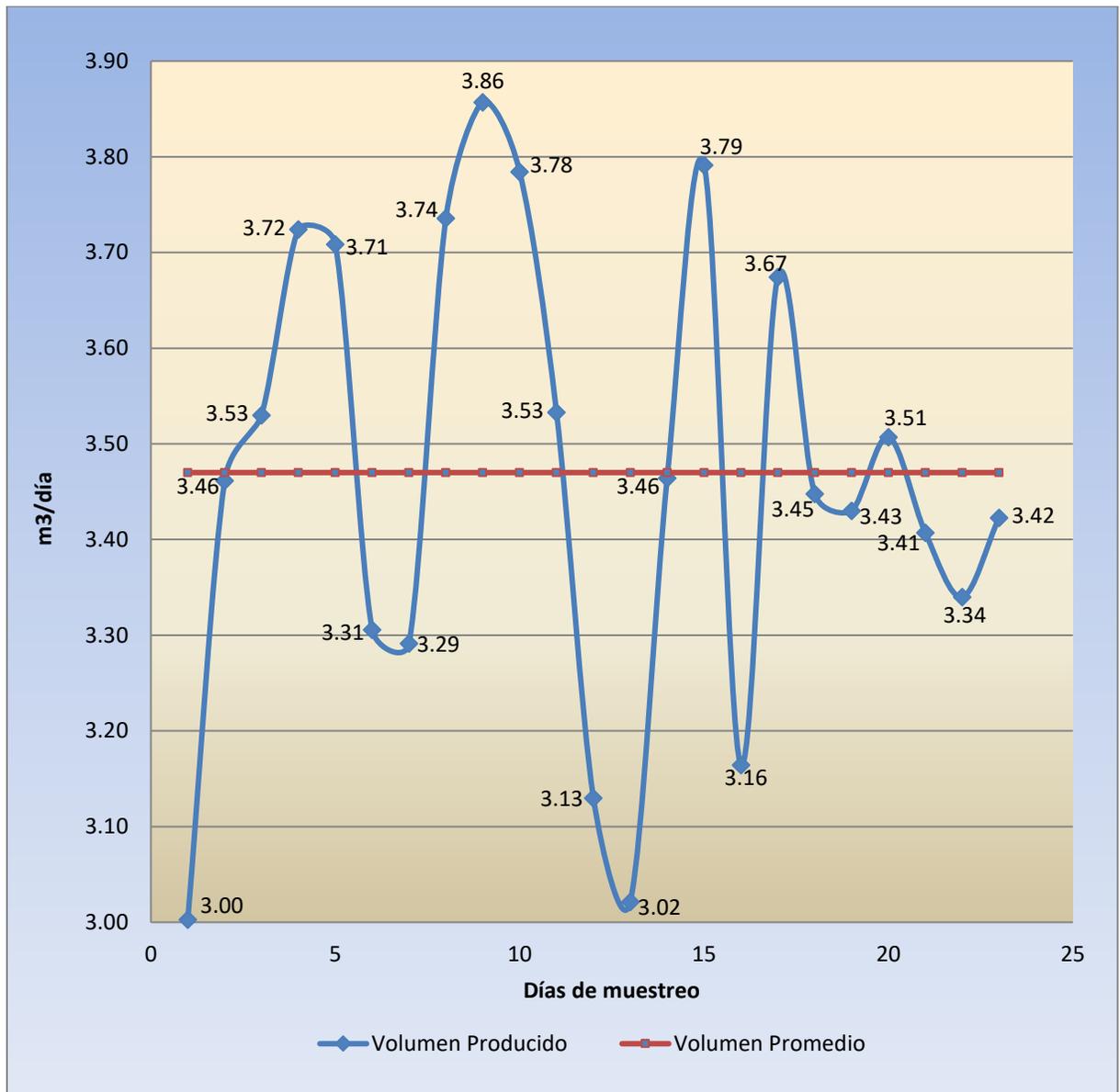
El TRH fue el mismo durante el periodo de monitoreo para cada sustrato. Esto se debió a que se mantuvo constante el caudal de alimentación de los digestores, además que aunque el peso de alimentación del sustrato es significativamente variable, también lo es la densidad de los mismos.

Los valores de TRH para ambos sustratos se encuentran bastante aproximados al estimado en el diseño de la planta.

5.4. Producción de biogás

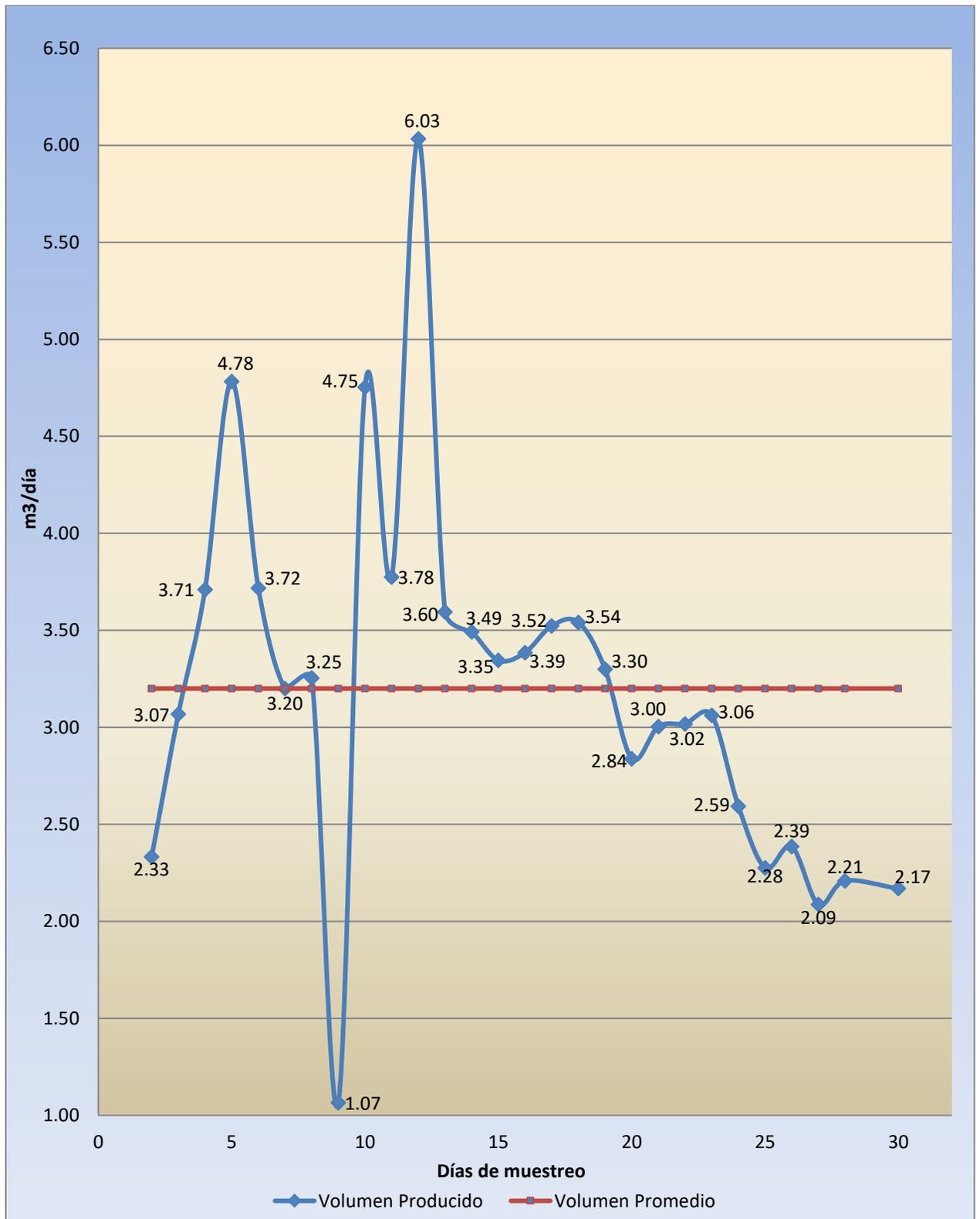
Para cada sustrato se registró el volumen diario de biogás generado por cada digestor. (Gráficos 2 y 3). Ver registro de producción en Anexos 3 y 4.

Gráfico 2. Producción de Biogás por Digestor. Sustrato 1



Fuente. Elaboración propia

Gráfico 3. Producción de Biogás por Digestor. Sustrato 2



Fuente. Elaboración propia

Para el sustrato 1 se obtuvo una producción de biogás promedio de 3.47 m³/día (Gráfico 2) y para el sustrato 2 de 3.20 m³/día (Gráfico 3). Esto equivale a una generación de 0.34 m³biogás/kgSV y 0.24 m³biogás/kgSV respectivamente. Expresada en función de la Materia Seca de alimentación se obtiene una producción de 0.31 m³biogás/kgMS y 0.10 m³biogás/kgMS para el Sustrato 1 y 2 respectivamente.

A pesar que la cáscara de Pitahaya tiene una humedad mayor al 90%, el potencial de generación de metano se ve ampliado considerablemente por su alto contenido de Sólidos Volátiles (90.43%) en comparación con los RSU (42.59%).

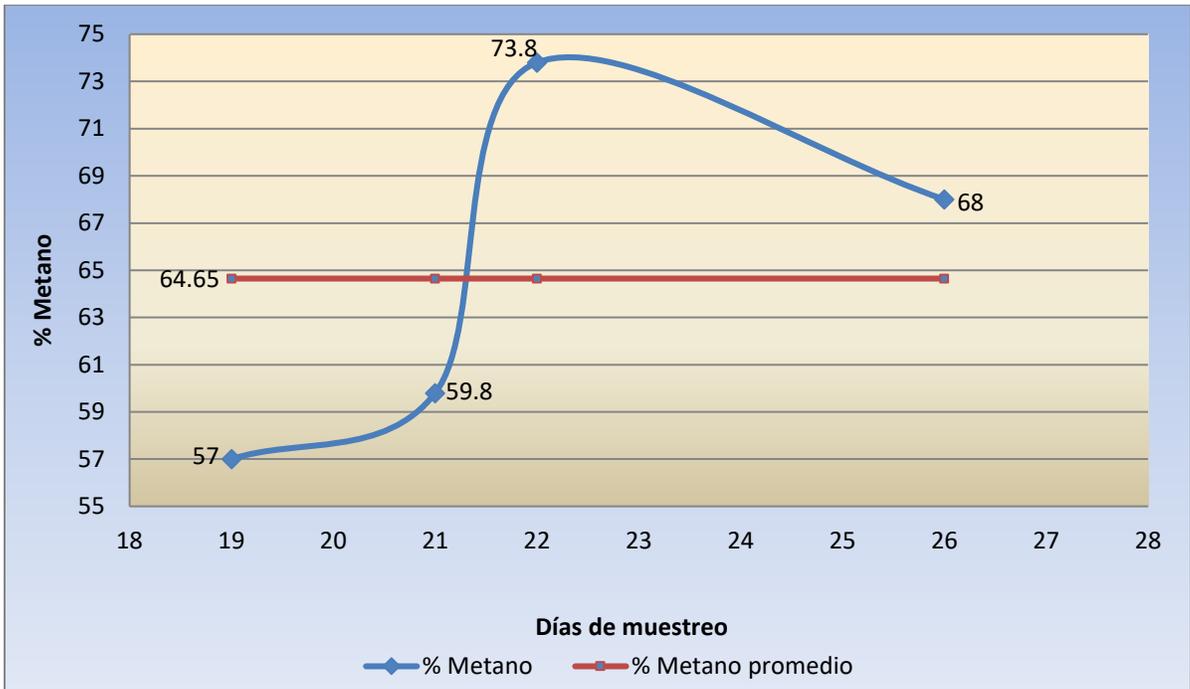
Se utilizó el método del Balance de Masas para estimar el potencial de generación de metano de los sustratos utilizados y luego contrastarlos con los volúmenes de biogás registrados en la operación de la planta obteniéndose que el potencial de generación para ambos sustratos sea de 0.48 m³biogás/kgMS. Ver Anexo 6 y 7.

Se deduce que en la operación de la planta solo se está obteniendo un 64.58% y 21.5% para los Sustratos 1 y 2 respectivamente, del total de biogás que podría generarse en condiciones óptimas de operación.

5.4.1. Caracterización de biogás

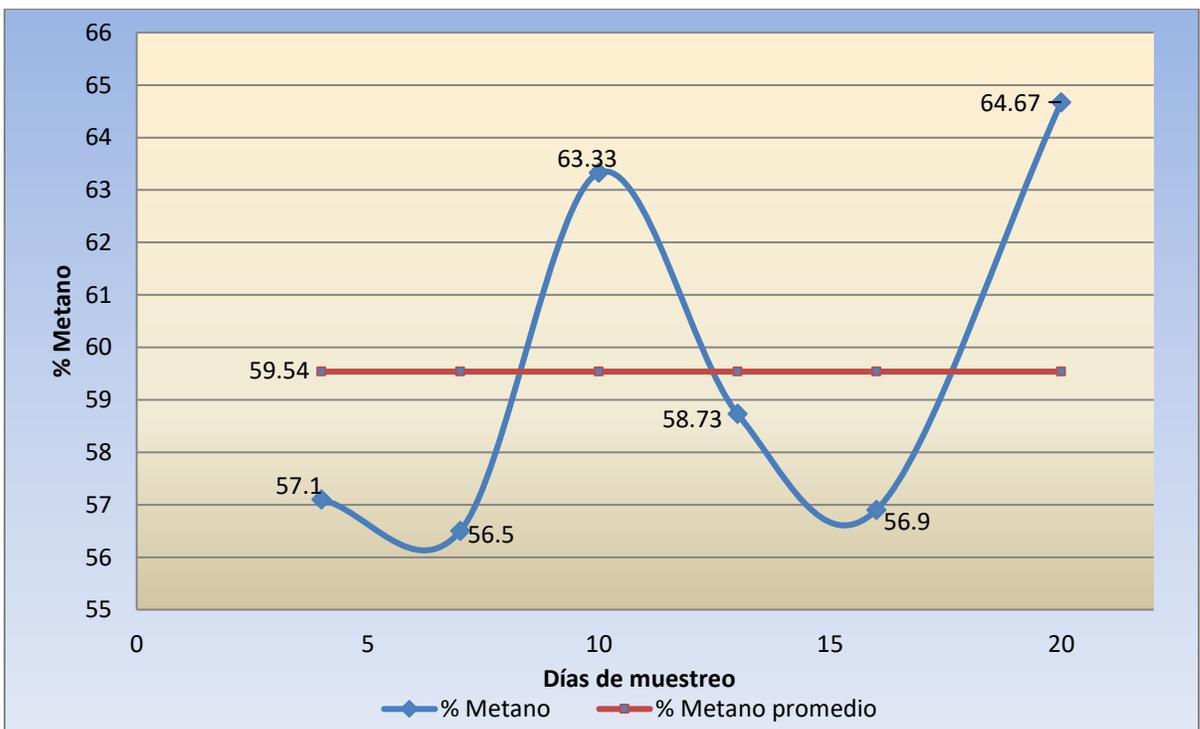
Se realizó el análisis para obtener el porcentaje de metano contenido en el biogás producido según el sustrato de alimentación obteniéndose los resultados mostrados en los gráficos Gráfico 4 y 5 para el sustrato 1 y 2 respectivamente.

Gráfico 4. Producción de Metano. Sustrato 1



Fuente. Elaboración propia

Gráfico 5. Producción de Metano. Sustrato 2



Fuente. Elaboración propia

En promedio el porcentaje de metano para el sustrato 1 es de 64.6 % y de 59.5 % para el sustrato 2.

Tabla 5. Porcentaje de metano en biogás generado

Sustrato 1		Sustrato 2	
Días	% metano	Días	% metano
19	57.0	4	57.1
21	59.8	7	56.5
22	73.8	10	63.3
26	68.0	13	58.7
Promedio	64.6	16	56.9
		20	64.7
		Promedio	59.5

Fuente. Elaboración propia

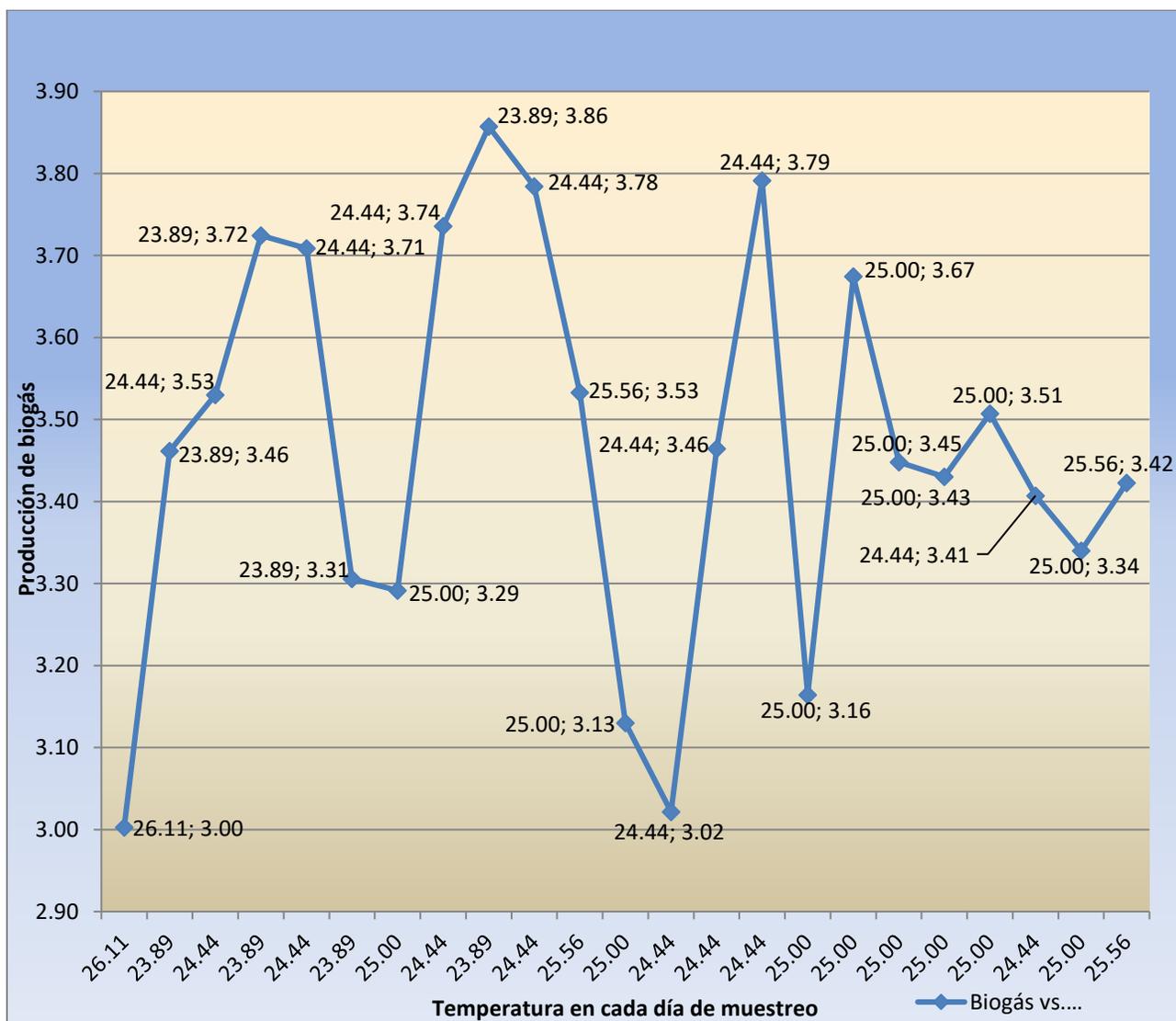
Este valor es similar a lo reportado en la bibliografía y comparado con los resultados del Balance de Masas, el porcentaje de metano del biogás medido se encuentra por encima del estimado que fue de 52.83% y 53.42% para el sustrato 1 y 2 respectivamente.

Esto se explica en el hecho de que los porcentajes de los elementos contenidos en los sustratos utilizados fueron obtenidos de los registros bibliográficos y no directamente de análisis de laboratorios, precisamente a falta de equipos e insumos adecuados.

5.4.2. Relación entre producción de biogás y temperatura

En los gráficos 6 y 7 se muestra la relación entre la producción de metano y el valor de temperatura de los digestores para ambos sustratos.

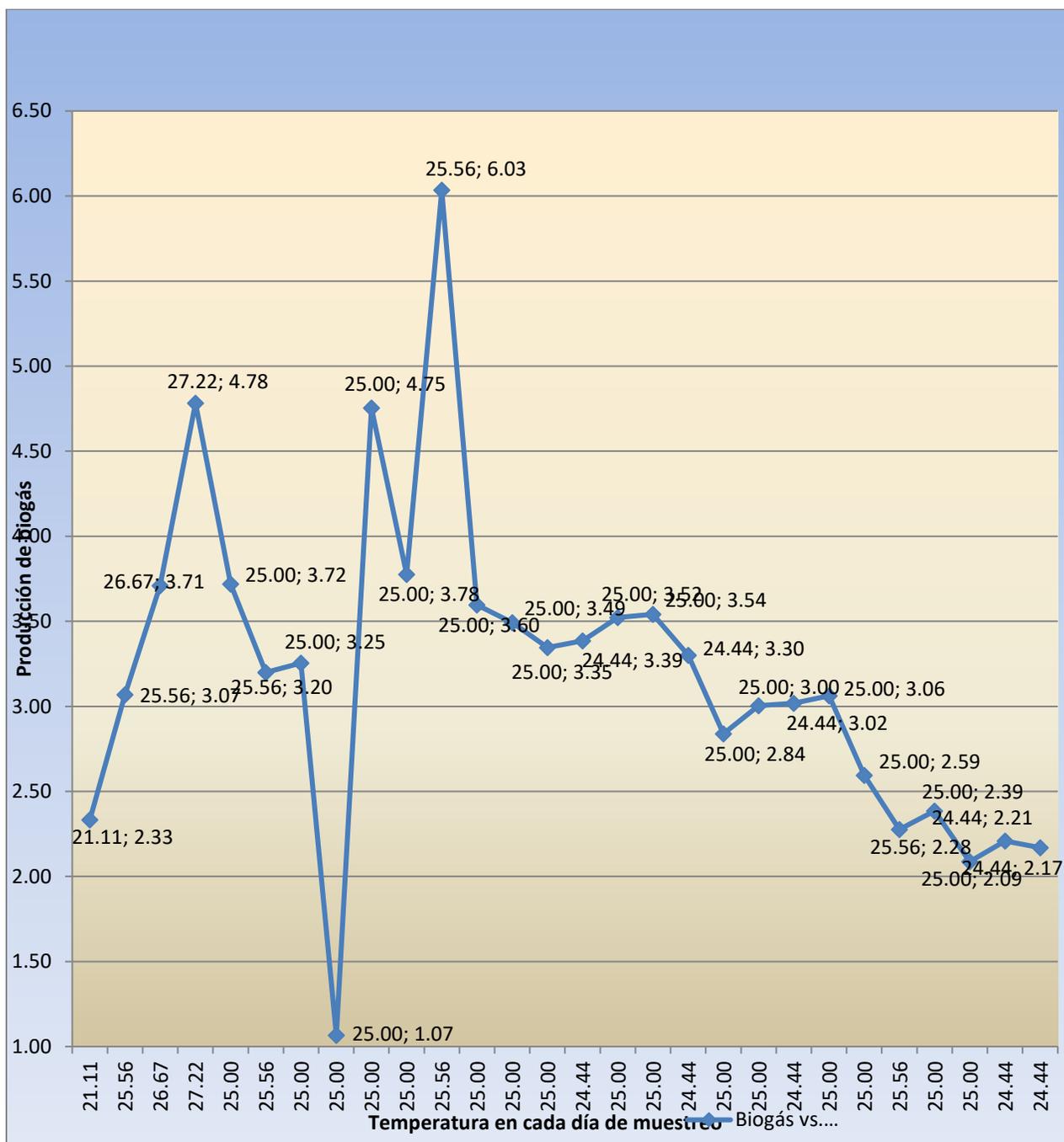
Gráfico 6. Producción de metano vs temperatura. Sustrato 1



Fuente. Elaboración propia

La producción de biogás para el sustrato 1 (cáscara de pitahaya), es muy variable, su mayor producción fue de 3.86 m³biogás/kgMS para una temperatura de 23.89 °C en el día 9 de muestreo, pero de igual manera hubo otros días en los que se presentó el mismo rango de temperatura pero la producción de biogás fue menor.

Gráfico 7. Producción de metano vs temperatura. Sustrato 2



Fuente. Elaboración propia

Para el sustrato 2 (RSUO), la mayor producción de biogás fue de 6.03 m³biogás/kgMS en el día 11 con un rango de temperatura de 25.56 °C, pero con un rango de temperatura casi similar de 25 °C también se obtuvo la menor

producción de biogás de 1.07 m³biogás/kgMS. Con este sustrato también hubo muchas variaciones.

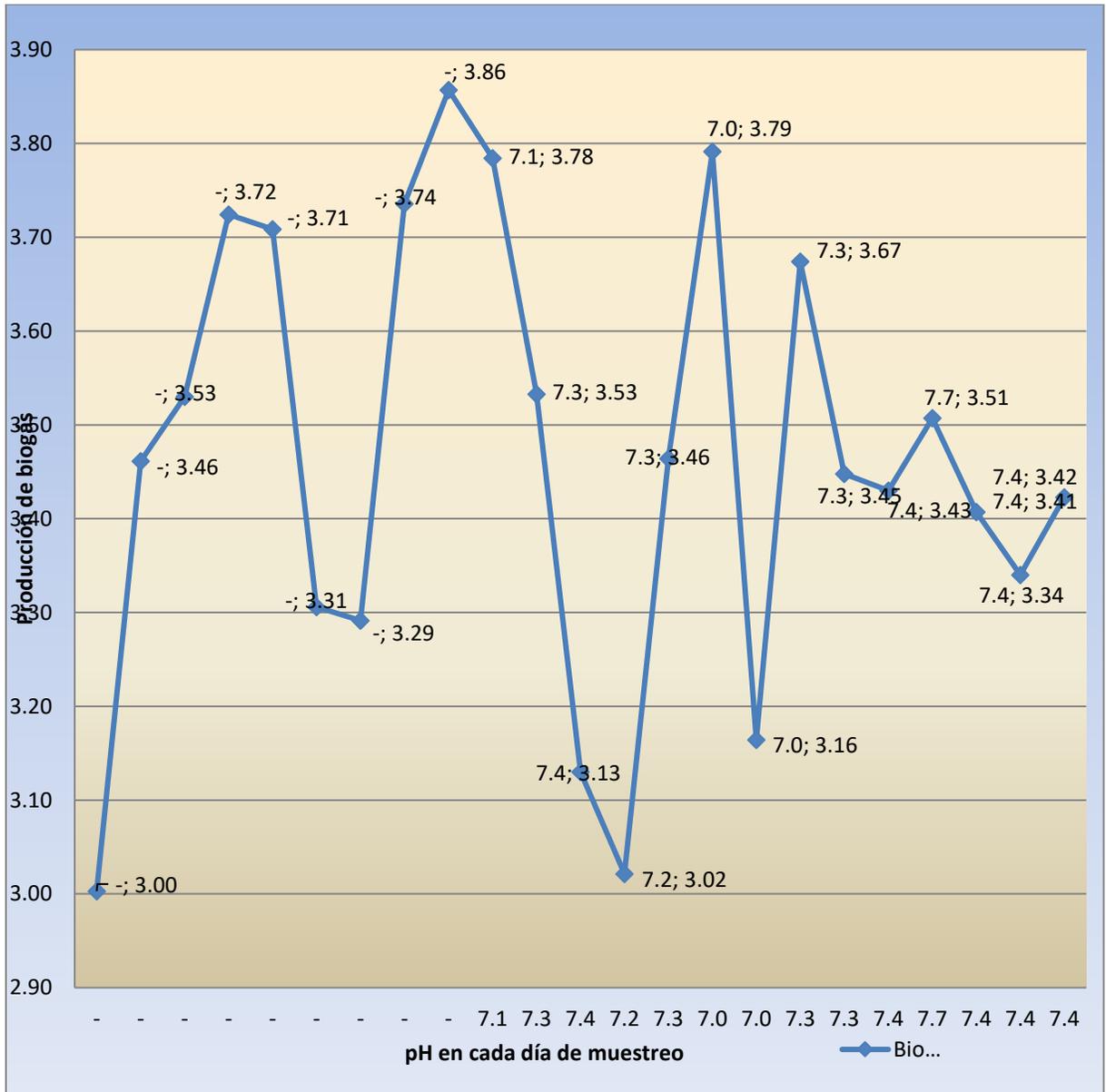
Para ambos sustratos no se puede estimar bien si a mayor o menor temperatura hay un mayor o menor producción de biogás. También cabe mencionar que los sustratos en estudio se encuentran en un rango de temperatura de tipo mesofílico.

5.4.3. Relación entre biogás y pH

Así mismo se hizo la relación entre el volumen de metano generado y pH de operación de los digestores. Sin embargo, al igual que con la temperatura no fue posible establecer una correlación entre estos dos parámetros.

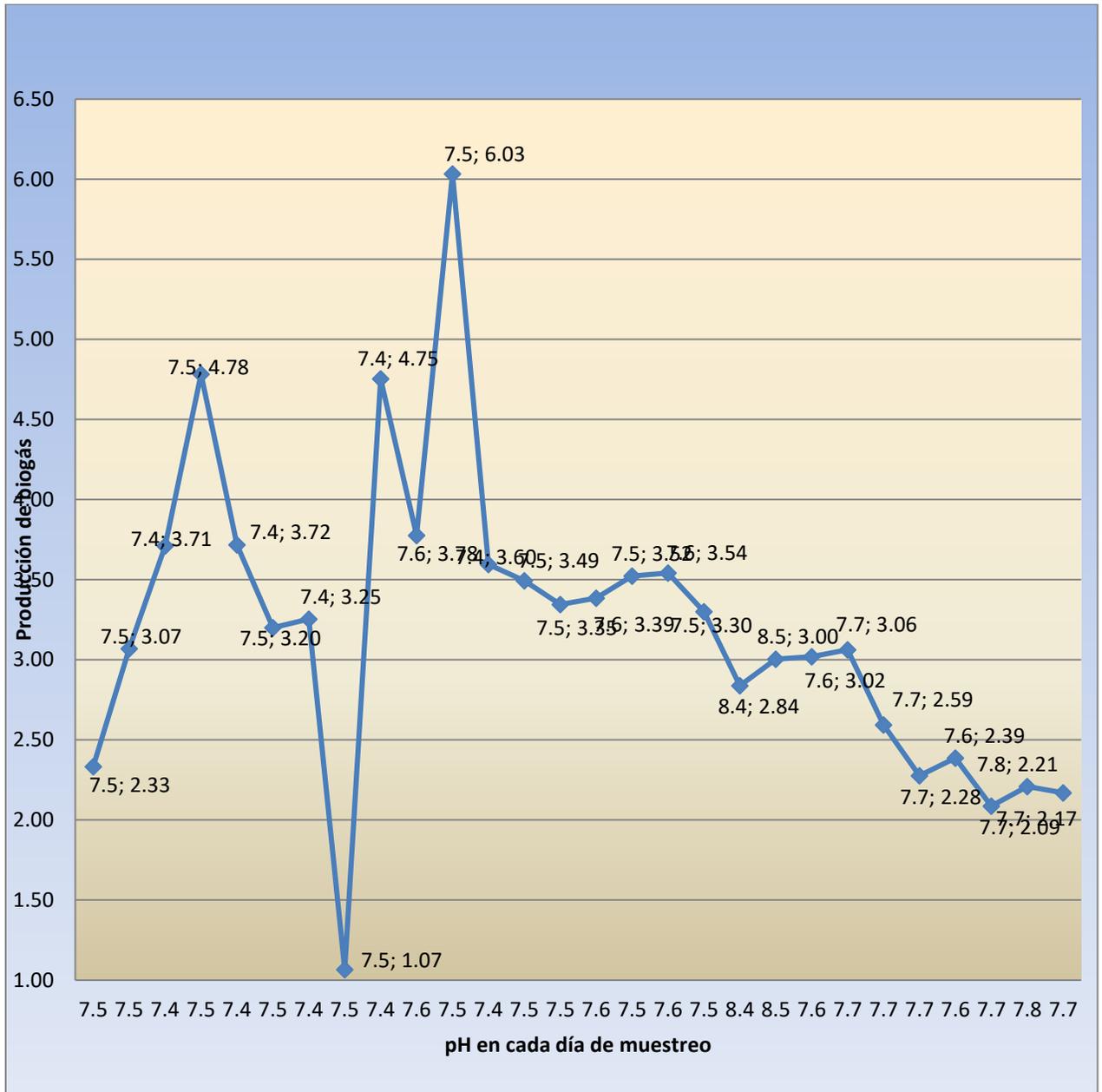
En los gráficos 8 y 9, se muestra la relación para los dos sustratos utilizados.

Gráfico 8. Producción de metano vs pH. Sustrato 1



Fuente. Elaboración propia

Gráfico 9. Producción de metano vs pH. Sustrato 2



Fuente. Elaboración propia

La producción de biogás para ambos sustratos con respecto al pH, se mantuvo en el rango del pH óptimo de 6.5 a 7.5, para el eficiente crecimiento bacteriano. Se estimó que dicha producción no fue constante si a mayor o menor de pH una mayor o menor cantidad de producción de biogás.

5.5. Estabilización de RSU

Se monitoreó la eficiencia en la estabilización de los RSU tratados en los biodigestores. Para ello se determinó la calidad de los lixiviados producidos por los sustratos y la calidad del efluente líquido proveniente de los reactores.

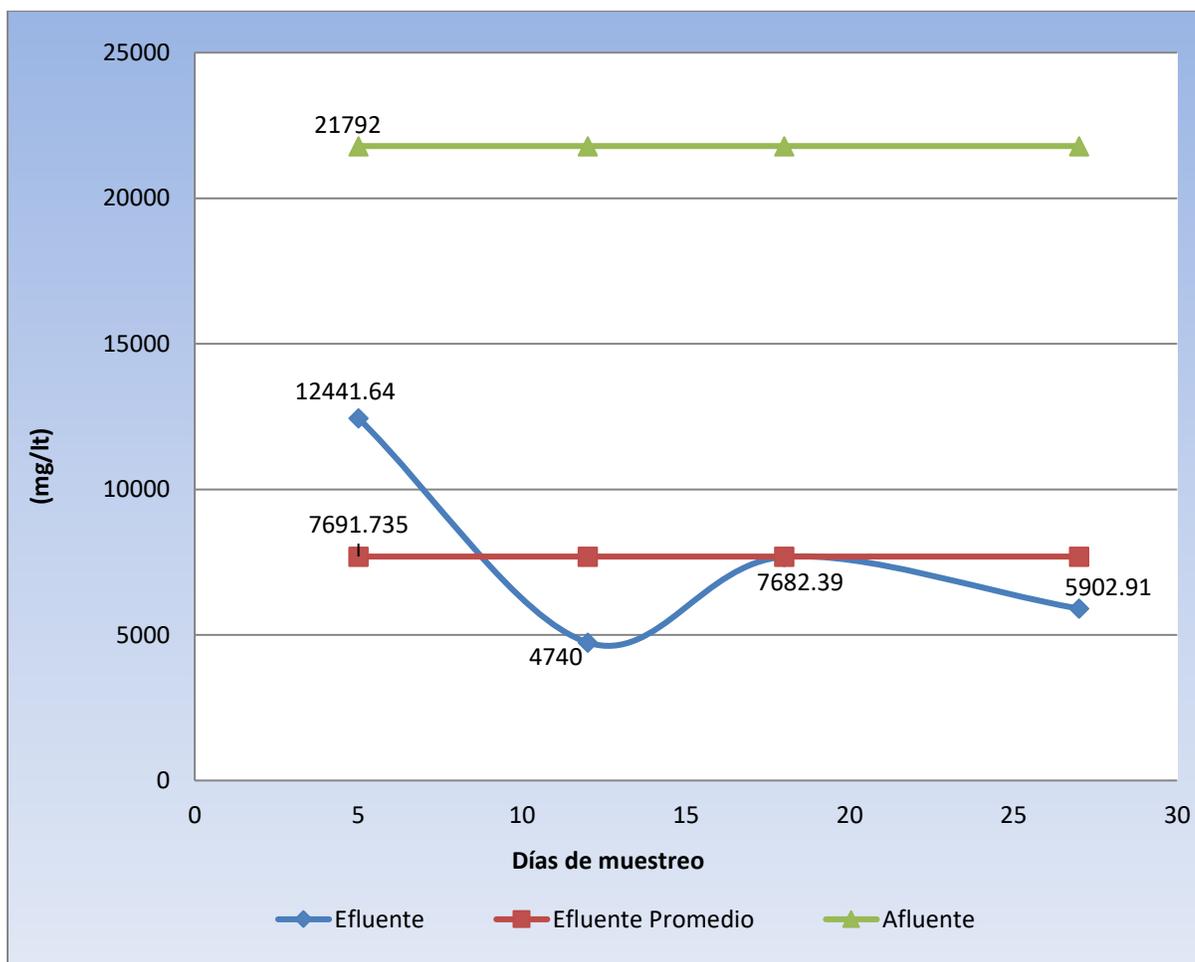
Los parámetros estudiados fueron DQO y DBO₅, ya que se consideran como parámetros representativos que indican la calidad del efluente y que condiciona su reutilización o vertido.

5.5.1. Efluente líquido

5.5.1.1. Demanda Química de Oxígeno

Para el sustrato 1 se obtuvo una DQO de entrada de 21,792 mg/lit y de 7,692 mg/lit en el efluente, lo que significa una eficiencia de remoción promedio de 65%. (Gráficos 10 y 11)

Gráfico 10. Concentración de DQO salida y entrada. Sustrato 1



Fuente. Elaboración propia

Influente= 21,792mg/lt

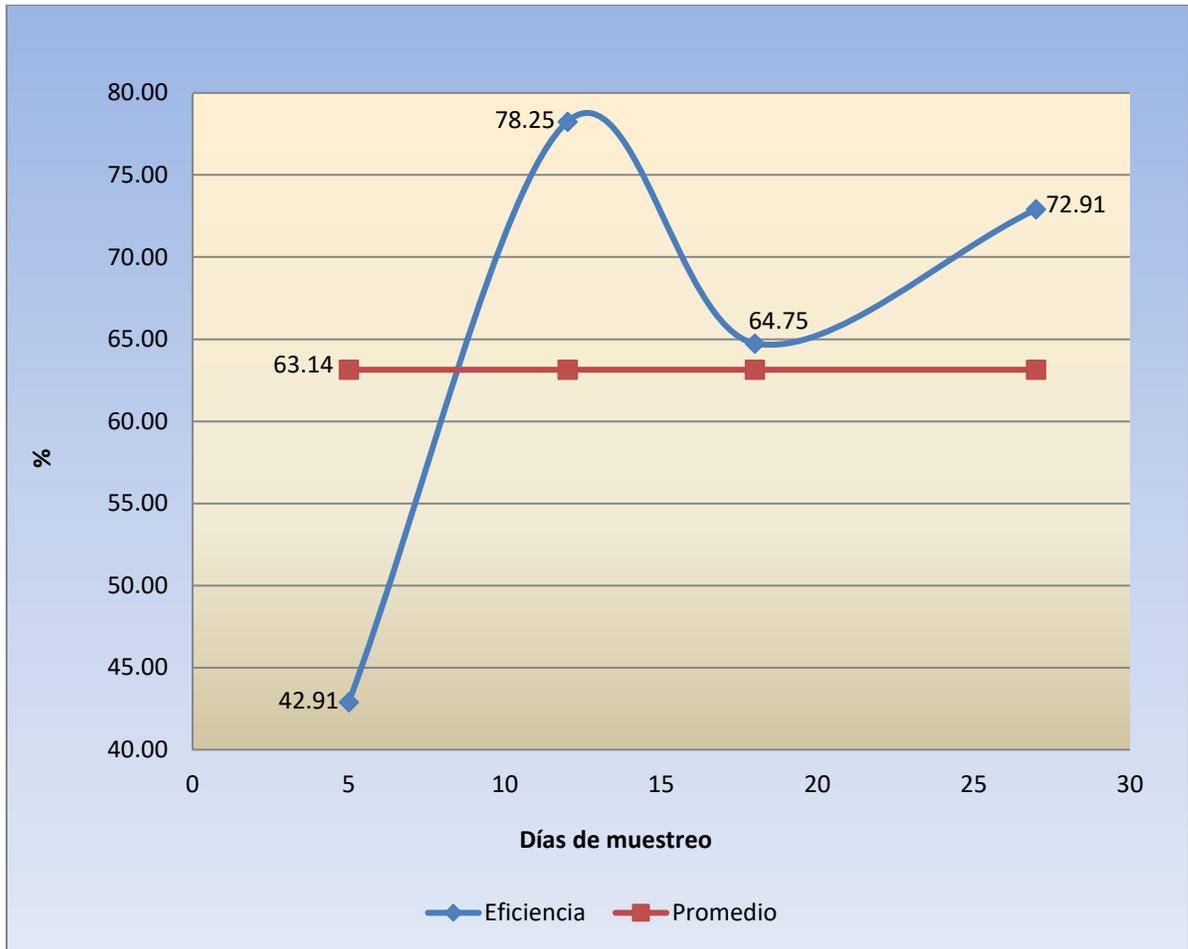
Efluente= 7,692mg/lt

Porcentaje remanente de DQO= $\frac{\text{Efluente}}{\text{Influente}} * 100 = \frac{7,692\text{mg/lt}}{21,792\text{mg/lt}} * 100 = 35.30\%$

Porcentaje de Remoción de DQO = 100%- Porcentaje remanente de DQO

Por tanto el % de Remoción será igual a 100%-35.30%= **64.70%** ~ 65%

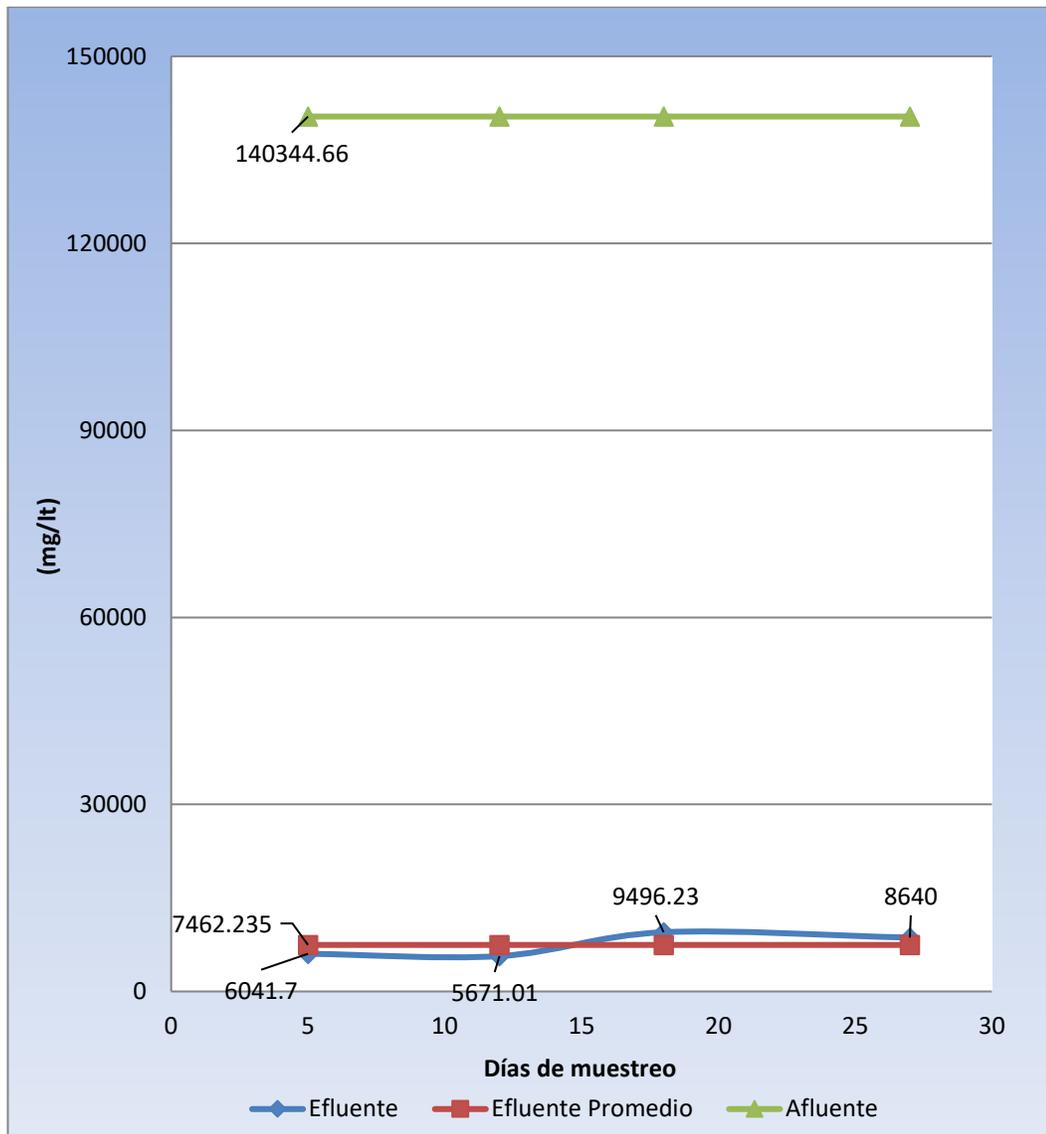
Gráfico 11. Remoción de DQO. Sustrato 1



Fuente. Elaboración propia

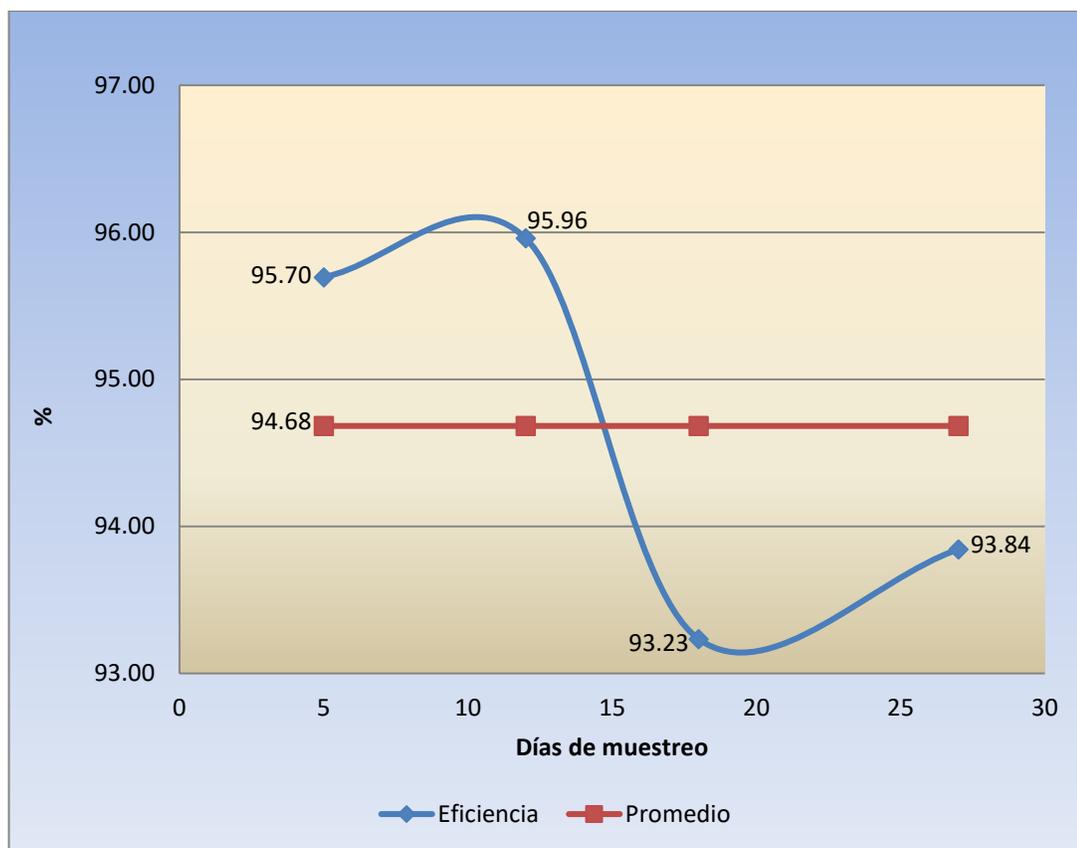
De igual forma, para el sustrato 2 se obtuvo una DQO de entrada de 140,344 mg/lit y de 7,462 mg/lit en el efluente, lo que significa una eficiencia de remoción promedio de 95%. (Gráfico 12 y 13)

Gráfico 12. Concentración de DQO salida y entrada. Sustrato 2



Fuente. Elaboración propia

Gráfico 13. Remoción de DQO. Sustrato 2



Fuente. Elaboración propia

En el gráfico 13, se muestra la concentración de DQO del sustrato 2 (Residuos Sólidos Urbanos Orgánicos Domésticos) del influente o entrada y del efluente o salida, tenemos los siguientes datos:

Influente= 140,344mg/lit

Efluente= 7,462mg/lit

Porcentaje remanente de DQO= $\frac{\text{Efluente}}{\text{Influente}} * 100 = \frac{7,462\text{mg/lit}}{140,344\text{mg/lit}} * 100 = 5.32\%$

Porcentaje de Remoción de DQO = 100%- Porcentaje remanente de DQO

Por tanto el % de Remoción será igual a 100%-5.32%=94.68% ~ 95%

Las variaciones de este parámetro según sustrato se muestran en el tabla 6.

Tabla 6. Cuadro comparativo de concentraciones y eficiencia de remoción de DQO

Parámetro: DQO					
Sustrato 1			Sustrato 2		
Afluyente (mg/lit)	Efluente (mg/lit)	Eficiencia (%)	Afluyente (mg/lit)	Efluente (mg/lit)	Eficiencia (%)
21792	12442	43	140344	6042	96
	4740	78		5671	96
	7682	65		9496	93
	5903	73		8640	94
Promedio	7692	65	Promedio	7462	95

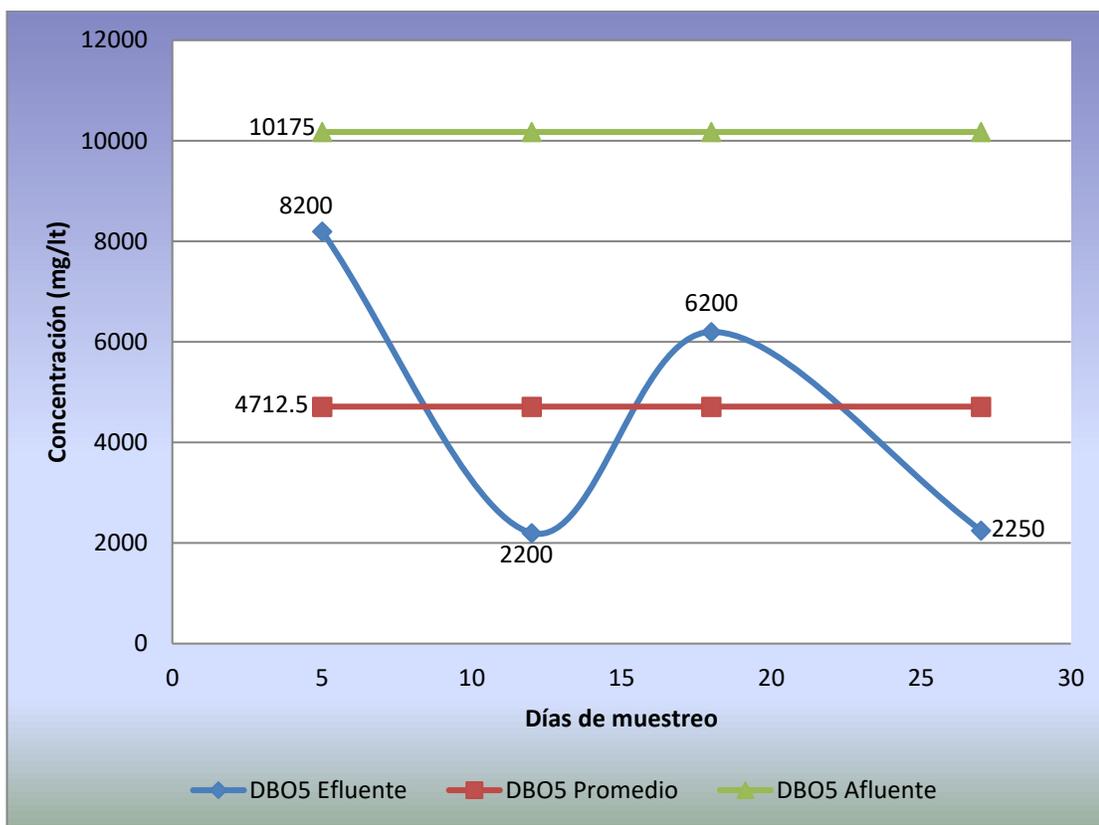
Las concentraciones de DQO en los lixiviados o afluyente de los digestores varían ampliamente para ambos sustratos lo cual se justifica básicamente en la composición física de los sustratos. Sin embargo el valor del efluente es bastante similar lo que significa una mayor eficiencia de remoción de DQO para el sustrato 2.

A pesar de que las concentraciones de DQO para ambos sustratos se reducen significativamente, estas no cumplen con el Decreto 33 – 95 sobre Calidad de Vertidos de Efluentes provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, lo cual significa que debe aplicarse un tratamiento posterior para mejorar la calidad del efluente.

5.5.1.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno

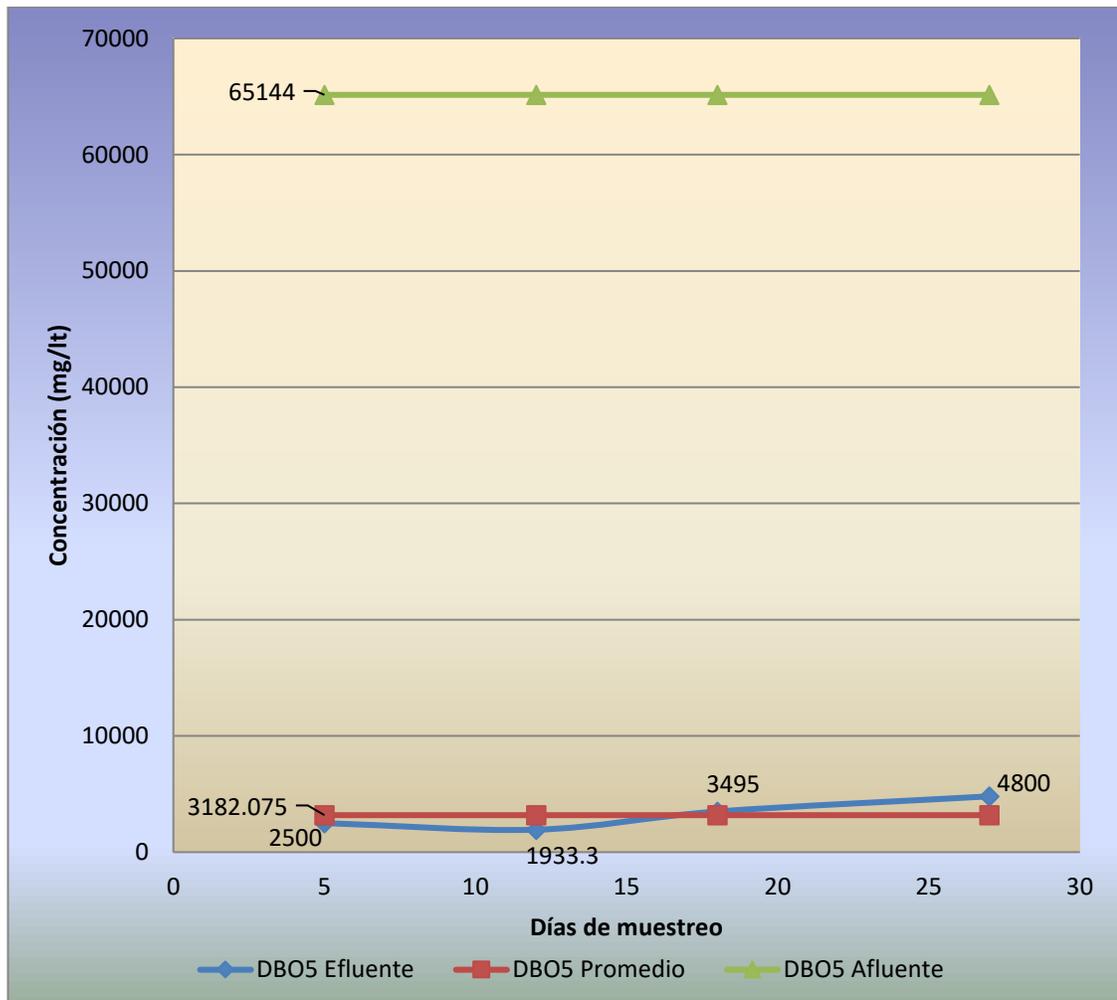
En la DBO₅ las concentraciones en el afluyente fueron de 10,175 mg/lit para el sustrato 1 y de 65144 mg/lit para el sustrato 2, manteniéndose siempre una diferencia considerable tal como se muestran en los gráficos 14 y 15.

Gráfico 14. Concentración de DBO₅ salida y entrada. Sustrato 1



Fuente. Elaboración propia

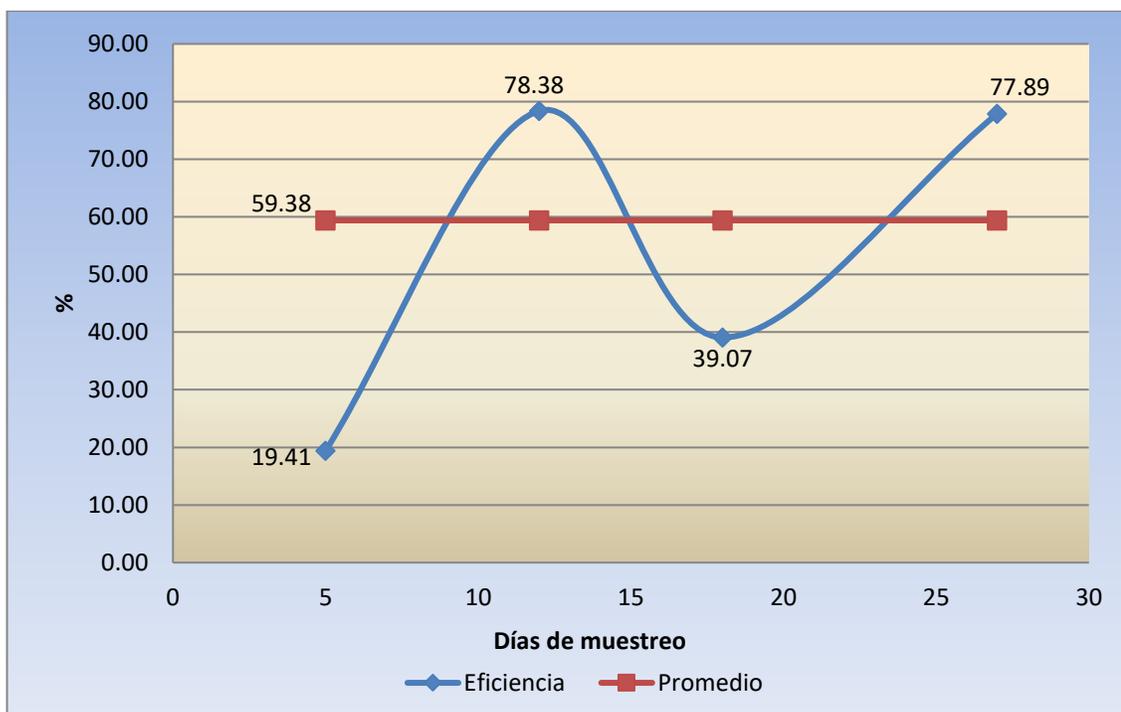
Gráfico 15. Concentración de DBO₅ salida y entrada. Sustrato 2



Fuente. Elaboración propia

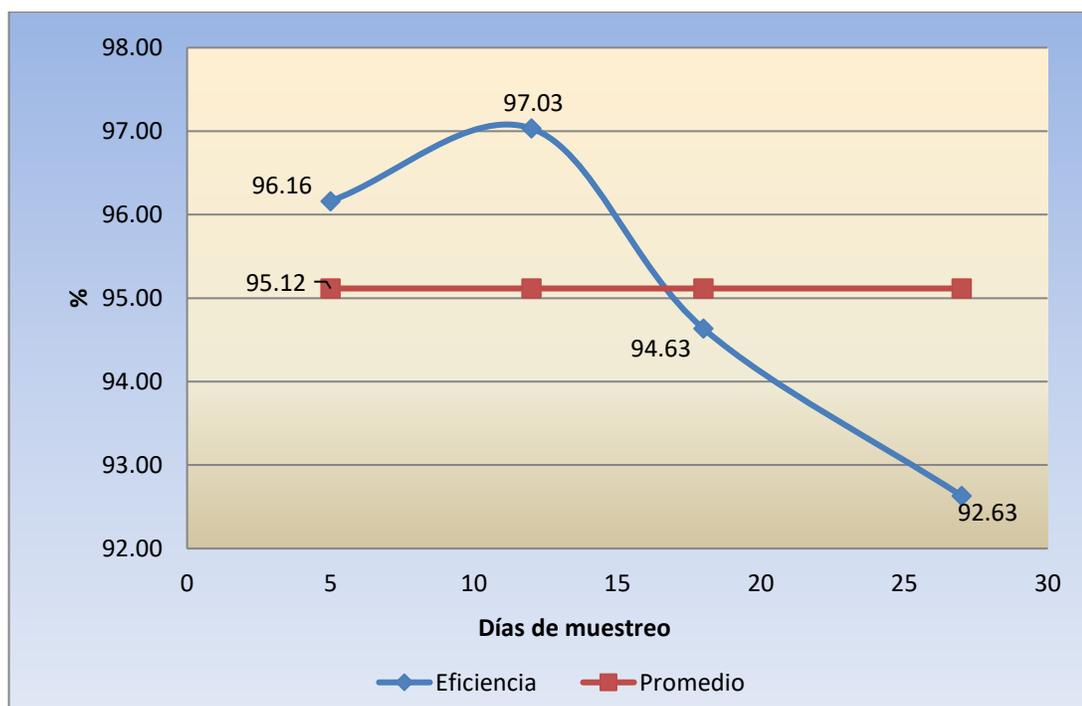
Así mismo las concentraciones del efluente son similares lo cual significa una mayor eficiencia en la remoción de la DBO₅ para el sustrato 2 alcanzando un 95%, muy por encima del 54% de eficiencia demostrado para el sustrato 1. (Gráficos 16 y 17)

Gráfico 16. Remoción de DBO₅. Sustrato 1



Fuente. Elaboración propia

Gráfico 17. Remoción de DBO₅. Sustrato 2



Fuente. Elaboración propia

Tabla 7. Cuadro comparativo de concentraciones y eficiencia de remoción de DBO₅

Parámetro: DBO₅					
Sustrato 1			Sustrato 2		
Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Eficiencia (%)	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Eficiencia (%)
10175	8200	19	65144	2500	96
	2200	78		1933	97
	6200	39		3495	95
	2250	78		4800	93
Promedio	4713	54	Promedio	3182	95

Fuente. Elaboración propia

5.5.2. Lodos

Se realizaron análisis de laboratorios para determinar el contenido de nutrientes de los lodos producidos en el proceso de digestión anaerobia para ambos sustratos y en función de ellos hacer propuestas sobre el reuso la correcta disposición final de los lodos. Los resultados se muestran en el siguiente cuadro.

Tabla 8. Contenido de nutrientes en lodos del Biol.

	Nitrógeno Total (mg/lit)	Fósforo Total (mg/lit)	Potasio (mg/lit)
Sustrato 1	379.82	15.01	1,460
	403.20	28.68	1,245
	417.20	28.04	1,130
Promedio	400.07	23.91	1,278.33
Sustrato 2	525	64.54	1,647
	441.90	82.60	2,595
	425.80	24.08	1,892
Promedio	464.23	57.07	2,044.67

Fuente. Elaboración propia

Según el análisis de los resultados, los lodos resultantes tienen un alto contenido nutricional que los convierten en una excelente alternativa para su uso como mejorador de los suelos en fincas aledañas a la planta o en los viveros de árboles frutales y maderables.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

a) Caracterización físico – química

La producción per cápita de RSU en el municipio de San Marcos es de 0.55 kg/hab/día, para una producción anual de 1601 ton/año. Del total generado el 24.3% corresponde a restos de comida y cáscaras, los cuales por ser fácilmente biodegradables tienen un alto potencial para ser tratados mediante digestión anaerobia.

De los dos sustratos utilizados durante el monitoreo, la Pitahaya posee una humedad del 90%, lo cual es consecuente dado su alta densidad de 650.99 kg/m³. En el caso de los RSUO la humedad es del 43.21% con una densidad de 367.43 kg/m³, Así mismo el porcentaje de Materia Volátil de la cáscara de Pitahaya es de 90.1% y la de los RSUO es de 42.59%. Estos parámetros son un indicativo del potencial de aprovechamiento energético de estos sustratos.

b) Parámetros de operación y estabilización de RSU

Las unidades de biodigestión operan con valores de temperatura en un rango de 24 - 27 °C, que corresponde a un rango mesofílico. Los valores de pH de operación variaron de 7.0 – 8.5, manteniéndose sin variaciones significativas. Para ninguno de estos parámetros fue posible obtener una correlación directa con la eficiencia en la calidad y cantidad de biogás generado en el proceso de digestión anaerobia.

La Velocidad de Carga Orgánica difiere bruscamente para los dos sustratos teniendo un valor de 0.06 kgSV/m³*día para la cáscara de Pitahaya y de 0.07 kgSV/m³*día para los RSUO. La diferencia está influenciada por el alto contenido de Sólidos Volátiles de la cáscara de Pitahaya (90%) respecto a los RSUO (43%).

Con Tiempos de Retención Hidráulica de 32 días para el Sustrato 1 se obtuvieron valores de remoción de DQO y DBO₅ de 65 y 54% respectivamente. En el caso de los RSUO con un TRH de 33 días la remoción tanto de DQO como de DBO₅ fue del 95%. Esta notable variación se atribuye a las características físico-químicas de los sustratos y no a los parámetros de operación de los biodigestores.

El biol producido en los digestores tiene un alto valor nutritivo lo que lo vuelve un producto de enorme potencial para ser utilizado como bio fertilizante y para la recuperación y/o enriquecimiento nutricional de suelos dedicados a los cultivos agrícolas.

c) Generación de biogás y contenido de metano

A pesar de las diferencias en las características físicas de los sustratos utilizados, la producción de metano en ambos casos tiene valores cercanos, logrando generarse 0.34 m³CH₄/kgSV a partir de la digestión de cáscara de Pitahaya y 0.24 m³CH₄/kgSV para los RSU. Sin embargo esto significa un bajo aprovechamiento del potencial de generación de metano de ambos sustratos, ya que solo se aprovecha el 65% y 22% del potencial calculado. Esto se debe fundamental a las deficientes condiciones de operación de la planta, fundamentalmente en el triturado y mezcla de los sustratos.

Para los dos sustratos el porcentaje de metano contenido el biogás producido es considerablemente mayor al estimado teóricamente, obteniéndose valores de 65% y 59%, siendo el valor estimado del 53%.

d) Beneficios ambientales

Las reducciones en las emisiones de GEI's son bastante considerables alcanzando las 817 tonCH₄/ton Materia Seca, lo cual permite validar el beneficio ambiental de la digestión anaerobia como una tecnología limpia para el tratamiento de los Residuos Sólidos Urbanos Orgánicos.

La digestión anaerobia es una alternativa viable desde el punto de vista ambiental, puesto que permite aprovechar energéticamente la biomasa de los RSU, constituyéndola en una fuente de energía renovable que reduzca y/o evite las emisiones de GEI's responsables del calentamiento global.

En conclusión, el estudio de la eficiencia de los biodigestores ubicados en la planta de biogás de municipio de San Marcos, departamento de Carazo, son de vital importancia y eficientes, ya que gracias a su producción de biogás muchas familias se benefician de este gas, que a su vez con la recolección de los residuos en muchas comiderías y casas se ayuda con el grave problema de la basura que se produce que día a día va en aumento.

RECOMENDACIONES

1. Garantizar las condiciones mínimas de operación, principalmente en cuanto a la trituración y mezcla de los sustratos. Para ello es necesario garantizar el servicio de energía eléctrica, cualquiera que sea su fuente, para poner en funcionamiento las trituradoras existentes.
2. Poner especial atención en considerar los requerimientos en cuanto a la cantidad de materia orgánica necesaria para la alimentación de los biodigestores, según el sustrato suministrado. Esto significa realizar los cálculos debidos del Volumen de Carga Orgánica preciso para mantener operando los biodigestores a su máxima eficiencia.
3. Garantizar la separación en origen de los RSOU que permita contar con un sustrato de mejor calidad que garantice su aprovechamiento óptimo en la generación del biogás. Esto implica afianzar más las intervenciones de las instituciones involucradas tanto en el Servicio de Recolección como en la operación de la Planta de Biogás.
4. Valorar a profundidad la viabilidad técnico - financiera del uso del agua limpia para la mezcla de la alimentación, pues eso significa la generación de aguas residuales que para ser vertidas deben cumplir a cabalidad con las normas existentes.
5. Tanto el efluente líquido como los lodos presentes en el biol pueden ser reutilizados en la agricultura. Sin embargo, deben tomarse las medidas adecuadas para su uso considerando la necesidad de reducir al mínimo el potencial de contaminación que estos poseen sobretodo de las aguas subterráneas.
6. El aprovechamiento del biol no pueda llevarse a cabo debe construirse un sistema de tratamiento que permita reducir los valores de DBO₅, DQO y nutrientes a niveles aceptables según lo estipulado en la legislación correspondiente.

7. Los sustratos de alimentación de los DPH aunque sean variables, debe hacerse los cálculos necesarios de la cantidad de materia requerida para mantenerlos operando a su máxima capacidad y así optimizar su operación.

8. Las autoridades locales o instituciones de gobierno conozcan el sistema y elaboren proyectos de apoyo para llevar éste beneficio también al sector urbano y además presentarles éste estudio a entes gubernamentales y no gubernamentales con el objetivo de apoyar económicamente a las familias y a su vez colaborar a la reducción del problema de los derivados de petróleo, a la salud a causa del humo y problemática ambiental de nuestro país.

X. BIBLIOGRAFÍA

Carneiro, T. F. (2005). *Digestión anaerobia termofílica seca de residuos sólidos urbanos: estudios de las variables en el proceso de arranque y estabilización del bio-reactor*. Universidad de Cádiz, Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos Y Tecnologías del Medio Ambiente, Cádiz.

Carneiro, T. F., Fernández, L., Pérez García, M., Romero García, L., Álvarea Gallego, C., y Sales, D. (2004). *Biometanización de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos: proceso SEBAC*. Recuperado el 15 de Abril de 2013, de Companhia Ambiental do Estado de São Paulo

http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/mudancasclimaticas/biogas/file/docs/artigos_dissertacoes/8_foster_fernandez_perez_romero_sales.pdf

Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI). (2010). *Valorización Energética de Residuos Sólidos Urbanos*. Buenos Aires.

Madigan, M. T., y Jhon M. Martinko. (2006). *Brock Biology of Microorganisms* (11 ed.). Upper Saddle River: Prentice Hall.

Martínez, G. L. (2003). *Biodigestión Anaerobia de Residuos Sólidos Urbanos*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas (F.J.C.).

McCarty, P. L. (1964). Anaerobic Waste Treatment Fundamentals. *Public Works*, 107-111.

Pozuelo, E. C., Flotats i Ripoll, X., & Bonmatí i Blasi, A. (s.f.). *Biogás y aprovechamiento de la Biomasa*. Universidad de Lleida.

Rossin, A., Teixeira, P., Zepeda, F., y Acurio, G. (1997). *Diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo (BID).

Tchobanoglous, G., Theisen, H., y Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos*. (A. G. Brage, Ed.) Madrid: McGraw - Hill/Interamericana de España S.A.

.

ANEXOS

Anexo 1. Registro de Peso y Cálculo de PPC San Marcos

N°	Código	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	PPC
1	01LS	7.5	1.1	3	1.15	2.2	1.5	0.298
2	02DP	5.5	1.7	2.5	3.2	1.4	2.3	0.247
3	03AU	4.9	4.2	3.2	2.1	2	2.4	0.695
4	04RG	5.2	3.9	4.7	4.4	6.6	3.2	0.760
5	05LS	5	1.6	4.7	16	3.3	0.8	0.880
6	06AC	3.6	3	6.1	1.5	4.8	0	0.616
7	07LM	5.8	1.4	0	3.3	3	0.7	0.153
8	08WG	5.3	0.7	1.6	1.3	0.9	0.5	0.333
9	09VR	6.15	1.5	1.5	1.4	0	3.7	0.540
10	10AM	5.4	5	4	2.7	6.4	4.1	0.740
11	11IR	3.95	1.1	2.4	0.3	1.2	0.4	0.360
12	12DR	1.5	1.3	0.4	1	0	3.1	0.193
13	13MF	5.4	1.3	1.7	0.6	2.3	0.2	0.305
14	14OM	5.2	2	1.6	2.2	4	1.1	0.436
15	15CZ	5.1	2.6	2.1	1.2	3.6	1.8	0.377
16	16AR	3.9	0.5	3.5	0	5.1	0.2	0.372
17	17FB	2.1	1.6	6.3	7.5	0.8	2.1	0.610
18	18MH	5.5	2.3	2.1	5.4	2.4	3	0.608
19	19LL	4.1	0.8	21.9	3.2	9.9	0.8	1.046
20	20RA	6.95	1.2	1.5	0.6	1.7	0.9	0.169
21	21JP	3.8	1.6	2.4	0.6	2.4	2.2	0.263
22	22MM	2.5	0.4	0.5	2.3	0.8	1.2	0.104
23	23AG	2.1	1.1	1.9	0	3.6	2.4	0.360
24	24AJ	4.3	5.2	1.8	2.9	2.8	3.3	1.600
25	25BP	3.7	1	1.2	1	1.3	1.6	0.305
26	26EM	1.4	1.5	1.2	1.2	3	2.7	0.384
27	27JG	4.3	3.2	4.4	4.4	7.4	1.8	0.606

Anexo 1. Registro de Peso y Cálculo de PPC San Marcos

28	28JH	1.5	0.7	1.7	1.1	3.3	0	0.170
29	29RM	4.2	3.4	3.1	1.8	0	3.1	0.570
30	30AL	4	6.8	6.3	4.5	4.6	5.3	0.550
31	31LG	3.4	2.8	3.9	2.1	1.8	1.7	0.615
32	SM1	3.4	1.1	1.4	0.5	0.9	1.6	0.183
33	SM2	2.6	0.9	0.9	1.8	0.5	7	0.555
34	SM3	9.6	1.5	4	3.7	5.2	3.4	0.712
35	SM4	4.2	0.2	0.5	1.3	0.6	1.8	0.088
36	SM5	1.1	0.7	1	0.9	1	1	0.184
37	SM6	1.5	0.9	1.3	0.7	1.5	1.7	0.244
38	SM7	1.2	4.8	9.2	2.5	4.5	6	1.350
39	SM8	2.1	6.9	0	0	6.5	6.8	0.673
40	SM9	5.7	2.1	1.1	0.8	1.3	0	0.265
41	SM10	6.9	3.8	0.9	4.6	0.3	0	0.320
42	SM11	6.5	4.75	2.5	3.6	7.5	0	0.612
43	SM12	4.3	0.8	1.6	3.6	3	3.7	0.423
44	SM13	1.5	4.5	6.3	5.6	5	4.1	1.700
45	SM15	1.35	0.2	0.4	1.4	3.1	0.6	0.163
46	SM16	24	7.3	3.5	5.1	4.5	4.5	2.490
47	SM18	4	1.25	2.4	1.5	1.5	2.1	0.194
48	SM19	2.9	1.3	2	3.4	2.7	2	0.326
49	SM20	12.8	1.34	1.6	7.6	2.8	2.7	0.458
50	SM21	4.5	3.2	7.8	6.2	4.6	4.1	0.740
51	SM22	1.2	0.25	0.25	0.4	0.4	0.9	0.110
52	SM24	3.3	1.4	2	1.1	1.3	1.7	0.250
53	SM25	4.8	0	3.9	0	2.4	3.4	0.485
54	SM26	4.2	1.5	0.3	5	1.7	0.5	0.600
55	SM27	5.1	5.7	4.5	4	5.1	4.5	1.587

Anexo 1. Registro de Peso y Cálculo de PPC San Marcos

56	SM28	7.9	10.3	5.5	5	4	5.9	0.682
57	SM29	5	2.3	2.7	2.5	3.5	1.4	0.620
58	SM30	5	8.3	5.2	2.2	2.6	9.1	0.783
							PPC (kg/hab/día)	0.55

Anexo 2. Análisis de Laboratorio. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO AMBIENTAL
Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1310-0086

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya		Dto. Hidraulica y Medio Ambiente		87463759
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Céltular
Mario Fco. Castellón Zelaya		Estudiante	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	CADENA DE CUSTODIA	
11/09/2013	12/09/2013	27/09/2013	03/10/2013	1608
Fecha y Hora de Muestreo		11/09/2013: 10:50 am		
Muestreado por		Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		Efluente Liquido		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1309-0663		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. *
			Efluente Liquido	
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.07	NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5)	mg/l	8,200.00	NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	12,441.64	NE
4500-B	Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	379.82	NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	15.01	NE
3500-C	Potasio	mg/l	1,460.00	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. **NR**= No Reporta. **NE**= No especificada en la Norma. **SM**: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

PhD. Leandro Parrota Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax: (505) 2278-1462 • Teléfono: (505) 2270-5613 / 2270-1517 • Celular: 8866-6702 / 8866-6705
Email: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni • Managua, Nicaragua.

0000125

Anexo 2. Análisis de Laboratorio. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO AMBIENTAL
Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1311-0101

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya		Dto. Hidráulica y Medio Ambiente		87463759
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Célular
Arlen Daniela González		Estudiante	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
17/10/2013	18/10/2013	28/10/2012	18/11/2013	1639
Fecha y Hora de Muestreo			17/10/2013; 10:45 am	
Muestreado por			Arlen Daniela González	
Supervisor de Muestreo en Campo			NR	
Fuente			Residuos Solidos	
Tipo de Muestra			Lixiviado de Residuos Solidos	
Observaciones de Ubicación			Planta Biogás de San Marcos Carazo	
Coordenadas			NR	
Codificación PIENSA			LA-1310-0716	
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. *
			Lixiviado de Residuos Solidos	
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	3.89	NE
2540-A	Humedad	%	90.10	NE
2320-B	Alcalinidad	mg/l	<0.1	NE
2540-B	Materia Seca	mg/l	127,113.00	NE
2540-E	Materia Volatil	mg/l	114,954.00	NE
2540-E	Cenizas	mg/l	12,159.00	NE
4500-B	Nitrogeno Total	mg/l	0.76	NE
5220-C	Carbono Total	mg/l	109.92	NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	0.11	NE
5220-C	Materia Organica	mg/l	207.40	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva
s al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.
SM: Método Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005 *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


 Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Sustrato

0000253

Telefax: (505) 2278-1462 • Teléfono: (505) 2270-5613 / 2270-1517 • Celular: 8866-6702 / 8866-6705
Email: piensa@uni.edu.ni • Web: www.pienসা.uni.edu.ni • Managua, Nicaragua.

Anexo 2. Análisis de Laboratorio. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO AMBIENTAL
Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1310-0087

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya		Planta Biogás, San Marcos Carazo		87463759
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Célular
Arlen Daniela González		Tesista	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
18/09/2013	19/09/2013	30/09/2013	03/10/2013	1613
Fecha y Hora de Muestreo		18/09/2013, 7:59 am		
Muestreado por		Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		Efluente Líquido		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1309-0668		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. *
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.42	NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5)	mg/l	2,200.00	NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	4,740.15	NE
4500-B	Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	403.20	NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	28.68	NE
3500-C	Potasio	mg/l	1,245.00	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s al Limite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta. SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency.

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


 Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Anexo 2. Análisis de Laboratorio. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO AMBIENTAL
Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1310-0096

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya		Departamento Hidráulica y Medio Ambiente RUPAP		8746-3759
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Célular
Erick Martínez		Estudiante	erickjmarthdo@hotmail.com	8542-8870
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
24/09/2013	25/09/2013	05/10/2013	29/10/2013	1618
Fecha y Hora de Muestreo		24/09/2013; 12:15 p.m		
Muestreado por		Erick Martínez		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		Efluente Líquido		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1309-0681		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. *
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.11	NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	6,200.00	NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	7,682.39	NE
4500-B	Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	417.20	NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	28.04	NE
3500-C	Potasio	mg/l	1,130.00	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. * al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta, SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los datos reportados por el cliente


 Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Anexo 2. Análisis de Laboratorio. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO AMBIENTAL
Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1310-0098

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya			Departamento Hidráulica y Medio Ambiente RUPAP		87463759
ATENCIÓN:			CARGO	EMAIL	Célular
Arlen Daniela González			Tesista	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
03/10/2013	04/10/2013	16/10/2013	29/10/2013	1625	Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			03/10/2013, 8:00 am		
Muestreado por			Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Efluente Líquido		
Tipo de Muestra			Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación			NR		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1310-0688		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Art. No. *
			Efluente Líquido		
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.32		NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	2,260.00		NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	5,902.91		NE
4500-B	Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	61.01		NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	62.88		NE
3500-C	Potasio	mg/l	3,930.00		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s. al Limite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta. SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

Ph.D. Leandro Paramita Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UM

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Anexo 2. Análisis de Laboratorio. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO AMBIENTAL
Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1310-0097

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya			Departamento Hidráulica y Medio Ambiente RUPAP		87463759
ATENCIÓN:			CARGO	EMAIL	Célular
Arlen Daniela González			Tesista	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:			
01/10/2013	02/10/2013	11/10/2013	29/10/2013	CADENA DE CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
Fecha y Hora de Muestreo			01/10/2013; 9:30 am		
Muestreado por			Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Efluente Líquido		
Tipo de Muestra			Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación			NR		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1310-0687		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Art. No. *
			Efluente Líquido		
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	4.65		NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	8,750.00		NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	22,718.44		NE
4500-B	Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	420.00		NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	96.05		NE
3500-C	Potasio	mg/l	3,400.00		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva, si al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.
SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95. EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

LABORATORIOS AMBIENTALES
COORDINACION TECNICA
PhD. Leandro Páramo Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000193

Telefax: (505) 2278-1462 • Teléfono: (505) 2270-5613 / 2270-1517 • Celular: 8866-6702 / 8866-6705
Email: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni • Managua, Nicaragua.

Anexo 2. Análisis de Laboratorio. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO AMBIENTAL
Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1310-0087

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento			TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya		Planta Biogás. San Marcos Carazo			87463759
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL		Céltular
Arlen Daniela González		Tesista	mcastellonzelaya@yahoo.com		87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
18/09/2013	19/09/2013	30/09/2013	03/10/2013	1613	Dos (2)
Fecha y Hora de Muestreo			18/09/2013; 7:55 am		
Muestreado por			Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Lixiviado		
Tipo de Muestra			Lixiviado		
Observaciones de Ubicación			NR		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1309-0669		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Art. No. *
			Lixiviado		
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	4.26		NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno (5)	mg/l	11,600.00		NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	20,866.10		NE
4500-B	Nitrogeno Total Kjeldahl	mg/l	219.22		NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	87.80		NE
3500-C	Potasio	mg/l	3,110.00		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva
 * al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.
 SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente


 Ph.D. Leandro Páramo
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax: (505) 2278-1462 • Teléfono: (505) 2270-5613 / 2270-1517 • Celular: 8866-6702 / 8866-6705
 Email: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni • Managua, Nicaragua.

00000123

Anexo 3. Análisis de Laboratorio. Sustrato 2: RSU



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 LABORATORIO AMBIENTAL
 Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1310-0099

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELÉFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya			Departamento Hidráulica y Medio Ambiente RUPAP		87463759
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL		Cóctular
Arlen Daniela González		Tesista	mcastellonzelaya@yahoo.com		87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
10/10/2013	11/10/2013	23/10/2013	29/10/2013	1631	Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			10/10/2013; 10:30 am		
Muestreado por			Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Efluente Líquido		
Tipo de Muestra			Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación			Planta de Biogás de San Marcos		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1310-0705		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Art. No. *
			Efluente Líquido		
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.14		NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	2,500.00		NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	6,041.70		NE
4500-B	Nitrógeno Total Kjeldahl	mg/l	71.13		NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	11.62		NE
3500-C	Potasio	mg/l	2,460.00		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.
 SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95. EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente



Ph.D. Leandro Parra Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Anexo 3. Análisis de Laboratorio. Sustrato 2: RSU



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 LABORATORIO AMBIENTAL
 Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1311-00103

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya		Planta Biogás. San Marcos Carazo		87463759
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Celular
Arlen Daniela González		Tesista	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
24/10/2013	25/10/2013	06/11/2013	18/11/2013	1645
Fecha y Hora de Muestreo		24/10/2013: 12:50 md		
Muestreado por		Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		Efluente Líquido		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1310-0723		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. *
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	6.93	NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	3,495.00	NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	9,496.23	NE
4500-B	Nitrogeno Total	mg/l	33.13	NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	16.52	NE
3500-C	Potasio	mg/l	1,227.00	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s. al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta. SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente.

[Firma]
 Ph.D. Leandro Páramo Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Anexo 3. Análisis de Laboratorio. Sustrato 2: RSU



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 LABORATORIO AMBIENTAL
 Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1311-0101

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO	
Mario Fco. Castellón Zelaya		Dto. Hidraulica y Medio Ambiente		87463759	
ATENCIÓN:	CARGO	EMAIL	Célular		
Arlén Daniela González	Estudiante	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759		
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
17/10/2013	18/10/2013	28/10/2012	18/11/2013	1639	Dos (2)
Fecha y Hora de Muestreo			17/10/2013; 10:50 am		Rango o valor máximo permisible
Muestreado por			Arlén Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Efluentes Líquidos		
Tipo de Muestra			Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación			Planta Biogás de San Marcos Carazo		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1310-0717		Art. No. *
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		
			Efluentes Líquidos		
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.33		NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	1,933.30		NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	5,671.01		NE
4500-B	Nitrogeno Total	mg/l	406.00		NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	22.12		NE
3500-C	Potasio	mg/l	1,077.00		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. s al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.

SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente



Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Anexo 3. Análisis de Laboratorio. Sustrato 2: RSU



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 LABORATORIO AMBIENTAL
 Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1311-00104

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya		Planta Biogás. San Marcos Carazo		87463759
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	Celular
Erick Martínez		Estudiante	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO				
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA
31/10/2013	31/10/2013	12/11/2013	18/11/2013	1651
Fecha y Hora de Muestreo		31/10/2013; 1:30 pm		
Muestreado por		Erick Martínez		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		Efluente Líquido		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1310-0757		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. *
			Efluente Líquido	
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	7.10	NE
5210-B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	4,800.00	NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	8,640.00	NE
4500-B	Nitrogeno Total	mg/l	425.80	NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	24.08	NE
3500-C	Potasio	mg/l	1,892.00	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva: al Límite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.
 SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

LABORATORIOS AMBIENTALES
 COORDINACION TECNICA
 Ph.D. Leandra Páramb-Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Anexo 3. Análisis de Laboratorio. Sustrato 2: RSU



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
LABORATORIO AMBIENTAL
Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1311-00105

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA		DIRECCIÓN: Calle, Municipio, Comunidad, Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya		Planta Biogás, San Marcos Carazo		8722-4370
ATENCIÓN:		CARGO	EMAIL	
Arlen Daniela González		Estudiante	mcastellonzelaya@yahoo.com	
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO		FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:		
04/11/2013	05/11/2013	15/11/2013	18/11/2013	1654
Fecha y Hora de Muestreo		04/11/2013; 7:50 am		
Muestreado por		Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo		NR		
Fuente		Efluente Líquido		
Tipo de Muestra		Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación		NR		
Coordenadas		NR		
Codificación PIENSA		LA-1311-0760		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION	Art. No. *
			Efluente Líquido	
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	3.71	NE
5210-B	Oxígeno	mg/l	76,800.00	NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	188,467.68	NE
4500-B	Nitrogeno Total	mg/l	441.90	NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	82.60	NE
3500-C	Potasio	mg/l	2,596.00	NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva s al Límite de Detección que se especifica por parámetro. NE= No especificada en la Norma. NR= No Reporta.
SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95. EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los análisis solicitados por el cliente

firmado

Ph.D. Leandro Parra Aguilera
Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

Telefax: (505) 2278-1462 • Teléfono: (505) 2270-5613 / 2270-1517 • Celular: 8866-6702 / 8866-6705
Email: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni • Managua, Nicaragua.

0000259

Anexo 3. Análisis de Laboratorio. Sustrato 2: RSU



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
 LABORATORIO AMBIENTAL
 Programa de Investigación Estudios Nacionales y Servicios Ambientales



CERTIFICADO DE ENSAYOS

LA-AAR1311-00102

EMPRESA / PROYECTO / PERSONA			DIRECCIÓN: Calle, Municipio; Comunidad; Departamento		TELEFONO
Mario Fco. Castellón Zelaya			Planta Biogás. San Marcos Carazo		87463759
ATENCIÓN:			CARGO	EMAIL	Celular
Arlen Daniela González			Tesista	mcastellonzelaya@yahoo.com	87463759
FECHAS DE PROCESAMIENTO DE MUESTRA EN EL LABORATORIO					
INGRESO:	INICIO DE ANALISIS:	FINAL DE ANALISIS:	FECHA DE EMISION DE CERTIFICADO DE ANALISIS	CADENA DE CUSTODIA	NUMERO DE MUESTRAS
21/10/2013	22/10/2013	01/11/2013	18/11/2013	1642	Una (1)
Fecha y Hora de Muestreo			21/10/2013; 7:20 am		
Muestreado por			Arlen Daniela González		
Supervisor de Muestreo en Campo			NR		
Fuente			Efuyente Líquido		
Tipo de Muestra			Agua Residual Puntual		
Observaciones de Ubicación			NR		
Coordenadas			NR		
Codificación PIENSA			LA-1310-0720		
METODO SM // EPA	ENSAYO REALIZADO PARAMETRO	Unidad	VALOR DE CONCENTRACION		Art. No. *
			Efuyente Líquido		
4500-H+	Potencial de Hidrógeno	pH	3.70		NE
5210-B	Oxígeno	mg/l	53,488.54		NE
5220-C	Demanda Química de Oxígeno	mg/l	92,221.63		NE
4500-B	Nitrogeno Total	mg/l	525.00		NE
4500-C	Fosforo Total	mg/l	64.54		NE
3500-C	Potasio	mg/l	1,647.00		NE

LEYENDA DE REPORTE DE RESULTADOS: Se reporta por parámetro de acuerdo a la Unidad que se indica en la columna y línea respectiva. \leq al Limite de Detección que se especifica por parámetro NE= No especificada en la Norma NR= No Reporta.
 SM: Metodo Utilizado del Standard Methods 21st edition, 2005. *Decreto 33-95 EPA = Environmental Protection Agency

OBSERVACIONES: La muestra fue recolectada, custodiada e ingresada al laboratorio por el cliente.

Los resultados reportados corresponden a los ensayos solicitados por el cliente

firmado

COORDINACION TECNICA
 Ph.D. Leandro Parame Aguilera
 Coordinador Técnico Laboratorios Ambientales PIENSA-UNI

Declaramos que este informe de resultados será de uso exclusivo del cliente, el laboratorio garantiza la confidencialidad e imparcialidad del informe.

0000256

Telefax: (505) 2278-1462 • Teléfono: (505) 2270-5613 / 2270-1517 • Celular: 8866-6702 / 8866-6705
 Email: piensa@uni.edu.ni • Web: www.piensa.uni.edu.ni • Managua, Nicaragua.

Anexo 4. Registro de Producción de Biogás. Sustrato 1: Cáscara de Pitahaya

N°	Días/Fecha	Horas de Lectura	Producción de Biogás					
			Lectura inicial	Lectura anterior	Diferencia (m ³)	m ³ /día Total	m ³ /día Unidad	
1	10/09/2013	24	4040.96	4061.98	21.02	21.02	3.00	
2	11/09/2013	24	4061.98	4086.21	24.23	24.23	3.46	
3	12/09/2013	24	4086.21	4110.92	24.71	24.71	3.53	
4	13/09/2013	24	4110.92	4136.99	26.07	26.07	3.72	
5	14/09/2013	24	4136.99	4162.95	25.96	25.96	3.71	
6	16/09/2013	48	4162.95	4209.23	46.28	23.14	3.31	
7	17/09/2013	24	4209.23	4232.27	23.04	23.04	3.29	
8	18/09/2013	24	4232.27	4258.42	26.15	26.15	3.74	
9	19/09/2013	24	4258.42	4285.42	27.00	27.00	3.86	
10	20/09/2013	24	4285.42	4311.91	26.49	26.49	3.78	
11	21/09/2013	24	4311.91	4336.64	24.73	24.73	3.53	
12	23/09/2013	48	4336.64	4380.46	43.82	21.91	3.13	
13	24/09/2013	24	4380.46	4401.61	21.15	21.15	3.02	
14	25/09/2013	24	4401.61	4425.86	24.25	24.25	3.46	
15	26/09/2013	24	4425.86	4452.4	26.54	26.54	3.79	
16	27/09/2013	24	4452.40	4474.55	22.15	22.15	3.16	
17	28/09/2013	24	4474.55	4500.27	25.72	25.72	3.67	
18	30/09/2013	48	4500.27	4548.54	48.27	24.13	3.45	
19	01/10/2013	24	4548.54	4572.55	24.01	24.01	3.43	
20	02/10/2013	24	4572.55	4597.10	24.55	24.55	3.51	
21	03/10/2013	24	4597.10	4620.95	23.85	23.85	3.41	
22	04/10/2013	24	4620.95	4644.33	23.38	23.38	3.34	
23	05/10/2013	24	4644.33	4668.29	23.96	23.96	3.42	
						Promedio	24.27	3.47

Anexo 5. Registro de producción de biogás. Sustrato 2: RSU

N°	Días/Fecha	Horas de Lectura	Producción de Biogás				
			Lectura inicial	Lectura anterior	Diferencia (m³)	m³/día Total	m³/día Unidad
1	08/10/2013	24	4717.11	4733.44	16.33	16.33	2.33
2	09/10/2013	24	4733.44	4754.92	21.48	21.48	3.07
3	10/10/2013	24	4754.92	4780.89	25.97	25.97	3.71
4	11/10/2013	24	4780.89	4814.37	33.48	33.48	4.78
5	12/10/2013	24	4814.37	4840.4	26.03	26.03	3.72
6	14/10/2013	48	4840.4	4885.2	44.8	22.4	3.20
7	15/10/2013	24	4885.2	4907.98	22.78	22.78	3.25
8	16/10/2013	24	4907.98	4915.44	7.46	7.46	1.07
9	17/10/2013	24	4915.44	4948.72	33.28	33.28	4.75
10	18/10/2013	24	4948.72	4975.15	26.43	26.43	3.78
11	19/10/2013	24	4975.15	5017.39	42.24	42.24	6.03
12	21/10/2013	48	5017.39	5067.73	50.34	25.17	3.60
13	22/10/2013	24	5067.73	5092.18	24.45	24.45	3.49
14	23/10/2013	24	5092.18	5115.6	23.42	23.42	3.35
15	24/10/2013	24	5115.6	5139.3	23.7	23.7	3.39
16	25/10/2013	24	5139.3	5163.96	24.66	24.66	3.52
17	26/10/2013	24	5163.96	5188.75	24.79	24.79	3.54
18	28/10/2013	48	5188.75	5234.96	46.21	23.105	3.30
19	29/10/2013	24	5234.96	5254.83	19.87	19.87	2.84
20	30/10/2013	24	5254.83	5275.86	21.03	21.03	3.00
21	31/10/2013	24	5275.86	5296.99	21.13	21.13	3.02
22	01/11/2013	24	5296.99	5318.43	21.44	21.44	3.06
23	02/11/2013	24	5318.43	5336.59	18.16	18.16	2.59
24	04/11/2013	48	5336.59	5368.46	31.87	15.935	2.28
25	05/11/2013	24	5368.46	5385.16	16.7	16.7	2.39
26	06/11/2013	24	5385.16	5399.77	14.61	14.61	2.09

Anexo 5. Registro de producción de biogás. Sustrato 2: RSU

27	07/11/2013	24	5399.77	5415.23	15.46	15.46	2.21
28	09/11/2013	48	5415.23	5445.6	30.37	15.185	2.17
Promedio						22.38	3.20

Anexo 6. Balance de masa. Sustrato 1

6.1. Tipos y componentes de Residuos Sólidos

Tipo de componente	Porcentaje	Kg húmedos	% Humedad	Kg seco
Residuos de comida	100.00	113.64	90.1	11.25

6.2. Pesos atómicos de los elementos de los Residuos Sólidos

Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre
12	1	16	14	32

6.3. Porcentaje de los elementos de los Residuos Sólidos

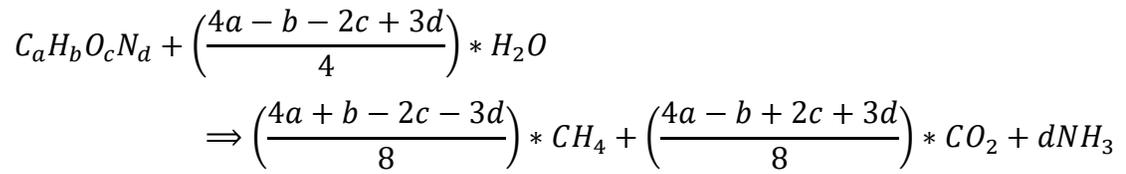
Tipos de Componentes RS	C	H	O	N	S	Cenizas	Total (%)
Residuos de comida	48.5	6.2	39.5	1.4	0.2	4.2	100

Fuente: Tchobanoglous, 1994

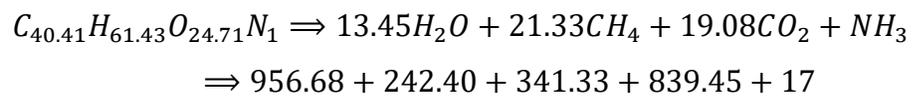
6.4. Cantidad de los elementos de los Residuos Sólidos

	Peso Seco (Kg)	C	H	O	N	S	Cenizas
Residuos de comida	11.25	5.46	0.70	4.44	0.16	0.02	0.47
Átomos de cada elemento		0.45	0.69	0.28	0.01	0.00	
Átomos de cada elemento dividido entre el menor número de átomos sin y con azufre		40.41	61.43	24.71	1.00		
		647.34	984.02	395.74	16.02	1	

6.5. La reacción global de descomposición del carbono orgánico



a	b	c	d
40.41	61.43	24.71	1.00



6.6. Generación de Biogás

Componente	Peso(kg)	Volumen (m ³)	%
CH ₄	3.85	5.36	52.83
CO ₂	9.46	4.78	47.17

Anexo 7. Balance de Masa. Sustrato 2

7.1. Tipos y Componentes de Residuos Sólidos

Tipo de componente	Porcentaje	Kg húmedos	% Humedad	Kg seco
Residuos de comida	100.00	54.55	43.21	27.27

7.2. Pesos Atómicos de los Elementos de los Residuos Sólidos

Carbono	Hidrógeno	Oxígeno	Nitrógeno	Azufre
12	1	16	14	32

7.3. Porcentaje de los elementos de los Residuos Sólidos

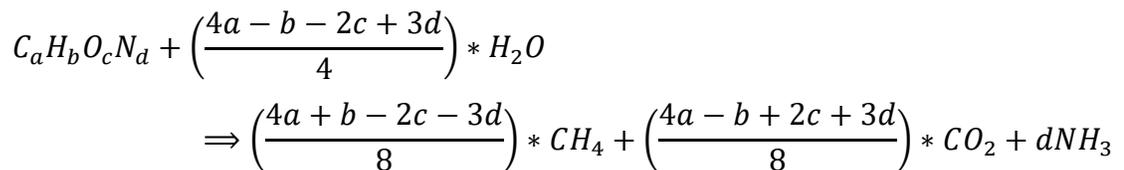
Tipos de Componentes RS	C	H	O	N	S	Cenizas	Total (%)
Residuos de comida	48	6.4	37.6	2.6	0.4	5	100

Fuente: Tchobanougous, 1994

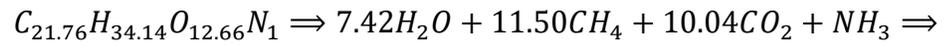
7.4. Cantidad de los elementos de los Residuos Sólidos

	Peso seco Kg	C	H	O	N	S	Cenizas
Residuos de comida	27.27	13.09	1.75	10.25	0.71	0.11	1.36
Átomos de cada elemento		1.09	1.73	0.64	0.05	0.00	
Átomos de cada elemento dividido entre el menor número de átomos sin y con azufre		21.54	34.14	12.66	1.00		
		320.33	507.88	188.35	14.87	1	

7.5. La reacción global de descomposición del carbono orgánico



a	b	c	d
21.54	34.14	12.66	1.00



7.6. Generación de Biogás

m³/Kg Residuos secos	m³/ Kg Residuos húmedos
0.48	0.24

7.7. Composición del Biogás

Componente	Peso(kg)	Volumen (m³)	%
CH₄	9.35	13.02	53.42
CO₂	22.45	11.35	46.58



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION hace constar que:

GONZÁLEZ LEIVA ARLEN DANIELA

Carne: **2008-23812** Turno **Diurno** Plan de Estudios **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y dos días del mes de septiembre del año dos mil dieciseis.

Atentamente,

Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

SECRETARÍA DE FACULTAD

F-8: CARTA DE EGRESADO

El Suscrito Secretario de la FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION hace constar que:

MARTÍNEZ HERNÁNDEZ ERICK JOAN

Carne: **2008-23964** Turno **Diurno** Plan de Estudios **97** de conformidad con el Reglamento Académico vigente en la Universidad, es **EGRESADO** de la Carrera de **INGENIERIA CIVIL**.

Se extiende la presente **CARTA DE EGRESADO**, a solicitud del interesado en la ciudad de Managua, a los veinte y dos días del mes de septiembre del año dos mil dieciseis.

Atentamente



Dr. Francisco Efraín Chamorro Blandón
Secretario de Facultad



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
SECRETARIA DE FACULTAD

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2016

No. Recibo **63,377,641** No. Inscripción **483**

NOMBRES Y APELLIDOS :Arlen Daniela González Leiva
CARRERA : INGENIERIA CIVIL CARNET : 2008-23812 TURNO : Diurno
PLAN DE ESTUDIO : 97 SEMESTRE : SEGUNDO SEMESTRE 2016 FECHA : 22/07/2016

No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	----- ULTIMA LINEA -----					

F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura

NOTA: NO VALIDA SIN FIRMA Y SELLO
Pasar retirando Hoja de Matricula en
Secretaria, presentando Recibo
Correspondiente

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 22-jul-2016



[Handwritten Signature]
FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE TECNOLOGIA DE LA CONSTRUCCION
SECRETARIA ACADEMICA

HOJA DE MATRICULA
AÑO ACADEMICO 2016

No. Recibo 64773668		No. Inscripción 1141				
NOMBRES Y APELLIDOS: Erick Joan Martínez Hernández						
CARRERA: INGENIERIA CIVIL		CARNET: 2008-23964		TURNO:		
PLAN DE ESTUDIO: 97		SEMESTRE: SEGUNDO SEMESTRE		FECHA: 15/08/2016 2016		
No.	ASIGNATURA	GRUPO	AULA	CRED.	F	R
1	ULTIMA LINEA					



F:Frecuencia de Inscripciones de Asignatura R: Retiro de Asignatura.

AJIMENEZ

GRABADOR

FIRMA Y SELLO DEL
FUNCIONARIO

FIRMA DEL
ESTUDIANTE

cc:ORIGINAL:ESTUDIANTE - COPIA:EXPEDIENTE.

IMPRESO POR SISTEMA DE REGISTRO ACADEMICO EL 15-ago-2016