



UNIVERSIDAD  
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
PIRHUA

# ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA USUARIOS COMERCIALES EN LA REGIÓN PIURA

Antonio Peralta-Talledo

Piura, noviembre de 2017

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Mecánico-Eléctrica

Peralta, A. (2017). *Estudio de factibilidad de un sistema biodigestor para usuarios comerciales en la región Piura* (Tesis para optar el título de Ingeniero Mecánico-Eléctrico). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](https://repositorio.institucional.pirhua.edu.pe/)

**UNIVERSIDAD DE PIURA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**Estudio de factibilidad de un sistema biodigestor para usuarios comerciales en la  
región Piura**

Tesis para optar el Título de  
Ingeniero Mecánico Eléctrico

**Antonio Alexis Peralta Talledo**

**Asesor: Dr. Ing. Mario Daniel Marcelo Aldana**

Piura, noviembre 2017



## **Dedicatoria**

A mis padres, Antonio y Haydee, y a mi hermana Aime por su apoyo incondicional para lograr mis metas y objetivos.

A mi novia Alicia por acompañarme y motivarme en los momentos más difíciles que he pasado, y por tener siempre fe en mí.

A mi mentor Daniel por guiarme y aconsejarme durante toda mi carrera universitaria.

Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos.



## **Prólogo**

La región Piura está ubicada en la costa y sierra noroeste del Perú, tiene una superficie territorial de 35 657 km<sup>2</sup>, se encuentra constituida por 8 provincias y 65 distritos (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015). Su población total estimada al 2017 es de aproximadamente 1 873 024 habitantes (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2010).

En la actualidad en la región, se genera aproximadamente 1 061 496 kg de residuos sólidos al día (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017). Al no disponer de suficientes recolectores de basura y no tener un relleno sanitario apropiado, agrava la situación, afectando al presupuesto de la región, medio ambiente, la imagen urbana, a la salud de las personas e incluso a la estabilidad social de la población. La tecnología de biodigestión es una alternativa energética para solucionar este problema, se basa en el aprovechamiento de los residuos orgánicos, para producir biogás, el cual puede sustituir al gas licuado de petróleo (GLP). También brinda como subproducto un biofertilizante, el cual puede ser usado directamente en los cultivos, convirtiéndose en un ciclo energético sostenible en el tiempo, brindando una forma económica y eficiente de energía alternativa y tratamiento de residuos orgánicos.

Existen empresas como son HomeBiogas y Traesure que construyen estos biodigestores para zonas urbanas, se caracterizan por ser biodigestores de fácil instalación, sin intervenir de manera destructiva el ambiente en donde se ubica. Además son sistemas modulares; de esta forma, se aprovecha todo los residuos generados por estos locales comerciales.

Un agradecimiento especial a mi asesor Dr. Ing. Daniel Marcelo por ser un mentor a lo largo de toda mi carrera universitaria y en especial durante este último año en la realización de mi tesis, quien ha dedicado mucho tiempo y esfuerzo para poder culminar de manera exitosa esta etapa de mi vida.

También agradezco a la entidad Fondecyt – Concytec por el financiamiento del proyecto N° 131-2015-FONDECYT “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA VALIDACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA, EN APLICACIONES DOMÉSTICAS EN ZONA RURALES DE LA REGIÓN PIURA, A PARTIR DE TRATAMIENTOS DE SUS RESIDUOS ORGÁNICOS”.



## **Resumen**

Esta investigación denominada “Estudio de factibilidad de un sistema biodigestor para usuarios comerciales en la región Piura” tiene como objetivo evaluar la factibilidad para la implementación de un sistema de biodigestores a nivel comercial en la región de Piura, que tenga impacto positivo desde el punto de vista tecnológico, económico, social y ambiental. Se demuestra que se puede obtener múltiples beneficios a corto y largo plazo: aprovechar los residuos orgánicos, lograr la independencia del tanque de gas para la cocción de alimentos, producir biofertilizante para las plantas o huertos y generar un ingreso económico por la venta del mismo. De esta forma se consigue un ahorro en el presupuesto mensual del giro de negocio, disminuye la contaminación del ambiente (reduce los gases del efecto invernadero) y se concientiza a la población en el uso de energías renovables, mostrándoles que un residuo se puede convertir en un recurso.



## Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Fundamentos teóricos .....	3
1.1. Biodigestor .....	3
1.1.1. Por el tipo de operación .....	3
1.1.1.1. Flujo discontinuo o batch .....	3
1.1.1.2. Flujo semicontinuo .....	3
1.1.1.3. Flujo continuo.....	3
1.1.2. Por su construcción.....	4
1.1.2.1. Tipo Chino.....	4
1.1.2.2. Tipo hindú .....	4
1.1.2.3. Tipo Taiwán.....	5
1.2. Biogás.....	5
1.3. Biol .....	5
Capítulo 2: Evaluación del potencial energético .....	7
2.1. Generación de residuos orgánicos en comercios de giros comunes.....	8
2.2. Generación de residuos orgánicos en hoteles y hospedajes .....	9
2.3. Generación de residuos orgánicos de mercados.....	9
Capítulo 3: Análisis de sensibilidad .....	11
3.1. Primer caso: No se aprovecha el biofertilizante .....	14
3.2. Segundo caso: Si se aprovecha el biofertilizante .....	18
3.3. Independencia del consumo de GLP doméstico.....	21
3.4. Beneficios ambientales.....	22
Capítulo 4: Artículo científico .....	27
Conclusiones.....	39
Bibliografía.....	41
Anexos .....	45



## Índice de Figuras

<b>Figura 1.</b> Esquema de biodigestor tipo Chino .....	4
<b>Figura 2.</b> Esquema de biodigestor tipo Hindú .....	4
<b>Figura 3.</b> Esquema de biodigestor tipo Taiwán .....	5
<b>Figura 4.</b> La inversión inicial, el VAN y la TIR en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor. (a) Primer caso con un TREMA de 7.01%. (b) Segundo caso con un TREMA de 12%.....	12
<b>Figura 5.</b> VAN del proyecto “A” y “B” en correlación a la tasa de descuento .....	13
<b>Figura 6.</b> La Inversión inicial y el VAN en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor.....	14
<b>Figura 7.</b> Ahorro anual de GLP doméstico y mantenimiento en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor.....	15
<b>Figura 8.</b> Capacidad del sistema de biodigestores y almacenamiento de biogás en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor.....	16
<b>Figura 9.</b> Residuos orgánicos que debe aprovechar el sistema biodigestor en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante.....	16
<b>Figura 10.</b> Inversión óptima en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante. ....	17
<b>Figura 11.</b> Capacidad óptima del sistema de biodigestores y almacenamiento de biogás en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante .....	17
<b>Figura 12.</b> VAN óptimo en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante. ....	18
<b>Figura 13.</b> Inversión inicial y el VAN en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor .....	18
<b>Figura 14.</b> Ahorro anual de GLP doméstico sumado con la ganancia por la venta del biol, y mantenimiento en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor.....	19
<b>Figura 15.</b> Residuos orgánicos que debe aprovechar el sistema biodigestor en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante.....	19
<b>Figura 16.</b> Inversión óptima en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante .....	20
<b>Figura 17.</b> Capacidad óptima del sistema de biodigestores y almacenamiento de biogás en correlación a los residuos orgánicos que genera el restaurante.....	20
<b>Figura 18.</b> VAN óptimo en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante .....	21
<b>Figura 19.</b> Reducción de emisiones que genera la implementación del sistema de biodigestores en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor.....	25

**Figura 20.** Reducción de emisiones que genera la implementación del sistema de biodigestores en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante ..... 25

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Generación de residuos sólidos de comercios de giros comunes .....	8
<b>Tabla 2.</b> Composición de residuos sólidos generados en establecimientos de giros comunes .....	8
<b>Tabla 3.</b> Generación de residuos sólidos de hoteles y hospedajes.....	9
<b>Tabla 4.</b> Composición de residuos sólidos generados en hoteles y hospedajes.....	9
<b>Tabla 5.</b> Composición de residuos sólidos generados de mercados .....	10
<b>Tabla 6.</b> Generación de residuos orgánicos de los mercados en la región Piura .....	10
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de GLP doméstico que cubre el sistema biodigestor para el caso “A” .....	21
<b>Tabla 8.</b> Independencia del uso del GLP doméstico.....	22
<b>Tabla 9.</b> Parámetros evaluados para calcular el nuevo factor de emisión .....	24



## **Introducción**

El presente trabajo de tesis denominado “Estudio de factibilidad de un sistema biodigestor para usuarios comerciales en la región Piura” demuestra la factibilidad de implementar un sistema biodigestor, generando ganancias para los giros comerciales de la región Piura.

En el capítulo 1, “Fundamentos teóricos”, se describe el sistema a utilizar para aprovechar los residuos orgánicos que generan los comercios, diferenciando los diferentes tipos de biodigestores, por el tipo de operación y por su construcción. También se define el producto y subproducto que genera el sistema biodigestor, el biogás que se utiliza para la generación de energía térmica en el presente trabajo y el biofertilizante que es utilizado para acelerar el crecimiento de las plantas.

En el capítulo 2, “Evaluación del potencial energético”, se determina la generación de residuos orgánicos en los diversos giros de negocio que se encuentran en la región Piura clasificados en giros comunes, hoteles, mercados y restaurantes. De esta forma se establece en cual giro negocio es rentable implementar el sistema biodigestor.

En el capítulo 3, “Análisis de sensibilidad”, se compara los indicadores financieros, cuando se varía la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor. La metodología es la siguiente, primero se calcula los indicadores financieros cuando el sistema biodigestor es seleccionado para aprovechar la totalidad de los residuos orgánicos que genera el restaurante. De esta forma se obtiene diferentes valores de rentabilidad, a medida que se aprovechan los residuos orgánicos. Este análisis se realiza en dos casos; el primero, cuando no se utiliza el biofertilizante generado, y el segundo, cuando se genera ganancias por la venta del biofertilizante. Después del análisis de sensibilidad, para cada caso, se recomienda solo aprovechar los residuos orgánicos necesarios para obtener rentabilidad financiera.

En el capítulo 4, “Artículo científico”, se presenta el artículo aceptado por el XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV- SPES), que se realizará en Huaraz durante las días 13 al 17 de noviembre del 2017.



# Capítulo 1

## Fundamentos teóricos

### 1.1. Biodigestor

También llamado digestor, es una cámara hermética cerrada e impermeable que se utiliza para producir biogás, el cual puede sustituir al gas licuado de petróleo. También brinda como subproducto biofertilizante, el cual es usado directamente en los cultivos. Estos productos se logran gracias a la fermentación anaeróbica que ocurre en su interior, la cual consiste en la descomposición de los desechos orgánicos que se vierten dentro de la cámara. Este proceso es una forma muy económica y eficiente de producción de energía alternativa y tratamiento de residuos orgánicos (Fuentes, 2012). Existen dos grandes clasificaciones de biodigestores: por el tipo de operación y por la construcción. (Navarro, 2015)

#### 1.1.1. Por el tipo de operación

##### 1.1.1.1. Flujo discontinuo o batch

Es usado cuando los desechos orgánicos a procesar se tienen de manera intermitente. La carga se realiza una sola vez, descargándose cuando ha dejado de producir biogás o los desechos orgánicos se encuentren suficientemente degradados (Garzón, 2011).

##### 1.1.1.2. Flujo semicontinuo

Los biodigestores de flujo semicontinuo son los más usados a nivel doméstico, se cargan por gravedad una vez por día, produciendo una cantidad de biogás constante. El biofertilizante que se descarga diariamente, es usado para el riego de las plantas y huertos. El mantenimiento de estos biodigestores no es complejo (Salamanca, 2009).

##### 1.1.1.3. Flujo continuo

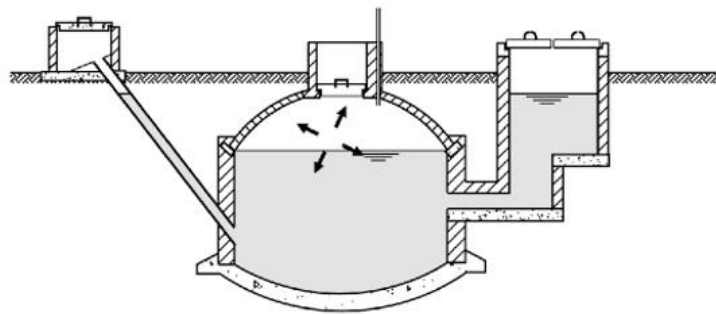
La carga en este tipo de biodigestores se realiza de manera periódica, y se descarga en forma simultánea en la misma cantidad en que se ingresan los residuos orgánicos, siendo un proceso ininterrumpido. Este tipo de biodigestores son de gran tamaño y requiere de mayor inversión tecnológica, porque es necesario el seguimiento y control de los desechos orgánicos para su rápida fermentación. Se utilizan principalmente en el tratamiento de aguas negras, sin embargo en la actualidad también se usan para la degradación de otro tipo de sustancias. (Bolívar & Ramírez, 2012)

### 1.1.2. Por la construcción

Dentro de este grupo se encuentra varios modelos de construcción, sin embargo, algunos modelos son variaciones de otros. Se clasifican en 3 tipos (Forget, 2011):

#### 1.1.2.1. Tipo Chino

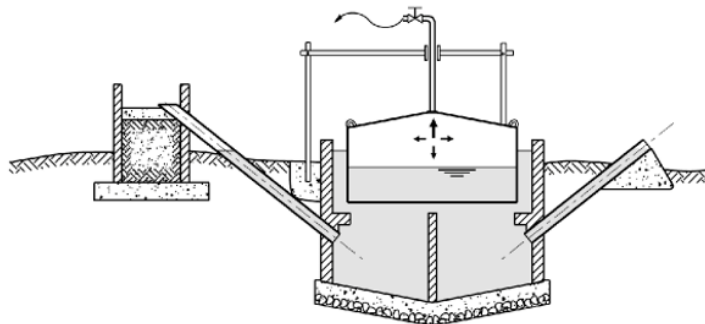
Este modelo es el más difundido en el mundo, también conocido como biodigestor de cúpula fija. Este se construye enterrado a partir de ladrillos y concreto y no posee un gasómetro integrado; por lo tanto, el gas se acumula en el interior del biodigestor, aumentando la presión progresivamente, forzando al biofertilizante salir por el otro extremo como indica la figura 1. Estos biodigestores tienen como principal objetivo la producción de fertilizante y no la de biogás, debido a sus variaciones de presión en su interior.



**Figura 1.** Esquema de biodigestor tipo Chino  
**Fuente:** (Guardado, 2007)

#### 1.1.2.2. Tipo hindú

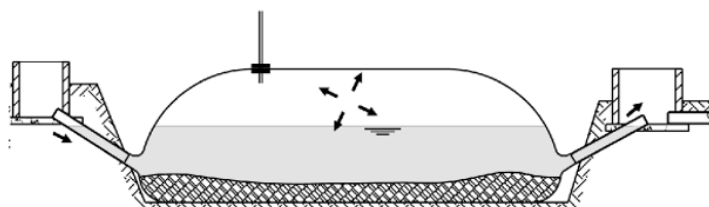
El biodigestor Hindú, también conocido como biodigestor de cúpula flotante, fue desarrollado por la necesidad de buscar energías alternativas, que pueda reemplazar al combustible en India. Al igual que los de tipo Chino, estos también son construir enterrados a base de ladrillo y cemento, la gran diferencia es que poseen una cúpula flotante anticorrosiva, la cual se desplaza hacia arriba si se produce biogás y se desplaza hacia abajo si se consume biogás como indica la figura 2. Es muy eficiente en la producción de biogás, debido a que la presión dentro del biodigestor se mantiene casi constante, con pocas fluctuaciones, y también posee un gasómetro integrado.



**Figura 2.** Esquema de biodigestor tipo Hindú  
**Fuente:** (Guardado, 2007)

### 1.1.2.3. Tipo Taiwán

Comúnmente llamado biodigestor tubular, se encuentra fabricado de material sintético de alta densidad, tiene una forma tubular horizontal como indica la figura 3. El flujo de materia se desplaza horizontalmente, desde la entrada de la carga hasta la salida del biofertilizante, las ventajas de este tipo de biodigestores es que tienen un bajo costo, facilidad de operación mantenimiento.



**Figura 3.** Esquema de biodigestor tipo Taiwán  
**Fuente:** (Guardado, 2007)

## 1.2. Biogás

El biogás es un gas combustible, contiene mayoritariamente metano en una concentración entre un 55% y un 70% y dióxido de carbono entre un 30% a un 45%. La composición del biogás depende de la calidad de los residuos digeridos y de la tecnología del biodigestor (Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO; Glogal Environment Facility, GEF, 2011). El biogás posee una composición similar al gas natural; sin embargo, presenta mayor cantidad de impureza como el ácido sulfhídrico, monóxido de carbono, nitrógeno, hidrógeno y oxígeno. Estas impurezas deben ser removidas de acuerdo a la aplicación que tendrá el biogás generado. (Navarro, 2015). El metano es el componente energético útil en el biogás, teniendo este último un calor específico variable. Así se puede utilizar en reemplazo de diferentes fuentes energéticas, por ejemplo, 1 m<sup>3</sup> de biogás puede sustituir aproximadamente: 0,58 litros de kerosene, 0,5 a 1,5 kg de leña, 0,61 litros de gasolina y 0,74 kg de carbón vegetal. (Anchundia & Ruiz, 2012). Existen diversas aplicaciones para aprovechar el biogás como, por ejemplo: cocción de alimentos, iluminación, combustible de motores, refrigeración y generación eléctrica. En comparación con el GLP doméstico, un balón de gas de 10 kg equivale a 20 m<sup>3</sup> de biogás, debido a que el GLP posee un poder calorífico de 11 739 kCal/kg (Osinermin, Diferencias Físico - Químicas del Gas Natural el GLP, s.f.), mientras que el biogás posee un poder calorífico de 6 000 kCal/m<sup>3</sup> (Jaimovich, y otros, 2015)

## 1.3. Biol

El biofertilizante, también conocido como biol, es un subproducto que brinda la digestión anaeróbica, como una descarga del tanque digestor producto del largo proceso de fermentación. Es muy útil para acelerar el crecimiento de las plantas y aumentar la resistencia a las plagas, esto se debe gracias a la concentración de nutrientes que posee, los cuales varían dependiendo de la composición de los residuos orgánicos que se han digerido. Los 3 macronutrientes que necesitan las plantas, nitrógeno, fosforo y potasio se encuentran en una concentración de 2,4 g/kg, 1,01 g/kg y 2,94 g/kg, respectivamente. (Sandra Aparcana Robles, 2008).



## **Capítulo 2**

### **Evaluación del potencial energético**

Los residuos sólidos se definen como los desechos que genera la comunidad, como consecuencia del consumo y desarrollo de sus actividades cotidianas. Estos residuos se encuentran compuestos de una gran variedad de materiales, pero principalmente de dos grupos fundamentales: residuos orgánicos, son los resultantes de la elaboración de comidas, se descomponen rápidamente y desprenden un olor muy fuerte. Y se tiene a los residuos inorgánicos, son el resultado de la industrialización de recursos naturales, como el plástico, papel, vidrio, textiles, etc. (Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, OPDS; Subsecretaría de Educación, DGCyE, 2008).

En Perú, los residuos se clasifican principalmente por su origen de generación: residuos domiciliarios, residuos comerciales, residuos de limpieza de espacios públicos, residuos de los establecimientos de atención de salud y centros médicos de apoyo, residuos industriales, residuos de la actividad de construcción, residuos agropecuarios y residuos de instalación o actividades especiales. El presente estudio se enfoca en los residuos comerciales, aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, como centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, oficinas de trabajo, hoteles, entre otras actividades análogas. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. OEFA, 2014). El potencial energético que posee la región Piura, se obtiene de analizar la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se generan en todos los comercios.

Estos comercios se han clasificado de la siguiente manera: comercios comunes, hoteles, mercados y restaurantes. (ECO Consultorías e Ingeniería SAC, 2013). La municipalidad de cada distrito es la encargada de la recolección de residuos sólidos en la región Piura, 37 municipalidades realizan dicha labor diariamente; 15 municipalidades, de manera interdiaria; 12 municipalidades, dos veces por semana, y solo una lo hace una vez por semana. En consecuencia, en muchos distritos se observa la acumulación de residuos sólidos en vías pública, generando malestar en la comunidad. (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017).

La cantidad de establecimientos en cada giro comercial se estima partir del III Censo Nacional Económico 1993-1994 y del IV Censo Nacional Económico 2008, información brindada por el Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI - Piura. La data obtenida se extrapola al año 2016, teniendo como referencia el crecimiento de los establecimientos censados en las actividades económicas “Alojamiento y servicios de comida”. Se toma esta variable como punto de partida porque es la actividad económica en la cual se dispone más información estadística, de esta forma se tiene fiabilidad que los datos extrapolados al año 2016 se aproximan a la realidad, teniendo en cuenta que actualmente no existe estudio alguno

de la cantidad de establecimientos por giro comercial en la región de Piura. Como dato adicional, el V Censo Nacional Económico se realizará hasta el año 2018.

## 2.1. Generación de residuos orgánicos en comercios de giros comunes

El primer giro de negocio, son los denominados giros comerciales comunes, conformado por bodegas, panaderías, bazares, librerías, ferreterías, peluquerías y similares. Estos comercios se han dividido en cuatro categorías según el área del mismo como indica la tabla 1.

**Tabla 1.** Generación de residuos sólidos de comercios de giros comunes

Giro de establecimiento	Rango de áreas (m <sup>2</sup> )	Cantidad de establecimientos (%)	Generación promedio (kg/establecimiento/día)
Comercios comunes	menos de 30	40,74	1,04
	30 a 100	36,25	1,24
	100 a 500	17,06	1,17
	500 a más	4,75	2,47

**Fuente:** (ECO Consultorías e Ingeniería SAC, 2013)

Se estima 1,2 kg/establecimiento/día de residuos sólidos que generan los establecimientos de giros comunes, independiente del área del mismo. Utilizando como referencia la base de datos del INEI, se extrapola la cantidad de establecimientos de giros comunes del año 1994 y el año 2008 en la región Piura; y se estima 72 649 comercios al año 2016, generando así un total de 87 469 kg de residuos sólidos. Se analiza la composición de estos residuos sólidos y se determina el total de residuos orgánicos como indica la tabla 2.

**Tabla 2.** Composición de residuos sólidos generados en establecimientos de giros comunes

Tipo de residuo sólido	Porcentaje (%)
1. Residuos reaprovechables (1.1 + 1.2)	83,36
1.1. Residuos orgánicos	9,32
Residuos de alimentos (restos de comida)	9,07
Maleza, poda y madera	0,26
Otros orgánicos	0,00
1.2. Residuos inorgánicos	74,03
Papel	16,13
Cartón	30,42
Vidrio	9,05
Plásticos	12,60
Tetra pack	0,19
Metales	1,35
Residuos electrónicos	2,97
Otros aprovechables (textiles, telas)	1,32
2. Residuos no aprovechables	16,64

**Fuente:** (ECO Consultorías e Ingeniería SAC, 2013)

El porcentaje de residuos orgánicos es 9,3%, equivale a 0,11 kg/establecimiento/día, este valor es muy reducido por lo que se descarta instalar un sistema biodigestor en un establecimiento comercial de giro común. Se estima 8 160 kg de residuos orgánicos generados por establecimientos de giros comunes en la región Piura.

## 2.2. Generación de residuos orgánicos en hoteles y hospedajes

Se han dividido en dos categorías según el área como indica la tabla 3.

**Tabla 3.** Generación de residuos sólidos de hoteles y hospedajes

<b>Giro de establecimientos</b>	<b>Rango de áreas (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Cantidad de establecimientos (%)</b>	<b>Generación promedio (kg/establecimiento/día)</b>
Hoteles y hospedajes	menos de 100	6,40	1,81
	100 a 500	93,60	1,93

**Fuente:** (ECO Consultorías e Ingeniería SAC, 2013)

Se estima 1,92 kg/hotel/día de residuos sólidos que generan los hoteles y hospedajes, independiente del área del mismo. Se extrapola la cantidad de hoteles y hospedajes del año 1994 y el año 2008 en la región Piura; y se estima 747 establecimientos al año 2016, generando así un total de 1 434 kg de residuos sólidos.

Se analiza la composición de estos residuos sólidos y se determina el total de residuos orgánicos como indica la tabla 4.

**Tabla 4.** Composición de residuos sólidos generados en hoteles y hospedajes

<b>Tipo de residuo sólido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Papel/cartón	16,16
Vidrio	10,42
Envases ligeros	11,61
Fracción orgánica	45,71
Otros aprovechables (textiles, telas)	16,10

**Fuente:** (AROMA Turismo, ARONA Ayuntamiento, 2014)

El porcentaje de residuos orgánicos es de 45,71%, equivale a 0,88 kg/hotel/día. Este valor es similar en comparación a los residuos orgánicos que genera una familia conformada por cuatro personas, produciendo cada uno en promedio 0,57 kg de residuos por día, de los cuales solo el 39,92% son residuos orgánicos. Cada familia genera aproximadamente 0,93 kg de residuos orgánicos diarios (Ministerio del Ambiente, MINAM; Evaluación y Gestión Ambiental, Evagam S. A. C., 2014).

Los residuos orgánicos que generan los hoteles son aprovechables para el sistema biodigestor; sin embargo, no es muy rentable financieramente, además existe una gran desventaja con respecto a la cantidad de establecimiento en la región, lo cual no es atractivo para su escalamiento. Se estima 655,4 kg de residuos orgánicos generados por hoteles y hospedajes en la región Piura.

## 2.3. Generación de residuos orgánicos de mercados

El potencial de generación de residuos orgánicos se calcula a partir de la cantidad de puestos fijos que tiene cada mercado, cada uno genera 10,4 kg/puesto/día de residuos sólidos (ECO Consultorías e Ingeniería SAC, 2013). Se analiza la composición de estos residuos sólidos y se determina el total de residuos orgánicos como indica la tabla 5.

**Tabla 5.** Composición de residuos sólidos generados de mercados

<b>Tipo de residuo sólido</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
1. Muestra N° 1	
Residuos orgánicos	88,31
Residuos inorgánicos	11,69
2. Muestra N° 2	
Residuos orgánicos	68,18
Residuos inorgánicos	31,82

**Fuente:** (ECO Consultorías e Ingeniería SAC, 2013)

Se estima un 78,25% de residuos orgánicos, equivalente a 8,13 kg/puesto/día. Este valor es superior en comparación al resto de giros comerciales y domiciliarios. Al año 2016, la región Piura tiene 37 mercados, los cuales tienen un total de 15 696 puestos fijos (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2016). Generando en total 163 019 kg/día como se indica en la tabla 6.

**Tabla 6.** Generación de residuos orgánicos de los mercados en la región Piura

<b>Provincia</b>	<b>Cantidad de puestos fijos</b>	<b>Generación promedio de residuos sólidos (kg/día)</b>	<b>Generación promedio de residuos orgánicos (kg/día)</b>
Piura	10 084	10 4732	81 983
Ayabaca	135	1 402	1 098
Huancabamba	462	4 798	3 756
Morropón	730	7 582	5 935
Paita	946	9 825	7 691
Sechura	630	6 543	5 122
Sullana	855	8 880	6 951
Talara	1 854	19 256	15 073
Total	15 696	163 019	127 608

**Fuente:** Elaboración propia

La región Piura genera 127 608 kg diarios de residuos orgánicos provenientes de mercados. Sin embargo, implementar un sistema biodigestor modular no es recomendable, es más eficiente y rentable construir un biodigestor industrial para procesar todos los residuos orgánicos.

## **Capítulo 3**

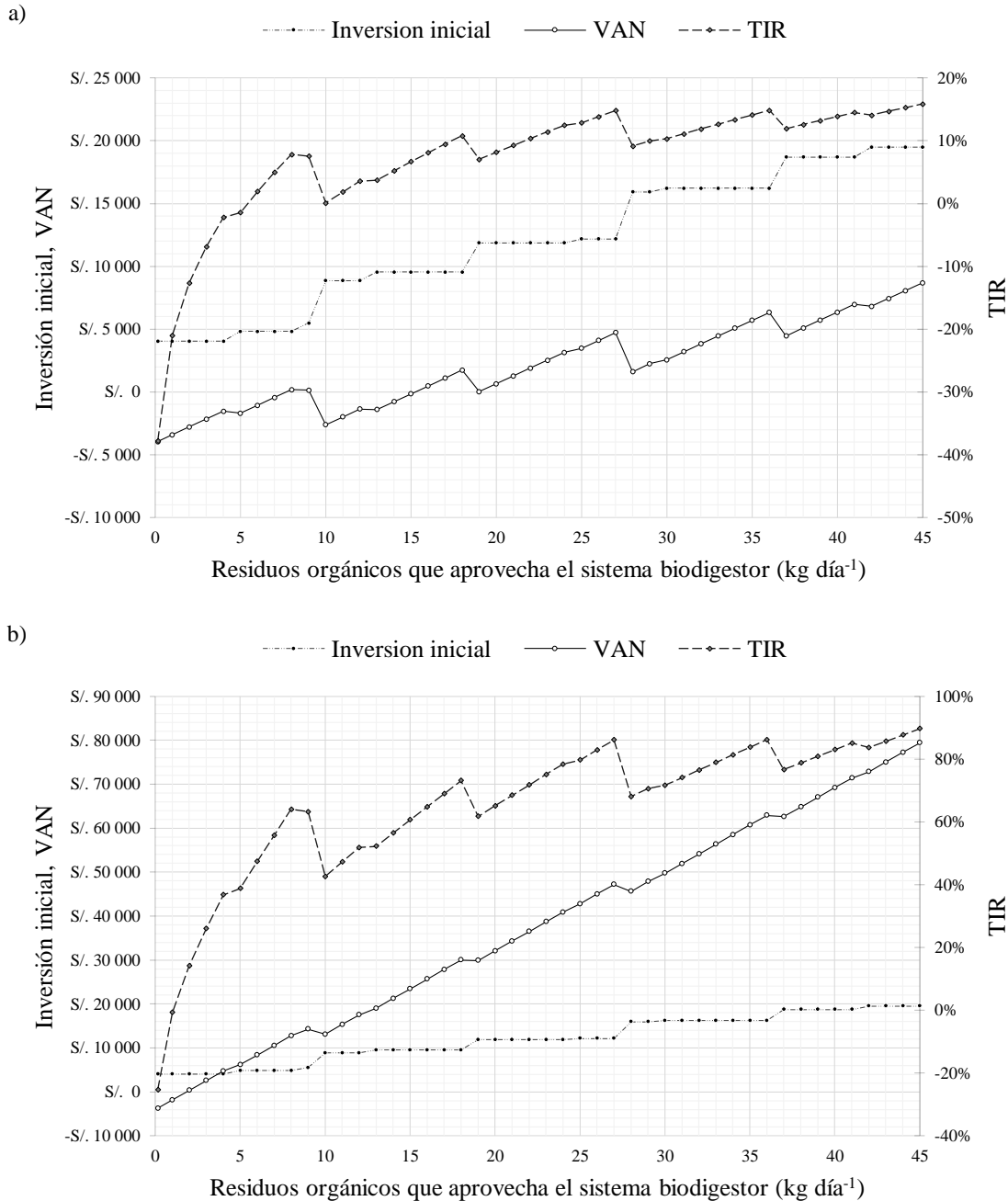
### **Análisis de sensibilidad**

Para decidir si un sistema es implementado, es fundamental que exista una viabilidad financiera, reflejada en el retorno de la inversión en un tiempo adecuado. Para el análisis financiero no se ha considerado un financiamiento del proyecto por parte de una entidad bancaria, se utilizará un capital propio para solventar el costo del sistema de biodigestores y su mantenimiento. Este capital invertido se analiza a lo largo de los diez años de vida útil que posee el sistema biodigestor. Se evalúa la rentabilidad en dos casos: el primero es cuando no se aprovecha el biofertilizante que genera el biodigestor y el segundo caso es cuando se obtiene ganancias por la venta del biofertilizante.

Para calcular los indicadores financieros se utiliza una tasa de retorno mínima atractiva (TREMA) o también llamada tasa de descuento, la cual es comparable con una tasa de interés que brinda una entidad bancaria al invertir en ella el capital sin tener riesgo alguno. La mayor tasa de interés en soles que se encuentra en el mercado financiero es de 7,01% (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2017). En el presente trabajo se utiliza una tasa de descuento diferente para cada caso, para el primero en donde no se usa el biofertilizante, es de 7,01%; y para el segundo se emplea una tasa de descuento mayor porque se incluye la venta del biofertilizante y esto conlleva un mayor riesgo. A la tasa de 7,01% se le aumenta una prima de riesgo, resultando una tasa de descuento de 12%. Con la tasa de descuento ya definida se obtienen los indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), el cual es el ingreso neto que obtendrá la empresa a valores actualizados, durante la vida del proyecto. La Tasa de Valor de Retorno (TIR), es la máxima tasa de interés que se puede pagar al inversionista. Y la Relación Beneficio/Costo (R-B/C), es aquella que relaciona la sumatoria de todos los costos actualizados del proyecto (inversión y operación) con la sumatoria de todos los beneficios actualizados que genera el proyecto durante su vida útil (Posas, 2005).

El análisis de sensibilidad consiste en calcular los nuevos indicadores financieros cuando se utiliza distintos parámetros, como la inversión inicial, ingresos y egresos anuales. Los cuales se encuentran relacionados a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor. Es necesario acotar que la inversión inicial es un parámetro puntual, mientras que el VAN y la TIR son valores que pueden aproximarse a la trayectoria que sigue la gráfica. Se debe tener cuidado cuando se aprovecha mayor cantidad de residuos, ya que puede existir un aumento de inversión inicial muy elevado que convierte al proyecto en menos rentable e incluso hacerlo no rentable. Sin embargo, esto solo sirve como punto de partida, porque más adelante este análisis de sensibilidad corrige la inversión inicial para que se aproveche la cantidad necesaria de residuos orgánicos que genere mayor rentabilidad. Para fines prácticos se recomienda utilizar los valores puntuales, porque la generación de residuos orgánicos en un restaurante varía a lo largo de la semana, entonces se toma un valor

aproximado de los residuos orgánicos para poder conocer la inversión inicial a utilizar. Teniendo como referencia los criterios para la evaluación financiera de proyectos cuando se evalúa solo un proyecto; si el VAN es negativo, indica que éste no es rentable, al igual que un TIR menor a la tasa de descuento (Posas, 2005). Cuando se analiza dos o a más proyectos se debe considerar dos criterios, se escoge aquel con mayor VAN y con mayor TIR, ambos criterios suelen coincidir en la selección del proyecto más rentable. Teniendo en cuenta que el biodigestor seleccionado aprovecha la totalidad de los residuos orgánicos que genera el restaurante, existen casos en donde un proyecto en comparación a otro tiene un mayor VAN y menor TIR como se observa en la figura 4.

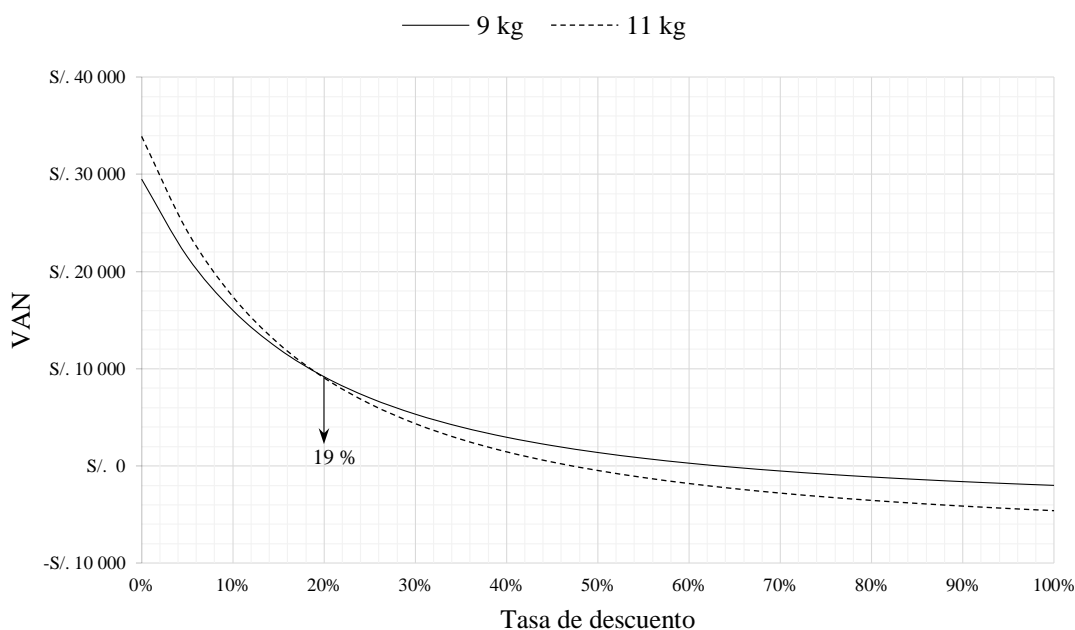


**Figura 4.** La inversión inicial, el VAN y la TIR en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor. (a) Primer caso con un TREMA de 7.01%. (b) Segundo caso con un TREMA de 12%.

**Fuente:** Elaboración propia

En el segundo caso se tiene dos opciones para invertir; 8 873 nuevos soles en un sistema biodigestor cuando el restaurante genera 11 kg de residuos orgánicos, denominado proyecto “2A”, obteniendo el VAN de 15 296 nuevos soles y la TIR de 47,20%; o es preferible invertir 5 484 nuevos soles en sistema que aprovecha solo 9 kg, denominado proyecto “2B”, obteniendo el VAN de 14 281 nuevos soles y la TIR de 63,23 %. Los proyectos “2A” y “2B” tienen contraindicaciones del VAN y la TIR, esto ocurre en algunos casos cuando ambos proyectos son mutuamente excluyentes, es decir solo se puede escoger uno de ellos o rechazar ambos, y cuando ambos proyectos tienen diferente escala de inversión inicial.

Para seleccionar el proyecto más rentable se tiene que considerar solo el criterio del VAN; es decir, se escoge aquel proyecto con mayor VAN. Esto se demuestra comparando el VAN de cada proyecto para la tasa de descuento seleccionada o comparando la TIR incremental con la tasa de descuento (Stephen A. Ross, 2010). Para ello se debe estimar el comportamiento del VAN para el proyecto “2A” y “2B”, en correlación con diferentes tasas de descuento como indica la figura 5. Se observa que si la TREMA utilizada en los proyectos “2A” y “2B” es menor a la tasa de cruce (19 %), se debe elegir el proyecto “2A” porque tiene un mayor VAN. Ocurre lo contrario si la TREMA es mayor a 19%, se debe elegir el proyecto “2B”. Como en el segundo caso se emplea una TREMA igual a 12%, se deduce que el proyecto “2A” es la mejor opción para invertir. Ahora se utiliza el segundo método para comparar ambos proyectos; la TIR incremental, este parámetro indica la rentabilidad del proyecto “2A – 2B”. El valor de la TIR incremental es de 19%, coincidiendo con la tasa de cruce, lo cual siempre sucede. Entonces si la TREMA es menor a la TIR incremental, el mejor proyecto para invertir será el “2A”.



**Figura 5.** VAN del proyecto “A” y “B” en correlación a la tasa de descuento

**Fuente:** Elaboración propia

También se cumple para el primer caso, cuando no se aprovecha el biofertilizante, como indica la figura 4. En el cual se compara los proyectos que aprovechan 21 kg, denominado proyecto “1A”; y 17 kg, denominado proyecto “1B”. En esta ocasión, cada VAN es de 1 275 nuevos soles y 1 105 nuevos, con la TIR de 9,28 % y 9,46 % respectivamente. Siguiendo los criterios de elección, el proyecto a escoger es el “1A” por presentar mayor VAN; ahora al

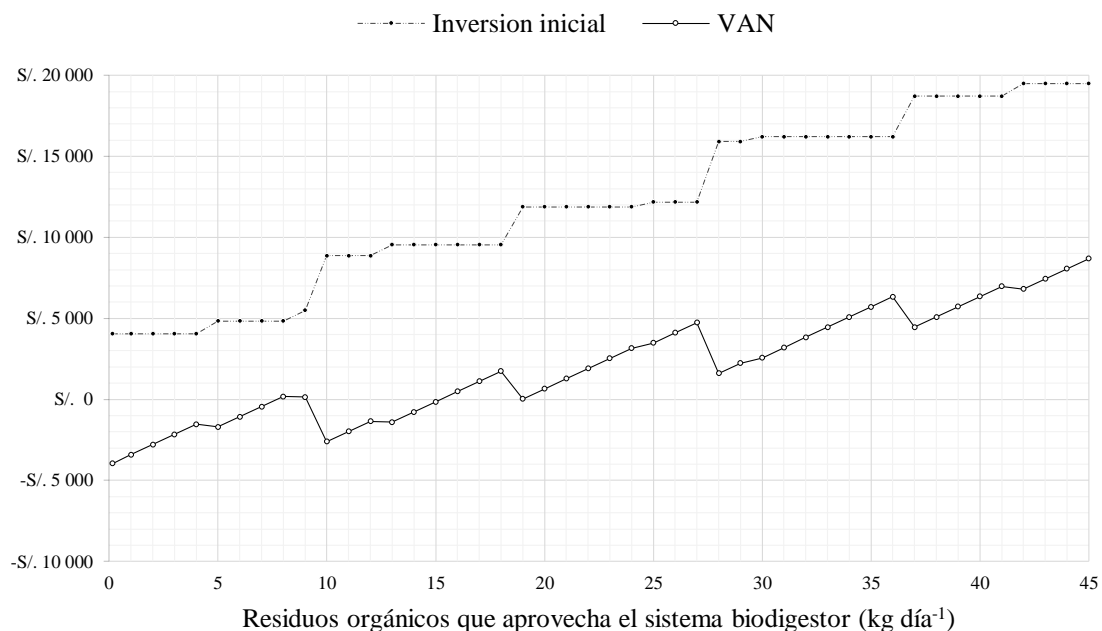
compararla con el TIR incremental de ambos proyectos, esta resulta de 8,5 %, y para el primer caso se utiliza una tasa de descuento de 7,01%, determinando que el proyecto “1A” es más rentable.

Se ha planteado estos ejemplos con la finalidad de comprender el comportamiento al comparar otros proyectos en correlación con la cantidad de residuos orgánicos que se aprovechan, los proyectos “2A” y “2B” son aquellos más críticos porque tienen la mayor diferencia de inversión inicial y la menor diferencia del VAN, al igual que los proyectos “1A” y “1B”. Teniendo en cuenta todos los criterios que se demostraron, un proyecto es mejor a otro cuando genere mayor VAN independientemente de la TIR, se procede a analizar detalladamente ambos casos.

### 3.1. Primer caso: No se aprovecha el biofertilizante

Se analiza el comportamiento del VAN y de la inversión inicial cuando el sistema biodigestor seleccionado aprovecha la totalidad de los residuos orgánicos que genera el restaurante, como se indica en la figura 6. Instalar un sistema biodigestor es financieramente rentable cuando se genera residuos orgánicos dentro de los siguientes rangos: de 8 a 9 kg, con un VAN de 181,40 nuevos soles y 141,58 nuevos soles respectivamente, y a partir de 16 kg con un VAN de 479,81 nuevos soles.

Al comparar los proyectos para aprovechar 8, 9 y 10 kg, se observa que no necesariamente para un mayor aprovechamiento de residuos orgánicos, el VAN incrementa, éste disminuye porque la inversión inicial para aprovechar 9 kg es ligeramente mayor a la inversión inicial para aprovechar 8 kg. Y para aprovechar los 10 kg, la inversión inicial incrementa aún más, lo cual genera que el VAN disminuya drásticamente, a tal punto de ser un proyecto no rentable.



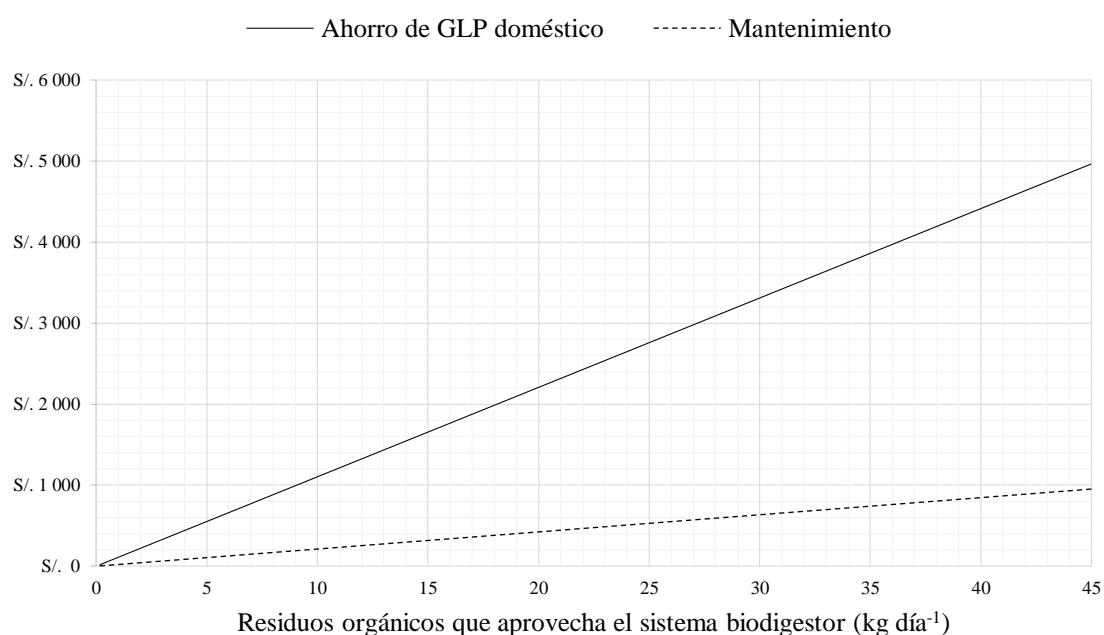
**Figura 6.** La Inversión inicial y el VAN en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor

**Fuente:** Elaboración propia

Al evaluar el VAN generado en proyectos que aprovechan 27 y 28 kg de residuos orgánicos, estos generan 4 735 nuevos soles y 1 613 nuevos soles, respectivamente. Aplicando los criterios antes mencionados, cuando se genera entre 27 y 33 kg, es rentable invertir en un sistema de biodigestores que solo aproveche los 27 kg, ya que si se aprovecha el resto de residuos orgánicos requiere mayor inversión inicial, siendo ésta mucho mayor a las utilidades que genera el sistema. El VAN retorna a ser más rentable cuando se invierte para aprovechar 34 kg de residuos orgánicos.

Ocurre lo contrario en diversos intervalos, en donde se observa un incremento proporcional del VAN con respecto al aprovechamiento de residuos orgánicos, como se observa en la figura 6, cuando se aprovecha residuos orgánicos de 0 a 4 kg, de 5 a 8 kg, de 10 a 12 kg, de 13 a 18 kg, de 19 a 24 kg, de 25 a 27 kg, de 28 a 29 kg, de 30 a 36 kg, de 37 a 41 kg, y de 42 a 45 kg. Esto sucede porque el valor de inversión inicial permanece constante en cada uno de estos intervalos, resultando que dentro de un mismo intervalo lo más rentable es aprovechar la mayor cantidad de residuos orgánicos. El aumento de inversión se produce porque los biodigestores cotizados poseen capacidades específicas, siendo necesario aumentar la capacidad del sistema biodigestor cuando se desee aprovechar mayor cantidad de residuos orgánicos.

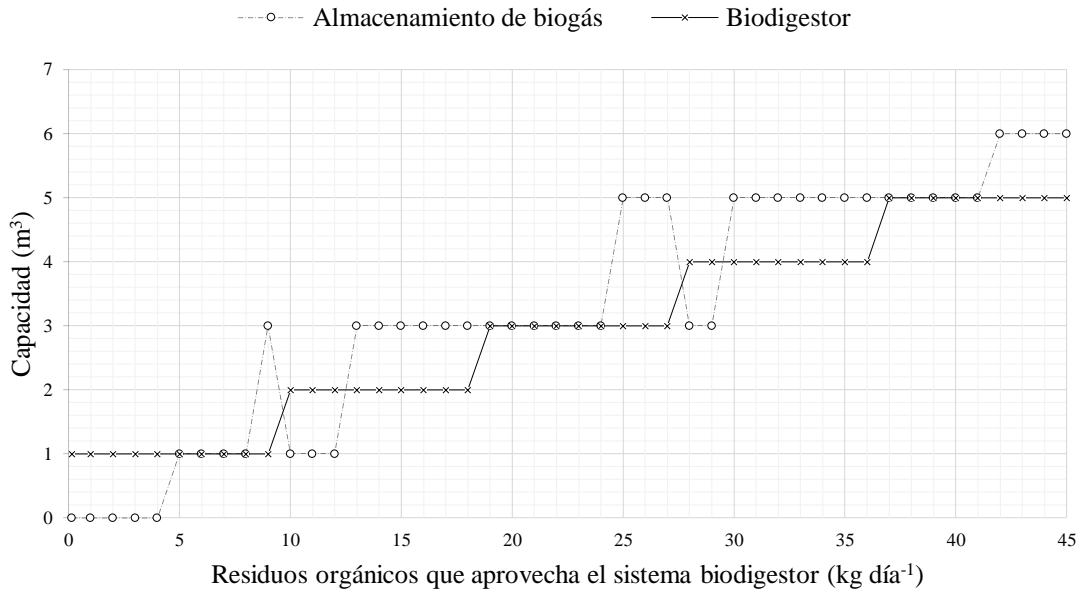
Como se indica en la figura 7, el aprovechamiento de mayor cantidad de residuos orgánicos genera mayor biogás, proporcionando mayor ahorro de GLP doméstico; pero también requiere de mayor mantenimiento, siendo este último el cambio del desulfurizador para poder filtrar el biogás.



**Figura 7.** Ahorro anual de GLP doméstico y mantenimiento en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor

**Fuente:** Elaboración propia

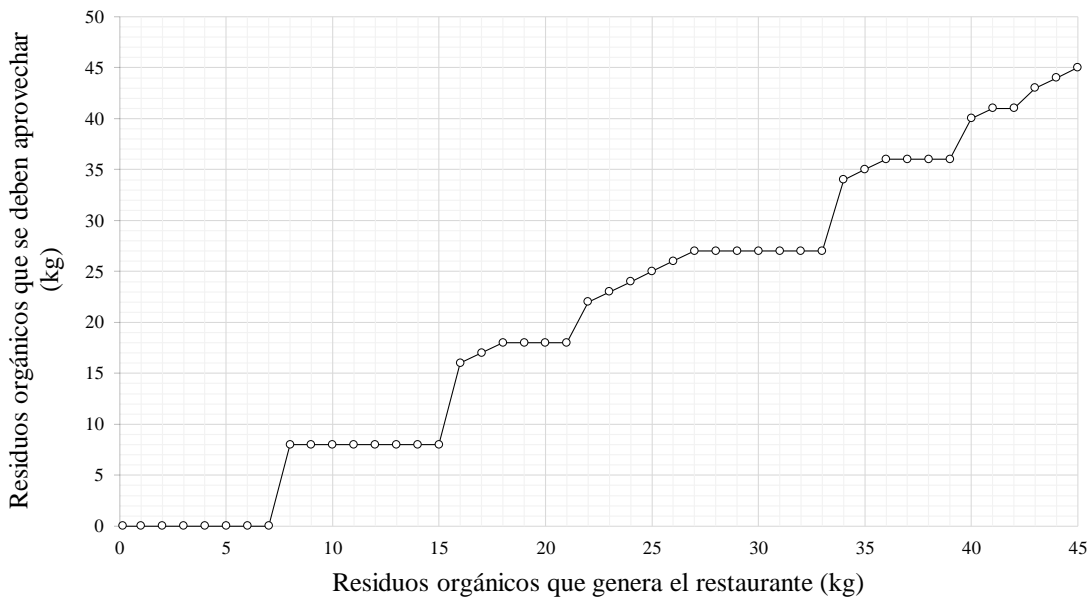
Cuando la inversión inicial aumenta es porque se requiere instalar biodigestores de mayor capacidad y/o una bolsa de almacenamiento para el biogás, como indica la figura 8. Estos valores también son puntuales al igual que la inversión inicial.



**Figura 8.** Capacidad del sistema de biodigestores y almacenamiento de biogás en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor

**Fuente:** Elaboración propia

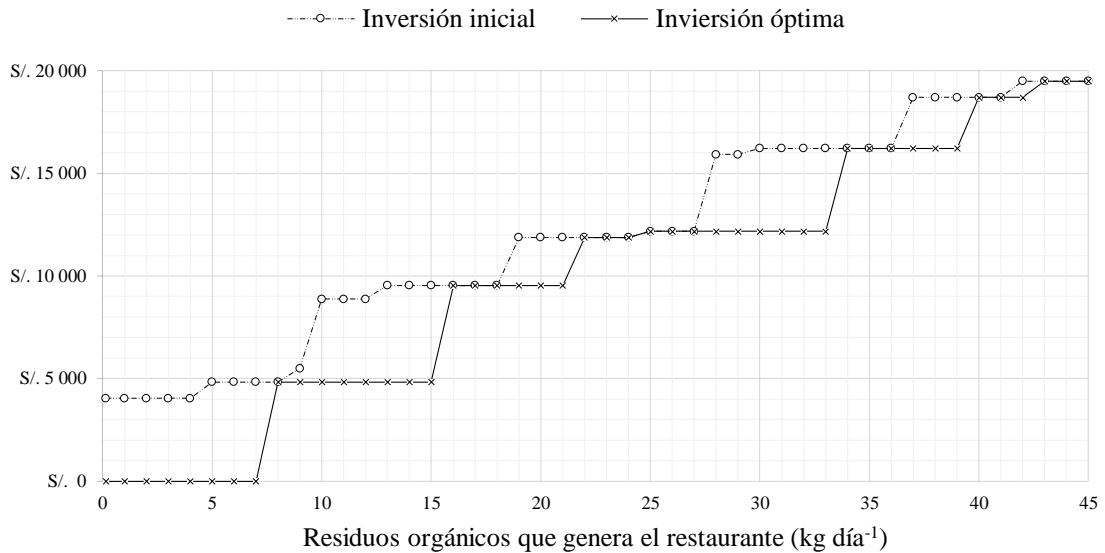
Desde la figura 4 a la 8 se aprovechan todos los residuos orgánicos que el restaurante genera. Después del análisis de sensibilidad, se recomienda invertir solo para aprovechar los residuos orgánicos necesarios en relación de los que genera el restaurante, como se indica en la figura 9.



**Figura 9.** Residuos orgánicos que debe aprovechar el sistema biodigestor en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante.

**Fuente:** Elaboración propia

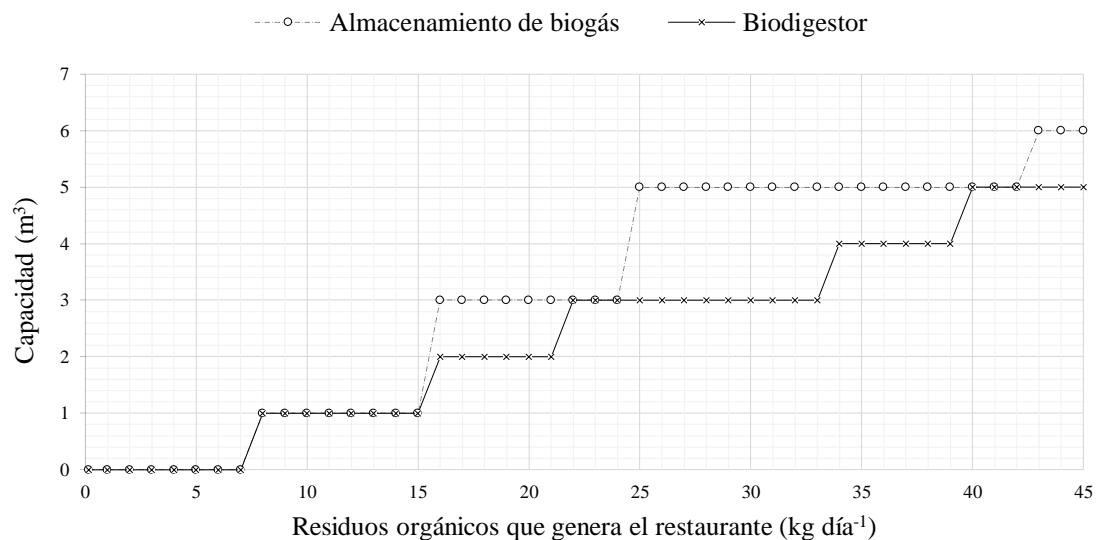
Teniendo en cuenta la recomendación de aprovechar menos residuos orgánicos en los casos que sea necesario, se obtiene una inversión inicial corregida para el restaurante, en función de los residuos orgánicos que genera. Esta nueva inversión se denomina inversión óptima, como se indica en la figura 10.



**Figura 10.** Inversión óptima en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante.

**Fuente:** Elaboración propia

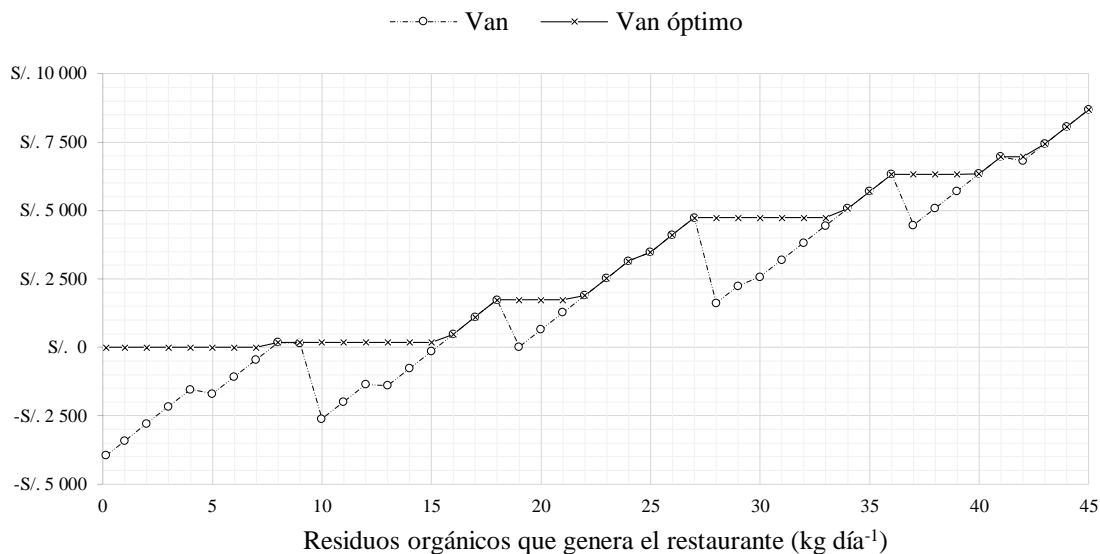
Esta inversión óptima se relaciona directamente con la capacidad del biodigestor y/o almacenamiento de biogás que se compra, como se indica en la figura 11.



**Figura 11.** Capacidad óptima del sistema de biodigestores y almacenamiento de biogás en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante

**Fuente:** Elaboración propia

Cuando se utiliza la inversión óptima, se obtiene un VAN igual o mayor, como indica la figura 12.

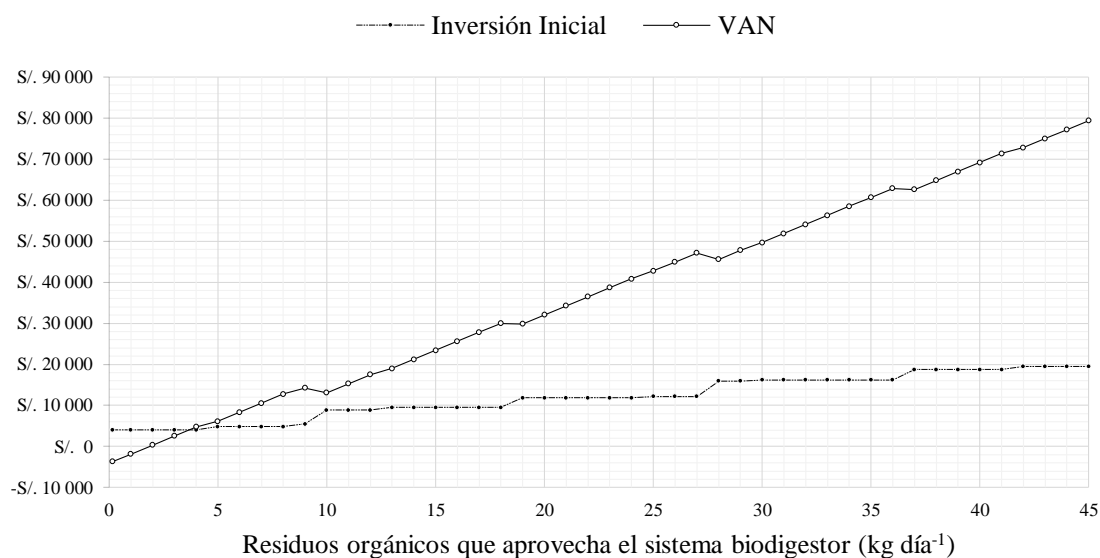


**Figura 12.** VAN óptimo en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante.

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.2. Segundo caso: Si se aprovecha el biofertilizante

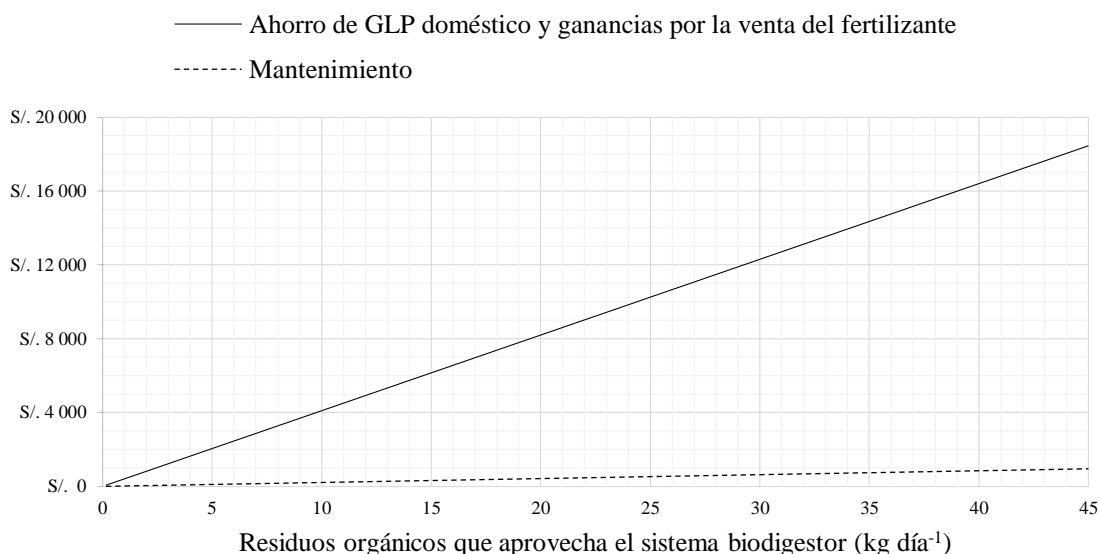
Teniendo como referencia el costo actual del biol, el cual es aproximadamente de 1,00 nuevo sol por litro. Luego de los gastos de envasado, etiquetado, publicidad e impuestos, se asume una ganancia de 0,2 nuevos soles por litro de biol. Como se indica en la figura 13, el VAN es claramente superior en este segundo caso. Y al igual que en el primer caso se comienza comparando los indicadores financieros cuando el sistema biodigestor seleccionado aprovecha la totalidad de los residuos orgánicos que genera el restaurante.



**Figura 13.** Inversión inicial y el VAN en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor

**Fuente:** Elaboración propia

La diferencia entre el ahorro de GLP doméstico sumado con la ganancia por la venta del biofertilizante, y el mantenimiento son mayores en comparación al primer caso, como indica la figura 14.



**Figura 14.** Ahorro anual de GLP doméstico sumado con la ganancia por la venta del biol, y mantenimiento en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor

**Fuente:** Elaboración propia

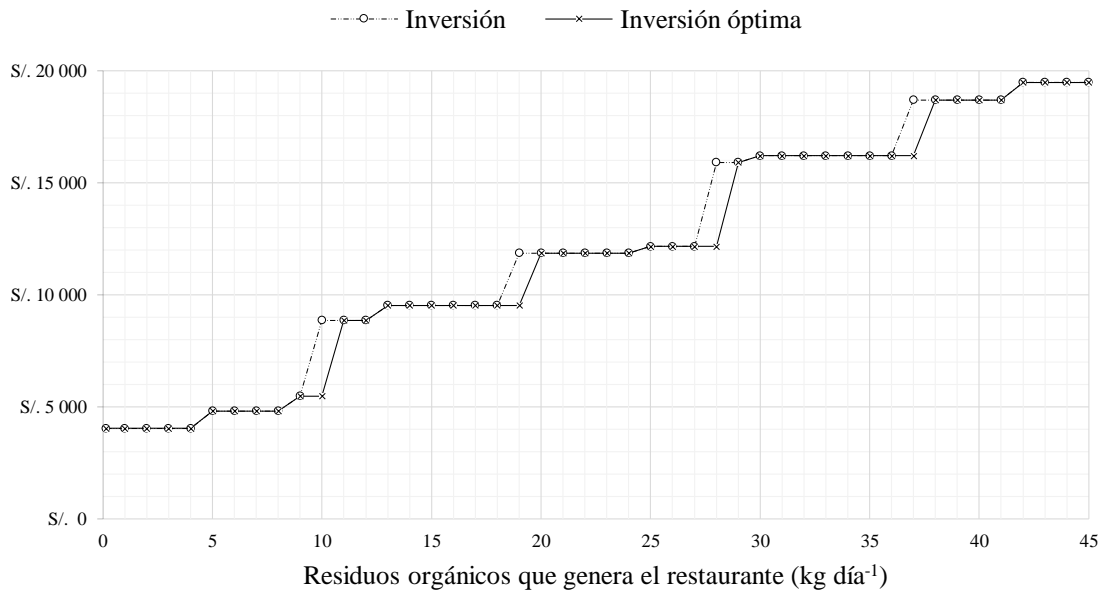
Se logra rentabilidad en los proyectos cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos mayores e iguales a 2 kg, excepto cuando se genera 10, 19, 28 y 37 kg, es preferible solo invertir para aprovechar 9, 18, 27 y 36 kg respectivamente. Después del análisis de sensibilidad, se recomienda aprovechar los residuos orgánicos necesarios en relación de los que genera el restaurante, como se indica en la figura 15.



**Figura 15.** Residuos orgánicos que debe aprovechar el sistema biodigestor en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante

**Fuente:** Elaboración propia

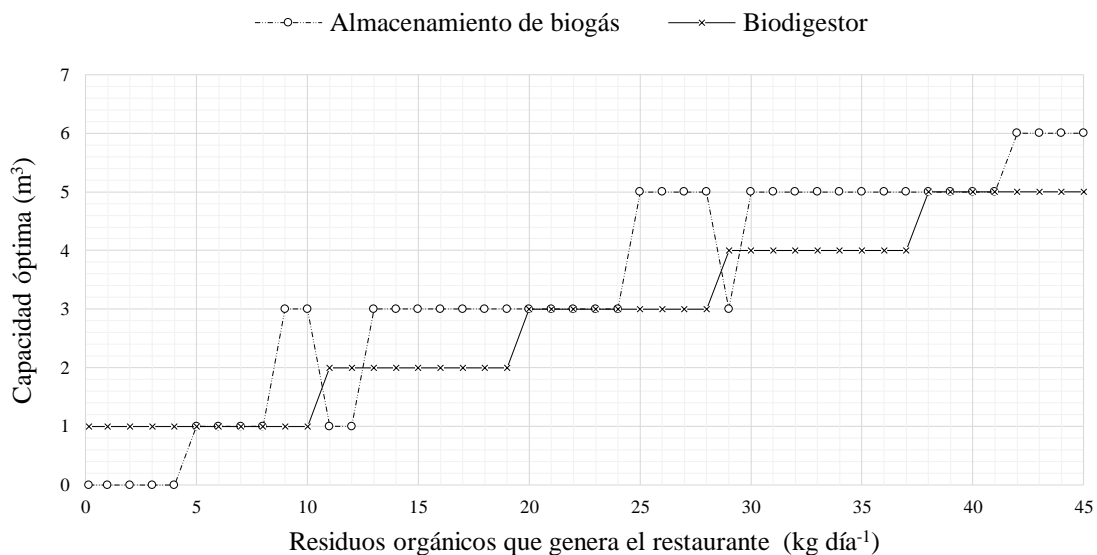
La inversión inicial se modifica siguiendo la recomendación de aprovechar residuos orgánicos que generen mayor o igual rentabilidad, originando una inversión óptima como se indica en la figura 16.



**Figura 16.** Inversión óptima en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante

**Fuente:** Elaboración propia

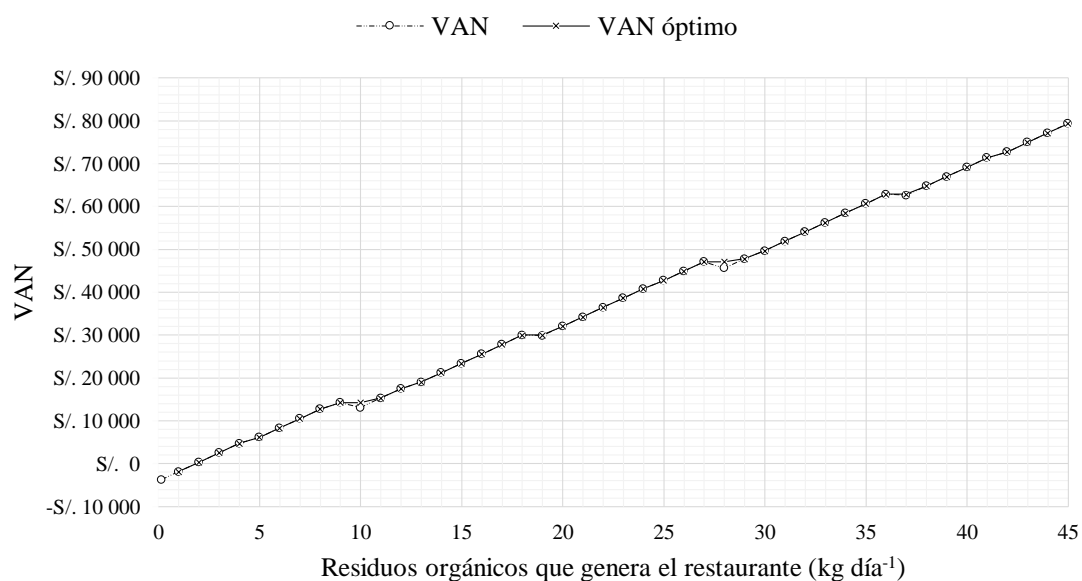
Esta inversión óptima significa la compra de una capacidad de biodigestor y/o almacenamiento de biogás necesaria para tener un sistema más rentable, como se indica en la figura 17.



**Figura 17.** Capacidad óptima del sistema de biodigestores y almacenamiento de biogás en correlación a los residuos orgánicos que genera el restaurante

**Fuente:** Elaboración propia

Modificar la inversión inicial, modifica los valores de VAN no deseados, la finalidad de optimizar la inversión es aprovechar los residuos orgánicos necesarios y así, se evita realizar proyectos menos rentables como se observa en la figura 18.



**Figura 18.** VAN óptimo en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante

**Fuente:** Elaboración propia

### 3.3. Independencia del consumo de GLP doméstico

Se determina el grado de independencia en relación a los residuos orgánicos que debe aprovechar el sistema biodigestor después del análisis de sensibilidad, para los restaurantes “A”, “B”, “C” y “D”, previamente muestreados. El restaurante “A” genera 36,8 kg de residuos orgánicos, la figura 14 recomienda invertir en aprovechar solo 36 kg, debido a que, si se invierte para aprovechar residuos orgánicos mayores a 36 kg y menores e iguales 37 kg, obtiene menor rentabilidad. Se estima que el porcentaje de independencia que se logra en el restaurante “A” al utilizar el sistema biodigestor es de 17,52% como indica la tabla 7.

**Tabla 7.** Porcentaje de GLP doméstico que cubre el sistema biodigestor para el caso “A”

Descripción	Valor
Área del restaurante <sup>a</sup>	210,00 m <sup>2</sup>
Cantidad de residuos orgánicos generados <sup>a</sup>	36,80 kg/día
Cantidad de residuos orgánicos que se debe aprovechar	36,00 kg/día
Consumo de balones de gas en 1 día <sup>a</sup>	1,50 Balones/día
Consumo de GLP doméstico en un día	15,00 kg/día
Volumen de biogás equivalente a 1 kg	2,16 m <sup>3</sup>
Volumen de biogás que genera a diario el restaurante	5,68 m <sup>3</sup> /día
Peso del GLP doméstico que se ahorra a diario	2,63 kg/día
<b>Porcentaje de GLP doméstico que cubre el sistema biodigestor</b>	<b>17,52 %</b>

<sup>a</sup> Parámetro hallado mediante mediciones del área del restaurante y entrevistas al dueño del mismo.

**Fuente:** Elaboración propia

Se determina los residuos que deben aprovechar los restaurantes “B”, “C” y “D” y se calcula el grado de independencia para cada caso como indica la tabla 8.

**Tabla 8.** Independencia del uso del GLP doméstico

Restaurante	Duración de 1 balón de gas de 10 kg (días)	Residuos orgánicos (kg/día)	Residuos orgánicos que aprovechan (kg/día)	Porcentaje de GLP doméstico que cubre el sistema instalado (%)
A	0,67	36,80	36,00	17,52
B	2,00	14,54	14,54	21,22
C	4,00	9,88	9,00	26,27
D	7,50	3,88	3,88	21,24

**Fuente:** Elaboración propia

Se estima que el sistema biodigestor logra cubrir 21,6% de la demanda del GLP doméstico. Para alcanzar la independencia total, se tiene que generar mayor biogás con la misma cantidad de residuos orgánicos, esto se logra con biodigestores más eficientes.

### 3.4. Beneficios ambientales

La implementación de un sistema biodigestor en los giros comerciales reduce la contaminación ambiental mediante el tratamiento de los residuos orgánicos que actualmente se desechan en las calles. Principalmente, se reducen las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) que provocan el calentamiento global. El total de emisiones generadas se estima en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2eq</sub>) de acuerdo con el potencial de calentamiento global de los GEI en un horizonte de 100 años; el CH<sub>4</sub> tiene un valor de 23, el N<sub>2</sub>O de 296 (IPPC, 2011).

Las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, son los principales gases que contaminan el medio ambiente. Perú en el 2016, por la quema de combustible a nivel comercial, residencial y público produce 3 159 Gg de CO<sub>2</sub>, 6 Gg CO<sub>2eq</sub> de CH<sub>4</sub> y 3 Gg CO<sub>2eq</sub> de N<sub>2</sub>O. Por otro lado, los desechos sólidos generan 6 005 Gg CO<sub>2eq</sub> de CH<sub>4</sub> (Ministerio del Ambiente, 2016). Mediante el uso del sistema de biodigestores en los restaurantes se puede reducir la quema de combustible (GLP doméstico), y aprovechar el gas metano que generan los residuos orgánicos desechados, de esta forma se puede reducir las emisiones de GEI.

El método que se usa para cuantificar las emisiones de GEI es el brindado por el grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático o por sus siglas en inglés IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). El método de estimación combina la información sobre el alcance al cual tiene lugar una actividad humana, denominado datos de actividad (DA), con los coeficientes que cuantifican las emisiones, se les denomina factores de emisión (FE) como indica la ecuación 1 (IPCC, 2006).

$$\text{Emisiones} = \text{DA} \times \text{FE} \quad (1)$$

Para cuantificar la reducción de emisiones que genera el uso del sistema biodigestor en un año, se estima mediante la ecuación 2:

$$\text{Reducción de emisiones de GEI} = \text{EGEI}_{\text{GLP}} + \text{EGEI}_{\text{residuos}} - \text{EGEI}_{\text{biogás}} \quad (2)$$

$E_{GEI;GLP}$  representa las emisiones de GEI de la combustión del GLP doméstico que es sustituido por el biogás generado en un año, esta variable se calcula mediante la ecuación 3.

$$E_{GEI;GLP} = E_{CO_{2eq};GLP} = E_{CO_2;GLP} + 23 \times E_{CH_4;GLP} + 296 \times E_{N_2O;GLP} \quad (3)$$

Las emisiones de  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$  por la combustión del GLP se calculan con las ecuaciones 4 – 6, en donde el combustible sustituido por el biogás por año (CS) se encuentra relacionado a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor en un año.

$$E_{CO_2;GLP} = CS \times FE_{CO_2;GLP} \quad (4)$$

$$E_{CH_4;GLP} = CS \times FE_{CH_4;GLP} \quad (5)$$

$$E_{N_2O;GLP} = CS \times FE_{N_2O;GLP} \quad (6)$$

Se considera los factores de  $CO_2$  ( $FE_{CO_2;GLP} = 3\,075 \text{ kg } CO_2 \text{ t}^{-1}_{GLP}$ ),  $CH_4$  ( $FE_{CH_4;GLP} = 0,137 \text{ kg } CH_4 \text{ t}^{-1}_{GLP}$ ) (Zhang, y otros, 2000) y  $N_2O$  ( $FE_{N_2O;GLP} = 1,88 \text{ kg } N_2O \text{ TJ}^{-1}_{GLP}$ ) (Bhattacharya & Salam, 2002), para determinar  $E_{GEI;GLP}$ .

Para poder multiplicar el  $FE_{N_2O;GLP}$  en la ecuación 6 es necesario que sus unidades se encuentre en  $\text{kg } N_2O \text{ t}^{-1}_{GLP}$ , se logra utilizando el poder calorífico del GLP ( $45,95 \text{ MJ/kg}$ )

$E_{GEI;residuos}$  son las emisiones de GEI que generan los residuos de comida, se calcula mediante la ecuación 7.

$$E_{GEI;residuos} = E_{CO_{2eq};residuos} = 23 \times E_{CH_4;residuos} \quad (7)$$

$E_{CH_4;residuos}$  representa las emisiones  $CH_4$  para los residuos orgánicos que se encuentra en los vertederos, se puede determinar mediante dos métodos: utilizando la ecuación 1, con un factor de emisión promedio entre 20 y 40  $\text{kg } CH_4 \text{ t}^{-1}_{residuo}$  (Pietro Galgani, 2014) o utilizando la ecuación 8 (IPCC, 2006):

$$E_{CH_4;residuos} = [(RSU_T \times RSU_F \times L_0) - R] \times (1 - OX) \quad (8)$$

Donde,  $RSU_T$  ( $\text{Gg año}^{-1}$ ) es la cantidad total de residuos generados,  $RSU_F$  es la fracción de residuos eliminados en los vertederos,  $L_0$  es el potencial de generación de metano [ $FCM \times COD \times COD_F \times F \times 16/12 \times (\text{Gg de } CH_4/\text{Gg de residuos})$ ],  $R$  ( $\text{Gg año}^{-1}$ ) es el  $CH_4$  recuperado,  $OX$  es el factor de oxidación,  $FCM$  es el factor de corrección para el metano,  $COD$  ( $\text{Gg C/Gg de RSU}$ ) es el carbono orgánicos degradable [ $(0.4 \times A) + (0.17 \times B) + (0.15 \times C) + (0.3 \times D)$ ]; donde  $A$  es la fracción de RSU compuesta de papel y textiles,  $B$  es la fracción de RSU formada por desechos de jardín, desechos de parques u otros elementos orgánicos putrescibles, excluidos los alimentos,  $C$  es la fracción de RSU compuesta de restos de alimentos,  $D$  es la fracción de RSU compuesta de madera o paja],  $COD_F$  es la fracción de COD no asimilada, y  $F$  es la fracción por volumen de  $CH_4$  en el gas de vertedero.

Mediante la ecuación 8 y los parámetros de la tabla 9 se determina un nuevo factor de emisión para los residuos orgánicos del restaurante, asumiendo que se genera 1 t de residuos  $\text{año}^{-1}$  ( $1 \times 10^{-3} \text{ Gg año}^{-1}$ ) y todos los residuos se depositan en el vertedero.

**Tabla 9.** Parámetros evaluados para calcular el nuevo factor de emisión

Parámetro	Valor
RSU <sub>T</sub>	1 x 10 <sup>-3</sup> Gg año <sup>-1</sup>
RSU	100,00 %
R <sup>a</sup>	0,00 Gg año <sup>-1</sup>
OX <sup>b</sup>	0,00 uds.
FCM <sup>c</sup>	0,60 uds.
COD <sup>d</sup>	0,15 Gg C/Gg de RSU
COD <sub>F</sub> <sup>e</sup>	0,50 uds.
F <sup>f</sup>	50,00 %

Fuente: elaboración propia. Referencia: (IPCC, 2006)

<sup>a</sup> No se recupera CH<sub>4</sub> en los vertederos

<sup>b</sup> Valor por defecto

<sup>c</sup> Para vertedero no incluidos en ninguna categoría

<sup>d</sup> Composición de los residuos es 100% restos de alimentos

<sup>e</sup> Valor promedio recomendado

<sup>f</sup> Valor por defecto

Se determina que 1 t de residuos año<sup>-1</sup> genera 30 kg CH<sub>4</sub> año<sup>-1</sup>, entonces el factor de emisión de los residuos es 30 kg CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup><sub>residuo</sub>. Este nuevo FE y la cantidad de residuos que aprovecha el sistema biodigestor (RG) permite estimar E<sub>CH<sub>4</sub>;residuos</sub>, mediante la ecuación 9.

$$E_{CH_4;residuos} = RG \times FE_{CH_4;residuos} \quad (9)$$

E<sub>GEI;biogás</sub> representa las emisiones de GEI de la combustión del biogás generado, esta variable se calcula mediante la ecuación 10.

$$E_{GEI;GLP} = E_{CO_{2eq};GLP} = E_{CO_2;GLP} + 23 \times E_{CH_4;GLP} \quad (10)$$

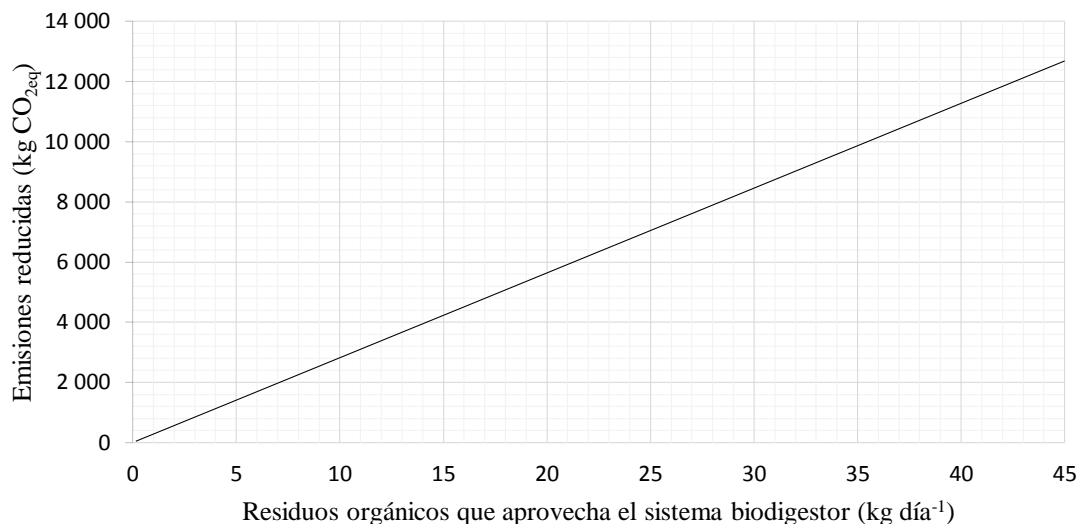
Las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> por la combustión del biogás se calculan mediante las ecuaciones 11 y 12.

$$E_{CO_2;biogás} = BG \times FE_{CO_2;biogás} \quad (11)$$

$$E_{CH_4;biogás} = BG \times FE_{CH_4;biogás} \quad (12)$$

Donde el biogás generado (BG) con densidad de 1,22 kg m<sup>-3</sup> (Marianna Garfí L. F.-M., 2012) se correlaciona con la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor (m<sup>3</sup> day<sup>-1</sup>). Se considera los factores de emisión de CO<sub>2</sub> (FE<sub>CO<sub>2</sub>;biogás</sub> = 748 kg CO<sub>2</sub> t<sup>-1</sup><sub>GLP</sub>), CH<sub>4</sub> (FE<sub>CH<sub>4</sub>;GLP</sub> = 0,023 kg CH<sub>4</sub> t<sup>-1</sup><sub>GLP</sub>) (Liu Yu, 2008), para determinar E<sub>GEI;biogás</sub>.

Cada variable de la ecuación 2, se encuentra relacionada a la generación de residuos orgánicos. La figura 19 indica la reducción de emisiones de GEI en correlación a cantidad de residuos orgánicos generados, asumiendo que se aprovechan todos.



**Figura 19.** Reducción de emisiones que genera la implementación del sistema de biodigestores en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor

**Fuente:** Elaboración propia

En la figura 20 se indica la reducción real de GEI que el sistema biodigestor genera cuando se aprovecha los residuos orgánicos necesarios, los cuales se recomiendan después del análisis de sensibilidad.



**Figura 20.** Reducción de emisiones que genera la implementación del sistema de biodigestores en correlación a la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante

**Fuente:** Elaboración propia

Se observa que cuando se genera 10 kg, solo se logra reducir emisiones iguales a cuando se genera 9 kg, esto sucede porque cuando se genera 10 kg de residuos orgánicos se debe aprovechar 9 kg para no tener menor rentabilidad, sucede lo mismo cuando se genera 19, 28 y 37 kg.



## Capítulo 4

### Artículo científico

# ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA USUARIOS COMERCIALES EN LA REGIÓN PIURA

Daniel Marcelo Aldana - [daniel.marcelo@udep.pe](mailto:daniel.marcelo@udep.pe)

Antonio Peralta Talledo - [antonio.peralta.ime@gmail.com](mailto:antonio.peralta.ime@gmail.com)

Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Laboratorio de Energía

**Resumen.** Esta investigación denominada “Estudio de factibilidad de un sistema biodigestor para usuarios comerciales en la región Piura” tiene como objetivo evaluar la factibilidad para la implementación de un sistema de biodigestores a nivel comercial en la región de Piura, que tenga impacto positivo desde el punto de vista tecnológico, económico, social y ambiental. Se demuestra que se puede obtener múltiples beneficios a corto y largo plazo: aprovechar los residuos orgánicos, lograr la independencia del tanque de gas para la cocción de alimentos, producir biofertilizante para las plantas o huertos y generar un ingreso económico por la venta del mismo. De esta forma se consigue un ahorro en el presupuesto mensual del giro del negocio, disminuye la contaminación del ambiente (reduce los gases del efecto invernadero) y se concientiza a la población en el uso de energías renovables mostrándoles que un residuo se puede convertir en un recurso.

**Palabras clave:** Biodigestor, Biogás, Piura, Residuos orgánicos, Usuarios comerciales.

## 1. INTRODUCCIÓN

La región Piura está ubicada en la costa y sierra noroeste del Perú, tiene una superficie territorial de 35 657 km<sup>2</sup>, se encuentra constituida por 8 provincias y 65 distritos. Su población total estimada al 2017 es de aproximadamente 1 873 024 habitantes como indica el censo realizado por el (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015).

En la actualidad en la región, se genera aproximadamente 1 061 496 kg de residuos sólidos al día (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2017). Al no disponer de suficientes recolectores de basura y no tener un relleno sanitario apropiado, agrava la situación, afectando al presupuesto de la región, medio ambiente, la imagen urbana, a la salud de las personas e incluso a la estabilidad social de la población. La tecnología de biodigestión es una alternativa energética para solucionar este problema, se basa en el aprovechamiento de los residuos orgánicos, para producir biogás, el cual puede sustituir al gas licuado de petróleo (GLP). También brinda como subproducto un biofertilizante, el cual puede ser usado directamente en los cultivos, convirtiéndose en un ciclo energético sostenible en el tiempo, brindando una forma económica y eficiente de energía alternativa y tratamiento de residuos orgánicos.

## 2. POTENCIAL DE RESIDUOS ORGÁNICOS A NIVEL COMERCIAL EN LA REGIÓN PIURA

En Perú, el (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014) clasifican a los residuos por su origen de generación: residuos domiciliarios, residuos comerciales, residuos de limpieza de espacios públicos, residuos de los establecimientos de atención de salud y centros médicos de apoyo, residuos industriales, residuos de la actividad de construcción, residuos agropecuarios y residuos de instalación o actividades especiales. El presente estudio se enfoca en los residuos comerciales, aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, como centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, oficinas de trabajo, hoteles, entre otras actividades análogas. El

potencial energético que posee la región Piura, se obtiene de analizar la cantidad de residuos sólidos orgánicos generados. Los giros de negocio se califican de la siguiente manera: comercios comunes, hoteles, mercados y restaurantes. Para determinar la cantidad de residuos sólidos que genera cada giro de negocio, así como su composición porcentual de residuos orgánicos, se tiene como referencia el estudio realizado por (ECO Consultorías e Ingeniería SAC, 2013). El número de establecimiento se estimó, extrapolando los datos de los censos realizados por (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1994) y (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2008).

El primer giro de negocio, son los denominados giros comerciales comunes, conformado por bodegas, panaderías, bazares, librerías, ferreterías, peluquerías y similares. Estos comercios generan 1,2 kg diarios de residuos sólido compuesto por 9,3% de residuos orgánicos. Este valor es muy reducido por lo que se descarta instalar un sistema biodigestor en el establecimiento comercial de giro común. Se estimó 72 649 comercios al año 2016, generando así un total de 87 469 kg de residuos sólidos, de los cuales 8 160 kg son residuos orgánicos. El segundo giro de negocio son hoteles y hospedajes, se estima que generan 1,92 kg diarios de residuos sólidos, con 45,71% de residuos orgánicos. Se estima 747 establecimientos al año 2016, generando así un total de 1 434 kg de residuos sólidos, de los cuales 655,4 kg son residuos orgánicos. Estos residuos son aprovechable para el sistema biodigestor, sin embargo no es muy rentable financieramente porque la cantidad de hoteles es muy reducida lo cual no es atractivo para su escalamiento. El tercer giro de negocio los mercados, cada puesto que se encuentra dentro de los mercados genera 10,386 kg diarios de residuos sólidos con 78,25% de residuos orgánicos. Al año 2016, la región Piura tiene 37 mercados, los cuales tienen un total de 15 696 puestos fijos, generando en total 163 019 kg/día, de los cuales 127 608 kg de residuos orgánicos. Aprovechar estos residuos es rentable; sin embargo, implementar un sistema biodigestor modular no es recomendable, es más eficiente y rentable construir un biodigestor industrial para procesar todo estos residuos orgánicos. El cuarto giro de negocio por analizar son los restaurantes de la región Piura, estos establecimientos se han dividido en 4 categorías según el área del mismo como indica la Tab. 1.

Tabla 1. Generación de residuos sólidos de restaurantes en la región Piura

Giro de establecimientos	Rango de áreas (m <sup>2</sup> )	Cantidad de establecimientos (%)	Generación promedio (kg/establecimiento/día)
Restaurantes	menos de 30	7,2	0,65
	30 a 50	12,8	2,34
	50 a 100	30,0	6,76
	100 a 500	50,0	5,37

Se estima 5,72 kg diarios de residuos sólidos. Se estima 7 147 establecimientos al año 2016, generando un total de 40 880 kg de residuos sólidos. Se analiza la composición de estos residuos sólidos y se estima 73,83% de residuos orgánicos, equivalente a 4,22 kg/restaurante/día. Este valor es superior en comparación a comercios de giros comunes, hospedajes. Los restaurantes utilizan el balón de gas (GLP doméstico) para la cocción de los alimentos, este tiene un costo de 42 nuevos soles cada balón de GLP de 10 kg, se puede emplear un sistema biodigestores para reemplazar el uso de balones de gas, logrando un ahorro considerable. Se concluye que los restaurantes son el giro comercial más adecuado para implementar el sistema de biodigestores. En un restaurante para mantener las plantas ornamentales en buenas condiciones se acostumbra a suministrarles fertilizantes. Se aprovechará el biol que genera cada biodigestor instalado. También este subproducto se puede vender y así, obtener mayores ganancias. La cantidad estimada de restaurantes es de 7 147 establecimiento en la región Piura al año 2016, con esta información se obtiene la generación de residuos orgánicos en la región como indica la Tab. 2.

Tabla 2. Generación de residuos orgánicos de los restaurantes en la región Piura

Provincia	Cantidad de restaurantes al año 2016	Generación promedio de residuos sólidos (kg/día)	Generación promedio de residuos orgánicos (kg/día)
Piura	3074	17583	12972
Ayabaca	380	2172	1602
Huancabamba	279	1593	1175
Morropón	509	2914	2150
Paíta	244	1393	1028
Sechura	415	2374	1751
Sullana	1349	7715	5692
Talara	899	5140	3792
Total	7147	40883	30162

Fuente: Elaboración propia

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Selección del biodigestor

Para seleccionar el biodigestor adecuado para usuarios comerciales es necesario tener en cuenta los siguientes parámetros: el coste de instalación, ingreso mensual del giro del negocio, la dificultad técnica en la construcción y mantenimiento del biodigestor.

El sistema de biodigestor a implementar en los giros comerciales es del tipo Taiwán, por su bajo coste y porque su instalación puede ser realizada directamente por el usuario. También aprovecha de manera óptima la producción diaria de residuos orgánicos, al ser un biodigestor que trabaja dentro del régimen semicontinuo o continuo para diferentes bibliografías. La vida útil es la desventaja más importante que posee este tipo de biodigestores, coincide con la duración de la cámara de biodigestión, usualmente construida con neopreno o PVC como indica (Poggio, 2007). En promedio los biodigestores tipo Taiwán poseen una vida útil de 10 años según (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014).

Se seleccionó y cotizó los biodigestores de la marca HomeBiogas y Traasure, por su presencia a nivel mundial y en especial en Latinoamérica. Las bolsas de almacenamiento se cotizaron en la empresa Traasure. Los biodigestores traen consigo una guía de instalación detallada para su instalación, mantenimiento y cuidados a tener en cuenta; por lo tanto, no existe riesgo alguno en su instalación. Las precauciones a tomar en cuenta son cuando se opera del sistema, en la producción de biogás, ya que este es inflamable; sin embargo, estos biodigestores modulares poseen las garantías para considerarlo como un equipo seguro. Por otro lado, es importante brindarle mantenimiento en los plazos recomendados por la empresa.

El sistema de biodigestores se ubicará en el interior de los giros comerciales, es por ello que la generación, separación y reutilización de los residuos, lo realiza el usuario. Para separar la fracción orgánica se debe tener un adecuado conocimiento de los materiales que la puede constituir, también se tiene que disponer de espacio y materiales adecuados para almacenar estos residuos. Por otro lado, es importante que los usuarios conozcan porque es necesario y como efectuar dicha separación, así como su reutilización gracias al sistema biodigestor.

En el almacenamiento se debe de considerar el volumen apropiado dependiendo de los residuos generados diariamente, teniendo en cuenta el tipo de giro del negocio, la generación de residuos orgánicos diaria y el tiempo de almacenamiento de los desechos. Para un giro de negocio (restaurante, hoteles, comercio de giros comunes, puestos fijos en mercados), se puede utilizar un contenedor de 50 a 1000 L para almacenar los residuos sólidos, y bolsas de diferentes colores para poder identificar de manea visual los residuos orgánicos y los inorgánicos.

#### 3.2 Caracterización físico-química de los residuos sólidos

Se realiza un estudio de cuatro restaurantes de la región Piura, con un rango de áreas entre 30 y 210 m<sup>2</sup> como indica la Tab 3.

Tabla 3. Generación de residuos sólidos en los casos de estudio

Restaurante	Área del restaurante (m <sup>2</sup> )	Duración de 1 balón de gas de 10 kg (días)	Residuos orgánicos generados (kg/día)	Residuos inorgánicos generados (kg/día)
A	210	0,67	36,80	5,40
B	110	2,00	14,54	3,76
C	70	4,00	9,88	1,02
D	30	7,50	3,88	0,82

Fuente: Elaboración Propia

Los residuos se recolectaron a las 8 am y 6 pm, éstos fueron entregados en bolsas plastificadas (1,15 m x 0,85 m), luego fueron separados en residuos orgánicos e inorgánicos y se pesaron. Se observó que los restos de comida eran variados, pero principalmente se podía encontrar: cascara de plátano, papa, zanahoria, zapallo, choclo, cebolla, tomate, pimienta, huevo, algunas cascara de limón, naranja, maracuyá, trozos de pollo crudo con piel, huesos, arroz, fideo, ají amarillo, también se encontró restos de vegetales y menestras cocidas.

Se realiza el método de cuarto para la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio. Se vacía el contenido de las bolsas de basura en plásticos de 2,5 m x 2,5 m, el cual está sobre un piso de cemento. Este método consiste en homogenizar los residuos orgánicos, con ayuda de una pala. Luego se divide en 4 partes iguales: a, b, c, d; se eliminan las partes opuestas a y b, o c y d; y se repite esta operación hasta dejar un mínimo de 1 kg de residuos orgánicos.

En el siguiente paso, se trituran para obtener un producto homogéneo y de dicho producto se toma la cantidad necesaria para realizar la determinación de humedad.

El resto de residuos triturados se deposita en frascos de vidrio, los cuales se almacenan a 4°C, para realizar las demás determinaciones físicas y químicas en las siguientes ocho horas. Se realizó los análisis en el laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura, los cuales fueron: Humedad, cenizas y pH, utilizando como referencia la Norma Técnica de SEDUE: NTRS. Con estos datos se obtiene los sólidos totales, los sólidos volátiles en base seca y el carbono orgánico total presente en los residuos como indica la Tab. 4.

Tabla 4. Caracterización de los residuos orgánicos muestreados

Muestra	Humedad (%)	pH	Sólidos totales (%)	Cenizas (%)	Sólidos volátiles (%)	Carbono orgánico (%)
01	70,9	5,49	29,1	15,5	84,5	49,1
02	64,1	5,5	35,9	7,4	92,6	53,8
03	73,8	5,96	26,2	9,8	90,2	52,4
04	80,1	5,44	19,9	11,9	88,1	51,2
Promedio	72,2	5,6	27,8	11,15	88,85	51,6
Rango de variación	64 – 80	5,4 – 6	20 – 36	7,4 – 15,5	84,5 – 93	49 – 54

Fuente: Elaboración Propia

### 33 Generación de metano

Los estudios de (Wellinger y Murphy, 2013) indica que la generación de metano está condicionada por la velocidad de carga orgánica (VCO) o por su siglas en inglés OLR (Organic Loading Rate), cuyo parámetro también determina el Tiempo de retención hidráulica (TRH) o por su siglas en inglés HRT (Hydraulic Retention Time).

En los ensayos de (Cunsheng Zhang, 2013), para residuos sólidos de comida que contienen complejo material orgánico como, arroz, vegetales, carne, etc.; y se encuentran en condiciones de digestión anaeróbica semicontinuo, es decir, el digestor es alimentado una vez al día con un sustrato, el cual tiene 23,4% SV b.h.; este proceso digestivo tiene un VCO óptimo de 9 g-SV/L/d, un TRH de 20 días; generando 540 ml CH<sub>4</sub>/g-SV, cuyo valor varía al aumentar o disminuir del VCO como indica la Fig. 1

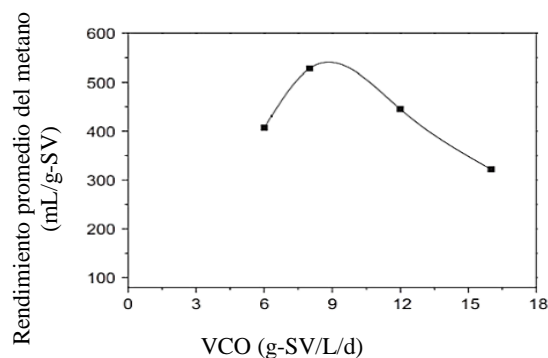


Figura 1. Rendimiento promedio del metano en función de la variación del VCO

Los residuos orgánicos de restaurantes en la región Piura, tienen inicialmente 27,8% ST, para que se desarrolle una correcta digestión anaeróbica como se menciona en los ensayos de (Bouallagui et al. 2004) debe presentar 8% ST, para ellos se añade agua en una relación agua-residuos 2,5:1, generando un sustrato inicial.

Para un 1 kg de residuos orgánicos se obtiene un sustrato inicial de 3,5 kg con 8% ST. La densidad de los residuos orgánicos se calcula a partir de su peso y del volumen que ocupaban en un balde 30 L, resultando 0,593 kg/L. En consecuencia, se obtiene sustrato inicial con 4,16 L.

Los ensayos de (Cunsheng Zhang, 2013) también indican, cuando se tiene sustratos de distinto % SV b.h., para un VCO constante le corresponde otro TRH y viceversa. Teniendo como referencia los VCO y sus respectivos TRH, para residuos sólidos de comida con 23,4% SV b.h. y 21% SV. b.h como indica la Tab. 5.

Tabla 5. VCO y TRH de sustratos con diferente % SV b.h.

Sustrato	SV b.h. (%)	VCO	TRH
1	23.4	6	31,2
1	23.4	8	23,4
1	23.4	12	15,6
1	23.4	16	11,7
2	21.0	6	28,0
2	21.0	8	21,0
2	21.0	12	14,0
2	21.0	16	10,5

Se determina que para valores de iguales VCO, la relación entre los respectivos TRH tienen la misma relación de proporción de %SV b.h. de los respectivos sustratos. Por ende, para un sustrato inicial de 7.5% SV, y un TRH de 20 días se calcula un valor aproximado de VCO de 3 g-SV/L/d. Con este valor se puede estimar la generación de metano, la cual es de 350 ml CH<sub>4</sub>/g-SV del sustrato inicial como indica la Fig. 1.

El porcentaje de CH<sub>4</sub> se encuentra condicionado por el valor de pH y la temperatura que se encuentra el digestor. El valor de pH del sustrato inicial, aumenta al mezclarse con el agua, llegando a tener un valor promedio de 7 uds. el cual se mantiene constante durante el proceso digestivo (Bouallagui et al. 2003). La velocidad de los procesos biológicos depende mucho de la tasa de crecimiento de los microorganismos involucrados, la cual depende de la temperatura que se encuentra. A mayor temperatura esta tasa de crecimiento aumenta, lo que provoca mayor velocidad en los procesos de digestión anaeróbica, generando mayor biogás.

La digestión anaeróbica puede ocurrir en un amplio rango de temperaturas (4°C a 80°C), condicionando el tiempo de fermentación. Existen tres rangos de temperatura, dentro de los cuales proliferan distintos tipos de microorganismos anaeróbicos como indica la Tab. 6.

Tabla 6. Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psicrofílica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Más de 100 días
Mesofílica	15-20 °C	25-35 °C	35-45 °C	30-60 días
Termofílica	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 días

Fuente: (Gobierno de Chile et al., 2011)

En los ensayo de (Daniela Almeida, 2010) indica que el régimen termofílico es aquel que genera mayor biogás, debido a su alta tasa de crecimiento de microorganismos a elevadas temperaturas; sin embargo, el régimen mesofílico es más usado, por razones de requerimientos energéticos. Como dato adicional se tiene debe tener en cuenta que la tasa de generación del metano se duplica por cada 10 °C de incremento de temperatura. La temperatura ambiente en la región Piura varía entre 20 °C y 30 °C a lo largo del año, según la data de la estación meteorología de la Universidad de Piura. En los ensayos de (Marianna Garfí J. M.-H., 2016), la temperatura en el interior del biodigestor Taiwán en promedio es constante y tiende a tomar un valor mayor a la temperatura del ambiente, aproximadamente 10° más, tomando valores de 30° a 40°. Instalar un sistema biodigestor en la región Piura, se ubica en el rango de temperaturas donde proliferan los microorganismos mesofílicos. En los ensayos de (Bouallagui y Haouari 2004) se determina que a temperatura constante en un biodigestor tubular alimentado de residuos orgánicos, la concentración de metano presente en el biogás generado, incrementa cuando disminuyen el porcentaje de ST del sustrato digerido. Caso contrario ocurre cuando el porcentaje de ST es constante y varía la temperatura de digestión, cuando esta última aumenta, la concentración de metano presente en el biogás también incrementa, teniendo un TRH igual en ambos casos. Entonces para un TRH de 20 días, 8 % ST y un régimen de temperatura de 35°; genera un total de 638,84 L de biogás por 1 kg SV, de los cuales 57% es metano, equivalente a 364 L. En otros ensayos de (Hamed El-Mashad, 2010) cuyos residuos orgánicos poseen la misma característica físicas que las muestra analizadas en el presente trabajo, generan 373 L CH<sub>4</sub>/kg SV. Se analiza las referencias antes mencionadas con respecto a la generación de metano, y se estima que 1 kg de SV genera en promedio 364 L de metano; por ello, 1 kg de residuos orgánicos muestreados generan 90 L de CH<sub>4</sub>, y brinda un total de 158 L de biogás. El poder calorífico del biogás con un 57% de metano es de 5081 kCal/m<sup>3</sup>, debido a que el metano tiene un contenido energético de 37,3 MJ/m<sup>3</sup> como indican los estudios de (Ruihong Zhang, 2007).

Otro parámetro importante a tener en cuenta es la composición porcentual del carbono y del nitrógeno, este último tiene un valor de 2,95% como indican los estudios de (Cunsheng Zhang, 2013). La relación C/N, influye en la digestión anaeróbica de los residuos de comida, en términos generales se puede afirmar que el rango apropiado de C/N es de 20 a 30 como recomienda (Lei Zhang, 2011), sin embargo otros estudios consideran que el óptimo rango de C/N es de 15 a 20 como indica los ensayos de (Mathava Kumar, 2010). Para

el presente trabajo, los residuos orgánicos presentan un valor C/N de 17,8 el cual es un valor óptimo para la digestión anaeróbica.

#### 4. RESULTADOS

##### 4.1 Análisis Financiero

Para decidir si un sistema es implementado, es fundamental que exista una viabilidad financiera, reflejada en el retorno de la inversión en un tiempo adecuado. Para el análisis financiero no se ha considerado un financiamiento del proyecto por parte de una entidad bancaria, se utilizará un capital propio para solventar el costo del sistema de biodigestores y su mantenimiento. Este capital invertido se analiza a lo largo de los 10 años de vida útil que posee el sistema. Se evaluará la rentabilidad en dos casos: el primero es cuando no se aprovecha el biofertilizante que genera el biodigestor y el segundo caso es cuando se obtiene ganancias por la venta del biofertilizante. Para calcular los indicadores financieros se utiliza una tasa de retorno mínima atractiva (TREMA) o también llamada tasa de descuento, la cual es comparable con una tasa de interés que brinda una entidad bancaria al invertir en ella el capital sin tener riesgo alguno.

La (Superintendencia de Banca, Seguros y AFP, 2017) indica que la mayor tasa de interés en soles que se encuentra en el mercado financiero es de 7,01%. En el presente trabajo se utiliza una tasa de descuento diferente para cada caso, para el primero en donde no se usa el biofertilizante, es de 7,01%; y para el segundo se emplea una tasa de descuento mayor porque se incluye la venta del biofertilizante y esto conlleva un mayor riesgo. A la tasa de 7,01% se le aumenta una prima de riesgo, resultando una tasa de descuento de 12%.

Con estos parámetros ya definidos se obtienen los indicadores como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa de Valor de Retorno (TIR), la Relación Beneficio/Costo (R-B/C) como indica en su trabajo (Posas, 2005). Para obtener estos indicadores es necesario definir ciertos parámetros que ayudan a realizar una simulación más exacta en relación a los residuos orgánicos que genera el restaurante, para demostrar un caso puntual se ha simulado con 36 kg de residuos orgánicos, siguiendo la metodología que se indica desde la Tab. 7 a la Tab. 14.

Se calcula el poder calorífico del GLP doméstico ( $\text{kCal/m}^3$ ) como se indica en la Tab. 7, en donde los poderes caloríficos se tomaron de referencia de (Yunes Cengel, 2012) y las composiciones porcentuales de (Osingermin, Diferencias Físico - Químicas del Gas Natural el GLP, 2017)

Tabla 7. Poder calorífico neto del GLP Doméstico

Descripción	Valor
Poder calorífico del butano	45370,00 kJ/kg $\text{C}_4\text{H}_{10}$
Poder calorífico del propano	46340,00 kJ/kg $\text{C}_3\text{H}_8$
Composición porcentual del butano en el GLP doméstico	40,00 %
Composición porcentual del propano en el GLP doméstico	60,00 %
Poder calorífico del GLP doméstico	10982,79 Kcal/kg GLP

Fuente: Elaboración propia

Determinado el poder calorífico del GLP doméstico se estima el poder calorífico que posee un balón de gas de 10 kg el cual es de 109827,92 Kcal.

El parámetro que determina la capacidad del biodigestor es el volumen del sustrato. Para ello se calcula el volumen total de los residuos orgánicos, y teniendo como referencia un valor de humedad óptimo del sustrato como indica los ensayos de (Bouallagui & O. Haouari, Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste, 2004) se logra añadiendo agua a los residuos orgánicos, obteniendo la relación agua-residuos orgánicos. De esta forma se obtiene un volumen de sustrato (residuos orgánicos más agua) que se suministra a diario durante un TRH como indica la Tab. 8.

Tabla 8. Volumen del sustrato suministrado a diario

Descripción	Valor
Peso de los residuos orgánicos generados a diario	36,00 kg residuos/día
Densidad de residuos orgánicos	0,59 kg residuos/L residuos
Volumen de los residuos orgánicos	60,74 L residuos
Composición porcentual de humedad en los residuos orgánicos muestreados	72,20 %
Composición porcentual óptima de humedad del sustrato	92,00 %
Relación agua-residuos orgánicos	2,48 L agua/kg residuos
Volumen de agua necesaria para aumentar el porcentaje de humedad	89,10 L agua
Volumen total del sustrato suministrado a diario	149,84 L sustrato

Además de la capacidad del biodigestor, es necesario estimar la capacidad de las bolsas de almacenamiento de biogás, para ello es necesario determinar el volumen de biogás generado como indica la Tab. 9.

Tabla 9. Biogás generado por los residuos orgánicos del restaurante

Descripción	Valor
Peso de los residuos orgánicos generados a diario	36,00 kg residuos/día
Composición porcentual de sólidos totales (ST) en los residuos orgánicos	27,80 %
Composición porcentual de sólidos volátiles (SV) en los residuos orgánicos en base seca	88,85 %
Peso de ST presentes en los residuos orgánicos a diario	10,01 kg ST/día
Peso de SV presentes en los residuos orgánicos a diario	8,89 kg SV/día
Volumen de metano (CH <sub>4</sub> ) que genera 1 kg de SV de residuos orgánicos	0,36 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /Kg SV
Volumen de metano (CH <sub>4</sub> ) que genera a diario el restaurante	3,24 m <sup>3</sup> CH <sub>4</sub> /día
Composición porcentual del metano (CH <sub>4</sub> ) en el biogás	57,00 %
Volumen de biogás que genera a diario el restaurante	5,68 m <sup>3</sup> biogás/día

Fuente: Elaboración propia

Se cotizan biodigestores y bolsas de almacenamiento de biogás de la marca HomeBiogas y Træsure como indica la Tab. 10.

Tabla 10. Cotización de los biodigestores

Descripción	Valor
Costo del biodigestor de 1 m <sup>3</sup>	4045,00 nuevos soles
Costo del biodigestor de 3 m <sup>3</sup>	10425,00 nuevos soles
Costo del biodigestor de 5 m <sup>3</sup>	16960,00 nuevos soles
Costo de la bolsa de 1 m <sup>3</sup>	570,00 nuevos soles
Costo de la bolsa de 3 m <sup>3</sup>	1236,00 nuevos soles
Costo de la bolsa de 5 m <sup>3</sup>	1533,00 nuevos soles

Fuente: Elaboración propia

Los biodigestores de 1 m<sup>3</sup> se cotizó por la empresa HomeBiogas, los biodigestores de 3 m<sup>3</sup> y 5 m<sup>3</sup> se cotizaron por la empresa Træsure, al igual que las bolsa de almacenamiento. Se debe tener en cuenta que estos biodigestores son modulares, brindando mayor facilidad en su instalación, la cual se puede realizar mediante un manual que brinda la empresa.

Se determina la capacidad mínima del biodigestor, teniendo en cuenta que el reactor es donde se almacena el sustrato suministrado durante un THR y este es el 75% de la capacidad del biodigestor, de esta manera se procede a seleccionar la capacidad del biodigestor comercial y se estima el costo total como indica la Tab. 11.

Tabla 11. Costo de biodigestores seleccionados

Descripción	Valor
THR	20,00 días
Volumen total del sustrato suministrado a diario	149,84 L sustrato
Volumen mínimo del reactor según el THR	3,00 m <sup>3</sup> reactor
Cantidad de biodigestores de 1 m <sup>3</sup>	1,00 unidades
Cantidad de biodigestores de 3 m <sup>3</sup>	1,00 unidades
Volumen del reactor seleccionado	3,00 m <sup>3</sup>
Volumen del biodigestor seleccionado	4,00 m <sup>3</sup>
Costo del biodigestores de 1 m <sup>3</sup>	4045,00 nuevos soles
Costo del biodigestores de 3 m <sup>3</sup>	10425,00 nuevos soles
Costo de los biodigestores seleccionados	14470,00 nuevos soles

Fuente: Elaboración propia

También se determina la capacidad mínima que debe disponer el almacenamiento de biogás adicional, teniendo como referencia que el biodigestor seleccionado previamente puede almacenar 25% de este biogás generado.

Se selecciona la bolsa de almacenamiento de biogás comercial y se determina el costo total como indica la Tab. 12.

Tabla 12. Costo del almacenamiento adicional para el biogás generado

Descripción	Valor
Volumen de biogás que genera a diario el restaurante	5,68 m <sup>3</sup> biogás/día
Volumen mínimo del reactor según el THR	3,00 m <sup>3</sup> reactor
Volumen del digestor seleccionado	4,00 m <sup>3</sup> digestor
Volumen mínimo para almacenar el biogás adicional que se genera	4,68 m <sup>3</sup> almacenamiento
Cantidad de bolsas de 5 m <sup>3</sup>	1,00 unidades
Volumen de almacenamiento seleccionado	5,00 m <sup>3</sup> almacenamiento
Costo de la bolsa de 5 m <sup>3</sup>	1533,00 nuevos soles
Costo de tuberías para instalar las bolsas de almacenamiento del biogás	213,00 nuevos soles
Costo del almacenamiento adicional para el biogás generado	1746,00 nuevos soles

Fuente: Elaboración propia

Con estos parámetros hallados previamente se determina el flujo financiero, antes es necesario estimar los ingresos y egresos que genera el sistema biodigestor. Los ingresos cuando no se considera el aprovechamiento del biofertilizante, solo se genera un ahorro en el consumo de GLP como indica la Tab. 13.

Y respecto a los egresos que genera el sistema biodigestor, se tiene la inversión inicial y el costo anual de mantenimiento como indica la Tab. 14.

Tabla 13. Ingresos que genera el sistema de biodigestión

Descripción	Valor
Poder calorífico del GLP	10982,79 kCal/kg GLP
Poder calorífico neto del biogás	5081,50 kCal/m <sup>3</sup> biogás
Volumen de biogás equivalente a 1 kg de GLP	2,16 m <sup>3</sup> biogás/kg GLP
Volumen de biogás que genera a diario el restaurante	5,68 m <sup>3</sup> biogás /día
Peso del GLP doméstico que se ahorra a diario	2,63 kg GLP/día
Ahorro anual de GLP	3972,00 nuevos soles

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14. Egresos que genera el sistema biodigestor

Descripción	Valor
Costo de los biodigestores seleccionados	14470,00 nuevos soles
Costo del almacenamiento adicional para el biogás generado	1746,00 nuevos soles
Costo total del sistema biodigestor	16216,00 nuevos soles
Costo de desulfurizador de 8 litros <sup>a</sup>	298,00 nuevos soles/desulfurizador
Volumen de biogás que filtra el desulfurizador de 8 litros	800,00 m <sup>3</sup> biogás/desulfurizador
Volumen de biogás que genera a diario el restaurante	5,68 m <sup>3</sup> biogás/día
Costo total del mantenimiento anual del sistema biodigestor	761,48 nuevos soles

Fuente: Elaboración propia

Se determina el flujo financiero del proyecto para el primer caso, cuando no se aprovecha el biofertilizante. Los indicadores son los siguientes: el VAN es positivo e indica que el proyecto permite recuperar la inversión inicial y el mantenimiento anual del equipo; además, brinda una utilidad aproximada de 6 326 nuevos soles, en comparación a la mejor alternativa de inversión. La TIR se encuentra por encima del TREMA, con un valor de 14,84%, lo que significa que el proyecto es rentable. El R-B/C indica que por cada nuevo sol que se invierte a lo largo del proyecto, se obtiene una ganancia de 0,29 nuevos soles. Teniendo estos parámetros se puede deducir el retorno de la inversión en un promedio de 6 a 7 años. Ahora se determina el flujo financiero para el segundo caso, en cual se asume una ganancia de 0,20 nuevos soles por 1 litro de biofertilizante, aproximada a los precios del mercado actual, de esta manera se obtiene un ingreso anual de 10 789 nuevos soles. La ganancia por la venta del biofertilizante afecta favorablemente a los indicadores financieros, resultando el VAN de 62 884 nuevos soles, TIR de 86,16 %, R-B/C de 4,06 y la inversión se recupera en 1 a 2 años. Se concluye que el proyecto es rentable en ambos casos, pero en el primero existe

menor ganancias; siendo el segundo caso un proyecto muy rentable para invertir, gracias a la venta del biofertilizante que genera el sistema de biodigestores. Todos estos parámetros calculados previamente, varían dependiendo de la cantidad de residuos orgánicos que genera el restaurante, para aprovecharlos completamente se necesita una inversión inicial, generando diferentes valores de VAN y TIR en correlación con estos residuos.

#### 42 Independencia del consumo de GLP doméstico

Se determina el grado de independencia en relación a los residuos orgánicos que aprovecha el restaurante, en este caso los restaurantes A, B, C y D previamente muestreados. EL restaurante “A” genera 36,8 kg de residuos orgánicos, se promedia a 36 kg y se procede a calcular el porcentaje de independencia que se logra en este restaurante al utilizar el sistema biodigestor como indica la Tab. 15.

Tabla 15. Porcentaje de demanda de GLP doméstico que cubre el sistema biodigestor para el caso “A”

Descripción	Valor
Consumo de balones de gas en 1 día	1,50 Balones/día
Consumo de GLP doméstico en un día	15,00 kg/día
Poder calorífico del GLP doméstico	10982,79 kCal/kg
Poder calorífico neto del biogás	5081,50 kCal/m <sup>3</sup>
Volumen de biogás equivalente a 1 kg	2,16 m <sup>3</sup>
Volumen de biogás que genera a diario el restaurante	5,68 m <sup>3</sup> /día
Peso del GLP doméstico que se ahorra a diario	2,63 kg/día
Porcentaje de la demanda de GLP doméstico que cubre el sistema biodigestor	17,52 %

Fuente: Elaboración propia

#### 43 Beneficios ambientales

La implementación de un sistema biodigestor en los giros comerciales reduciría la contaminación ambiental mediante el tratamiento de los residuos orgánicos que actualmente se desechan en las calles. Principalmente, se reduciría las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) que provocan el calentamiento global. El total de emisiones generadas se estima en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2eq</sub>) de acuerdo con el potencial de calentamiento global de los GEI en un horizonte de 100 años; el CH<sub>4</sub> tiene un valor de 23, el N<sub>2</sub>O de 296 (IPPC, 2011).

Las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, son los principales gases que contaminan el medio ambiente. Según los informes del (Ministerio del Ambiente, 2016), Perú en el 2016, por la quema de combustible a nivel comercial, residencial y público produce 3 159 Gg de CO<sub>2</sub>, 6 Gg CO<sub>2eq</sub> de CH<sub>4</sub> y 3 Gg CO<sub>2eq</sub> de N<sub>2</sub>O. Por otro lado, los desechos sólidos generan 6 005 Gg CO<sub>2eq</sub> de CH<sub>4</sub>. Mediante el uso del sistema de biodigestores en los restaurantes se puede reducir la quema de combustible (GLP doméstico), y aprovechar el gas metano que generan los residuos orgánicos desechados, de esta forma se puede reducir las emisiones de GEI.

El método que se usa para cuantificar las emisiones de GEI es el brindado por el grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático o por sus siglas en inglés del (IPCC, 2006), Intergovernmental Panel on Climate Change. El método de estimación combina la información sobre el alcance al cual tiene lugar una actividad humana, denominado datos de actividad (DA), con los coeficientes que cuantifican las emisiones, se les denomina factores de emisión (FE) como indica la Ec. (1)

$$\text{Emisiones} = \text{DA} \times \text{FE} \quad (1)$$

Para cuantificar la reducción de emisiones que genera el uso del sistema biodigestor en un año, se estima mediante la Ec. (2):

$$\text{Reducción de emisiones de GEI} = E_{\text{GEI;GLP}} + E_{\text{GEI;residuos}} - E_{\text{GEI;biogás}} \quad (2)$$

$E_{\text{GEI;GLP}}$  representa las emisiones de GEI de la combustión del GLP doméstico que es sustituido por el biogás generado en un año, esta variable se calcula mediante la Ec. (3).

$$E_{\text{GEI;GLP}} = E_{\text{CO}_{2\text{eq;GLP}}} = E_{\text{CO}_2;\text{GLP}} + 23 \times E_{\text{CH}_4;\text{GLP}} + 296 \times E_{\text{N}_2\text{O;GLP}} \quad (3)$$

Las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O por la combustión del GLP se calculan con la Ec. (4), (5) y (6), en donde el combustible sustituido por el biogás por año (CS) se encuentra relacionado a la cantidad de residuos orgánicos que aprovecha el sistema biodigestor en un año.

$$\begin{aligned} E_{CO_2;GLP} &= CS \times FE_{CO_2;GLP} & (4) \\ E_{CH_4;GLP} &= CS \times FE_{CH_4;GLP} & (5) \\ E_{N_2O;GLP} &= CS \times FE_{N_2O;GLP} & (6) \end{aligned}$$

Se considera los factores de CO<sub>2</sub> ( $FE_{CO_2;GLP} = 3075 \text{ kg CO}_2 \text{ t}^{-1}_{GLP}$ ) y CH<sub>4</sub> ( $FE_{CH_4;GLP} = 0.137 \text{ kg CH}_4 \text{ t}^{-1}_{GLP}$ ) según los ensayos de (Zhang et al., 2000) y N<sub>2</sub>O ( $FE_{N_2O;GLP} = 1.88 \text{ kg N}_2\text{O TJ}^{-1}_{GLP}$ ) según los ensayos de (Bhattacharya & Salam, 2002), así se determina  $E_{GEI;GLP}$ . Para poder multiplicar el  $FE_{N_2O;GLP}$  en la Ec. (6) es necesario que sus unidades se encuentre en  $\text{kg N}_2\text{O t}^{-1}_{GLP}$ , se logra utilizando el poder calorífico del GLP (45.95 MJ/kg)

$E_{GEI;residuos}$  son las emisiones de GEI que generan los residuos de comida, se calcula mediante la Ec. (7).

$$E_{GEI;residuos} = E_{CO_{2eq};residuos} = 23 \times E_{CH_4;residuos} \quad (7)$$

$E_{CH_4;residuos}$  representa las emisiones CH<sub>4</sub> para los residuos orgánicos que se encuentra en los vertederos, se puede determinar mediante dos métodos: utilizando la Ec. 1, con un factor de emisión promedio entre 20 y 40  $\text{kg CH}_4 \text{ t}^{-1}_{residuo}$  como recomienda (Pietro Galgani, 2014). Se estima un valor de 30  $\text{kg CH}_4 \text{ año}^{-1}$ , entonces el factor de emisión de los residuos es 30  $\text{kg CH}_4 \text{ t}^{-1}_{residuo}$ . Este FE y los 36 kg de residuos orgánicos que genera el restaurante (RG) permite estimar  $E_{CH_4;residuos}$ , mediante la Ec. (8).

$$E_{CH_4;residuos} = RG \times FE_{CH_4;residuos} \quad (8)$$

$E_{GEI;biogás}$  representa las emisiones de GEI de la combustión del biogás generado, esta variable se calcula mediante la Ec. (9).

$$E_{GEI;GLP} = E_{CO_{2eq};GLP} = E_{CO_2;GLP} + 23 \times E_{CH_4;GLP} \quad (9)$$

Las emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> por la combustión del biogás se calculan mediante la Ec. (10) y (11).

$$E_{CO_2;biogás} = BG \times FE_{CO_2;biogás} \quad (10)$$

$$E_{CH_4;biogás} = BG \times FE_{CH_4;biogás} \quad (11)$$

Donde el biogás generado (BG) con densidad de 1.22  $\text{kg m}^{-3}$  como indica en sus ensayos (Marianna Garfí L. F.-M., 2012) se relaciona con la cantidad de residuos que genera restaurante. Se considera los factores de emisión de CO<sub>2</sub> ( $FE_{CO_2;biogás} = 748 \text{ kg CO}_2 \text{ t}^{-1}_{GLP}$ ), CH<sub>4</sub> ( $FE_{CH_4;GLP} = 0.023 \text{ kg CH}_4 \text{ t}^{-1}_{GLP}$ ) como recomienda los ensayos de (Liu Yu, 2008), para determinar  $E_{GEI;biogás}$ .

Se estima que por los 36 kg de residuo orgánico se genera al ambiente 9066  $\text{kg CO}_{2eq}$  de CH<sub>4</sub>. Mediante el uso del sistema biodigestor se evita generar 2976 kg de CO<sub>2</sub> por la combustión del GLP, mientras que la combustión del biogás solo se genera 1892  $\text{kg CO}_{2eq}$  de biogás.

#### 44 Beneficios sociales

En adición a los beneficios ambientales, implementar este sistema de biodigestores también trae consigo beneficios sociales como, por ejemplo: mejorar la calidad de vida de las personas, generar una expectativa de lo que se puede lograr con los residuos que generamos, enseñar a utilizar biofertilizante producidos por el usuario de manera gratuita. Ya existen programas en donde se incentiva al reciclaje de residuos inorgánicos como el papel, plástico, vidrio, textiles, etc. Sin embargo, no existen programas que se incentive el reciclaje de residuos orgánicos, con este sistema de biodigestores, servirá de ejemplo a la sociedad, de cómo se puede producir combustibles limpios de otra fuente de recurso que se desechaban. Entonces se puede enseñar a la población al demostrarles que un residuo se puede transformar en un recurso.

## 5. CONCLUSIONES

Este trabajo tuvo como objetivo plantear la factibilidad de implementar un sistema de residuos orgánicos en la región Pura a nivel comercial. Los giros de negocio que son factibles para instalar esta tecnología, son los restaurantes, tomando el caso de estudio en donde se genera 36 kg de residuos orgánicos, se confirmó que el implementar este sistema es factible cuando no se aprovecha el biofertilizante y cuando si se aprovecha, la diferencia es que en el segundo caso se obtiene un retorno de inversión más rápido y mayores ganancias. Al implementar este sistema biodigestor, el comercio logra reducir el consumo de GLP en un 20%

aproximadamente, para alcanzar un mayor porcentaje, se tiene que generar mayor biogás con la misma cantidad de residuos orgánicos, esto se logra con biodigestores más eficientes.

Con respecto a los beneficios ambientales que se puede lograr, este sistema evita que se genere 10150 kg CO<sub>2eq</sub> a la atmósfera, el cual al multiplicarlo por la cantidad de restaurantes en la región Piura, se puede llegar a reducir gran parte de los GEI que se generan.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Los investigadores manifiestan su agradecimiento a Fondecyt – Concytec por el financiamiento del proyecto N° 131-2015-FONDECYT “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA LA VALIDACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LA BIOMASA, EN APLICACIONES DOMÉSTICAS EN ZONA RURALES DE LA REGIÓN PIURA, A PARTIR DE TRATAMIENTOS DE SUS RESIDUOS ORGÁNICOS” y a la UNIVERSIDAD DE PIURA por el especial apoyo brindado.

## 7. REFERENCIAS

- Bhattacharya, S., & Salam, P. A. (2002). Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. *Biomass and Bioenergy* 22, 305 – 317.
- Bouallagui, H., & O. Haouari, Y. T. (2004). Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. *Process Biochemistry* 39, 2143 – 2148.
- Bouallagui, H., & R. Ben Cheikh, L. M. (2003). Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. *Bioresource Technology* 86, 85 – 89.
- Cunsheng Zhang, H. S. (2013). Batch and semi-continuous anaerobic digestion of food waste in a dual solid-liquid system. *Bioresource Technology* 145, 10 – 16.
- Daniela Almeida, D. R. (2010). Estudio de la co-digestión anaeróbica de desechos orgánicos agroindustriales. *AVANCES Vol. 2*, C12 – C17.
- ECO Consultorías e Ingeniería SAC. (2013). *Estudio de caracterización física de residuos sólidos municipales en la ciudad de Piura*. Piura, Perú.
- Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO; Glocal Environment Facility, GEF. (2011). *Manual de biogás*. Chile: FAO.
- Hamed El-Mashad, R. Z. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology* 101, 4021 – 4028.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (1994). *III Censo Nacional Económico 1993-1994*. Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2008). *IV Censo Nacional Económico 2008*. Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI. (2015). *Estado de la población peruana 2015*. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática, INEI. (2017). *Estadísticas Municipales 2016*. Lima, Perú.: Gráfica Bracamonte de Bracamonte Heredia Gustavo Adolfo.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Japon: IGES.
- IPCC. (2011). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. USA: Cambridge University Press.
- Lei Zhang, Y.-W. L. (2011). Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of trace elements. *Bioresource Technology* 102, 5048 – 5059.
- Liu Yu, K. Y. (2008). Popularizing household-scale biogas digesters for rural sustainable energy development and greenhouse gas mitigation. *Renewable Energy* 33, 2027 – 2035.
- Marianna Garfí, J. M.-H. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 60, 599 – 614.
- Marianna Garfí, L. F.-M. (2012). Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 575 – 581.
- Mathava Kumar, Y.-L. O.-G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management* 30, 602 – 609.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Lima, Perú: Gráfica Biblos S.A.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial*. OEFA.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Biogás Comunitario*. Alemania.
- Osinergmin. (2017). *Diferencias Físico - Químicas del Gas Natural el GLP*. Recuperado el abril de 2017, de <http://srvgart07.osinerg.gob.pe/webdgn/contenido/diferencias-fisico-quimicas-gn-glp.html>

- Pietro Galgani, E. v. (2014). Composting, anaerobic digestion and biochar production in Ghana. Environmental–economic assessment in the context of voluntary carbon markets. *Waste Management* 34, 2454 – 2465.
- Poggio, D. (2007). *Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano*. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Posas, R. R. (2005). *La formulación y la evaluación de proyectos con énfasis en el sector agrícola*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Ruihong Zhang, H. M.-M. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 98, 929 – 935.
- Superintendencia de Banca, Seguros y AFP. (abril de 2017). *Tasa de interés promedio del sistema bancario*. Obtenido de <http://www.sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEETal/Paginas/TIPasivaDepositoEmpresa.aspx?tip=C>
- Wellinger, A., Murphy, J., & Baxter, D. (2013). *The biogas handbook*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Yunes Cengel, M. B. (2012). *Termodinámica Séptima edición*. México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Zhang, J., Smith, K., Ma, Y., Ye, S., Jiang, F., Qi, W., Thorneloe, S. (2000). Greenhouse gases and other airborne pollutants from household stoves in China: a database for emission factors. *Atmospheric Environment* 34, 4537 – 4549.

## **THE FEASIBILITY STUDY OF IMPLEMENTING A BIODIGESTER SYSTEM FOR COMMERCIAL USERS OF THE PIURA REGION**

**Abstract.** *This research named “The feasibility study of implementing a biodigester system for commercial users of the Piura region” has like objective to evaluate de feasibility for the implementation of a biodigester system for a commercial level in Piura region, which a positive impact from a technological, economic, social and environmental point of view. Multiple short and long term benefits can be obtained are shown: benefit organic waste, achieve independence from the gas tank for cooking food, produce biofertilizer for plants or orchards and generate an economic income by selling it. In this way, savings are obtained in the monthly budget of the business, environmental pollution decreases (reduces greenhouse gases) and the population is made aware of the use of renewable energies and showing them that a waste can be converted into a resource.*

**Key words:** *Biodigester, Biogas, Piura, Organic waste, Commercial users.*

## Conclusiones

Este trabajo tuvo como objetivo plantear la factibilidad de implementar un sistema de residuos orgánicos en la región Pura a nivel comercial. Se analiza cada giro de negocio en donde se determina que los restaurantes son la mejor opción para implementar este sistema, sin embargo cuando se realiza el análisis de sensibilidad se observa que este tipo de proyectos son más rentables cuando se generan ganancias por la venta del biofertilizante.

Se realiza una recomendación para aprovechar la cantidad de residuos orgánicos adecuada que genere mayor rentabilidad. Porque en algunos casos cuando se desea aprovechar mayores residuos orgánicos, la inversión inicial es muy elevada, haciendo el proyecto menos rentable; por ello, se recomienda invertir en aprovechar los residuos orgánicos necesarios. El seguir o no esta recomendación se deja a criterio del inversionista, porque existen casos en donde se conozca de antemano que el restaurante tendrá una ampliación que permitirá mayor tránsito de personas, generando mayor cantidad de residuos orgánicos. De esta manera se puede optar por implementar biodigestores de mayor capacidad, aun cuando la generación actual de residuos orgánicos indique que es necesario un sistema de menor capacidad para obtener la rentabilidad esperada.

Al implementar este sistema biodigestor, el comercio logra reducir el consumo de GLP en 22% aproximadamente. Para alcanzar un mayor porcentaje, se tiene que generar mayor biogás con la misma cantidad de residuos orgánicos, esto se logra con biodigestores más eficientes. O cuando los residuos orgánicos que genera el restaurante presenten mayor porcentaje de ST y SV.

En cuanto a los beneficios ambientales, se estima que por 1 kg de residuo orgánico que el restaurante aprovecha mediante el sistema biodigestor, se reduce 282 kg CO<sub>2eq</sub>, este es un parámetro importante que se debe tomar en cuenta. El inversionista puede escoger entre la opción que genera mayor rentabilidad o la opción que reduce mayor cantidad de GEI a la atmósfera.



## Bibliografía

- Anchundia, G., & Ruiz, B. (2012). *Implementación de un biodigestor, para la utilización y aprovechamiento de los residuos generados en las actividades productivas del camal municipal de Manta*. Universidad Laica "Eloy Alfaro" de Manabí, Ecuador.
- AROMA Turismo, ARONA Ayuntamiento. (2014). *Manual para la gestión de residuos en las instalaciones hoteleras y extrahoteleras*. Arona, España.
- Bhattacharya, S., & Salam, P. A. (2002). Low greenhouse gas biomass options for cooking in the developing countries. *Biomass and Bioenergy* 22, 305 – 317.
- Bolívar, H., & Ramírez, E. (2012). *Propuesta para el diseño de un biodigestor para el aprovechamiento de la materia orgánica generada en los frigoríficos de Bogotá*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Bouallagui, H., & O. Haouari, Y. T. (2004). Effect of temperature on the performance of an anaerobic tubular reactor treating fruit and vegetable waste. *Process Biochemistry* 39, 2143 – 2148.
- Bouallagui, H., & R. Ben Cheikh, L. M. (2003). Mesophilic biogas production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. *Bioresource Technology* 86, 85 – 89.
- Cunsheng Zhang, H. S. (2013). Batch and semi-continuous anaerobic digestion of food waste in a dual solid–liquid system. *Bioresource Technology* 145, 10 – 16.
- Daniela Almeida, D. R. (2010). Estudio de la co-digestión anaeróbica de desechos orgánicos agroindustriales. *AVANCES Vol. 2*, C12 – C17.
- ECO Consultorías e Ingeniería SAC. (2013). *Estudio de caracterización física de residuos sólidos municipales en la ciudad de Piura*. Piura, Perú.
- Forget, A. (2011). *Manual de diseño y de difusión de biodigestores familiares, con enfoque en biodigestores tubulares*. Lima, Peru. Obtenido de Technologies appropriées – mon expérience péruvienne.
- Fuentes, A. (2012). *Diseño y construcción de un biodigestor con sistema automático para generación de biogás en la finca Tanguarín de la parroquia San Antonio de Ibarra*. Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

- Garzón, M. (2011). *Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Gobierno de Chile, Ministerio de Energía; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD; Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO; Global Environment Facility, GEF. (2011). *Manual de biogás*. Chile: FAO.
- Guardado, J. (2007). *Diseño y Construcción de plantas de biogás sencillas*. Ciudad de la Habana, Cuba: CUBASOLAR.
- Hamed El-Mashad, R. Z. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology* 101, 4021 – 4028.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (1994). *III Censo Nacional Económico 1993-1994*. Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2008). *IV Censo Nacional Económico 2008*. Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2010). *Perú: Estimaciones y Proyecciones de Población Departamental, por Años Calendario y Edades Simples 1995 - 2025*. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). *Estado de la población peruana 2015*. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2016). *Censo Nacional de Mercados de Abastos 2016*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Estadísticas Municipales*. Lima, Perú.: Gráfica Bracamonte de Bracamonte Heredia Gustavo Adolfo.
- IPCC. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Japon: IGES.
- IPPC. (2011). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. USA: Cambridge University Press.
- Jaimovich, O., Acevedo, F., Badell, N. E., Cerdá, A., Hardoy, E., & Vallarino, J. M. (2015). *Tratamiento de residuos cloacales con biodigestores*. Buenos Aires, Argentina.
- Lei Zhang, Y.-W. L. (2011). Anaerobic co-digestion of food waste and piggery wastewater: Focusing on the role of trace elements. *Bioresource Technology* 102, 5048 – 5059.
- Liu Yu, K. Y. (2008). Popularizing household-scale biogas digesters for rural sustainable energy development and greenhouse gas mitigation. *Renewable Energy* 33, 2027 – 2035.

- Marianna Garfí, J. M.-H. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 60, 599 – 614.
- Marianna Garfí, L. F.-M. (2012). Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16, 575 – 581.
- Mathava Kumar, Y.-L. O.-G. (2010). Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. *Waste Management* 30, 602 – 609.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Lima, Perú: Gráfica Biblos S.A.
- Ministerio del Ambiente, MINAM; Evaluación y Gestión Ambiental, Evagam S. A. C. (2014). *Sexto informe nacional de residuos sólidos de la gestión del ámbito municipal y no municipal 2013*. Lima, Perú.
- Navarro, R. (2015). *Criterios para la implementación de biodigestores familiares en Iztapalapa*. Universidad Autónoma de la ciudad de México, Mexico D.F.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial*. OEFA.
- Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible, OPDS; Subsecretaría de Educación, DGCyE. (2008). *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos*. Buenos Aires: OPDS.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2014). *Biogás Comunitario*. Alemania.
- Osinermin. (s.f.). *Diferencias Físico - Químicas del Gas Natural el GLP*. Recuperado el abril de 2017, de <http://srvgart07.osinerg.gob.pe/webdgn/contenido/diferencias-fisico-quimicas-gn-glp.html>
- Pietro Galgani, E. v. (2014). Composting, anaerobic digestion and biochar production in Ghana. Environmental-economic assessment in the context of voluntary carbon markets. *Waste Management* 34, 2454 – 2465.
- Poggio, D. (2007). *Diseño y construcción de dos digestores anaeróbicos en el altiplano andino peruano*. Universitat Politècnica de Catalunya, España.
- Posas, R. R. (2005). *La formulación y la evaluación de proyectos con énfasis en el sector agrícola*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Ruihong Zhang, H. M.-M. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 98, 929 – 935.

- Salamanca, J. (2009). *Diseño, Construcción y Puesta en Marcha de un Biodigestor a Escala Piloto para la Generación de Biogás y Fertilizante Orgánico*. Universidad de San Francisco de Quito, Ecuador.
- Sandra Aparcana Robles, A. J. (2008). *Estudio sobre el Valor Fertilizante de los Productos del proceso "Fermentación Anaeróbica" para Producción de Biogás*. Alemania: German ProfEC GmbH.
- Stephen A. Ross, R. W. (2010). *Finanzas corporativas*. Mexico, DF.: McGraw-Hill.
- Superintendencia de Banca, Seguros y AFP. (abril de 2017). *Tasa de interés promedio del sistema bancario*. Obtenido de <http://www.sbs.gob.pe/app/pp/EstadisticasSAEEPPortal/Paginas/TIPasivaDepositoEmpresa.aspx?tip=C>
- Wellinger, A., Murphy, J., & Baxter, D. (2013). *The biogas handbook*. Cambridge, UK: Woodhead Publishing.
- Yunes Cengel, M. B. (2012). *Termodinámica Séptima edición*. México, D.F.: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Zhang, J., Smith, K., Ma, Y., Ye, S., Jiang, F., Qi, W., . . . Thorneloe, S. (2000). Greenhouse gases and other airborne pollutants from household stoves in China: a database for emission factors. *Atmospheric Environment* 34, 4537 – 4549.

## **Anexos**



**Anexo A.** Cantidad de restaurante al año 2016 en las provincias de la región de Piura.

Tabla 1-A. Cantidad de restaurantes al año 2016 en la provincia de Ayabaca

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 1994</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2008</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2016</b>
Ayabaca	6	50	140
Frias	5	20	51
Jilili	0	2	6
Lagunas	1	4	10
Montero	4	16	40
Pacaipampa	2	7	17
Paimas	5	19	48
Sapillica	3	13	33
Sicchez	1	3	7
Suyo	3	11	27
<b>Total</b>	<b>30</b>	<b>145</b>	<b>380</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-A. Cantidad de restaurantes al año 2016 en la provincia de Huancabamba

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 1994</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2008</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2016</b>
Huancabamba	14	53	133
Canchache	3	13	33
El Carmen de la Frontera	0	2	6
Huarmaca	0	16	49
Lalaquiz	0	3	9
San Miguel del Faique	0	10	30
Sondor	0	3	9
Sondorillo	0	3	9
<b>Total</b>	<b>17</b>	<b>103</b>	<b>279</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3-A. Cantidad de restaurantes al año 2016 en la provincia de Talara

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 1994</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2008</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2016</b>
Pariñas	99	216	455
El Alto	25	39	68
La Brea	19	28	46
Lobitos	0	2	6
Los Órganos	23	30	44
Máncora	24	108	279
<b>Total</b>	<b>190</b>	<b>423</b>	<b>899</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4-A. Cantidad de restaurantes al año 2016 en la provincia de Morropón

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 1994</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2008</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2016</b>
Chulucanas	112	141	200
Buenos Aires	7	8	10
Chalaco	9	11	15
La Matanza	6	46	128
Morropón	15	43	100
Salitral	6	8	12
San Juan de Bigote	11	13	17
Santa Catalina de Mossa	4	4	4
Santo Domingo	5	6	8
Yamango	9	11	15
<b>Total</b>	<b>184</b>	<b>291</b>	<b>509</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5-A. Cantidad de restaurantes al año 2016 en la provincia de Paita

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 1994</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2008</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2016</b>
Paita	112	135	182
Amotape	1	1	1
Arenal	0	0	0
Colán	11	24	51
La Huaca	0	2	6
Tamarindo	3	3	3
Vichayal	1	1	1
<b>Total</b>	<b>128</b>	<b>166</b>	<b>244</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6-A. Cantidad de restaurantes al año 2016 en la provincia de Piura

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 1994</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2008</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2016</b>
Piura	300	842	1948
Castilla	64	191	450
Catacaos	56	82	135
Cura Mori	1	3	7
El Tallan	4	4	4
La Arena	12	12	12
La Unión	13	72	192
Las Lomas	14	39	90
Tambo Grande	13	86	235
<b>Total</b>	<b>477</b>	<b>1331</b>	<b>3074</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7-A. Cantidad de restaurantes al año 2016 en la provincia de Sechura

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 1994</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2008</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2016</b>
Sechura	14	122	342
Bellavista de la Unión	2	5	11
Bernal	14	17	23
Cristo nos valga	1	4	10
Vice	7	10	16
Rinconada Llicuar	3	6	12
Bellavista de la Unión	2	5	11
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>164</b>	<b>415</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8-A. Cantidad de restaurantes al año 2016 en la provincia de Sullana

<b>Distrito</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 1994</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2008</b>	<b>Cantidad de restaurantes al año 2016</b>
Sullana	173	455	1031
Bellavista	26	42	75
Ignacio Escudero	4	13	31
Lancones	1	1	1
Marcavelina	16	31	62
Miguel checa	3	3	3
Querecotillo	7	39	104
Salitral	24	30	42
<b>Total</b>	<b>254</b>	<b>614</b>	<b>1349</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo B.** Flujo financieros del proyecto para el primer y segundo caso de estudio.

<b>TABLA 1-B.</b> Flujo Financiero del proyecto para el primer caso cuando un restaurante genera 36 kg											
<b>CATEGORÍAS</b>	<b>Año 0</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>	<b>Año 7</b>	<b>Año 8</b>	<b>Año 9</b>	<b>Año 10</b>
1. Costo de inversión	-S/. 16 216										
1.1. Biodigestor	-S/. 14 470										
1.2. Bolsa de almacenamiento del biogás	-S/. 1 746										
2. Costos de mantenimiento	S/. 0	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761
2.1. Costo del desulfurizador		-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761
3. Ingresos	S/. 0	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972
3.1. Ahorro en el consumo de GLP		S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972
3.2. Ganancias por la venta del biofertilizante		S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0	S/. 0
<b>Flujo neto financiero</b>	<b>-S/. 16 216</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>	<b>S/. 3 211</b>
TREMA	7.01%										
<b>Flujo neto financiero actualizado</b>											
VAN	S/. 6 326										
TIR	14.84%										
R-B/C	1.29										
Se recupera la inversión entre los años	6 y 7										
<b>Fuente:</b> Elaboración propia											

**TABLA 2-B. Flujo Financiero del proyecto para el segundo caso cuando un restaurante genera 36 kg**

CATEGORIAS	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
1. Costo de inversión	-S/. 16 216										
1.1. Biodigestor	-S/. 14 470										
1.2. Bolsa de almacenamiento del biogás	-S/. 1 746										
2. Costos de mantenimiento	S/. 0	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761
2.1. Costo del desulfurizador		-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761	-S/. 761
3. Ingresos	S/. 0	S/. 14 761	S/. 14 761	S/. 14 761	S/. 14 761	S/. 14 761	S/. 14 761	S/. 14 761	S/. 14 761	S/. 14 761	S/. 14 761
3.1. Ahorro en el consumo de GLP		S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972	S/. 3 972
3.2. Ganancias por la venta del biofertilizante		S/. 10 789	S/. 10 789	S/. 10 789	S/. 10 789	S/. 10 789	S/. 10 789	S/. 10 789	S/. 10 789	S/. 10 789	S/. 10 789
<b>Flujo neto financiero</b>	<b>-S/. 16 216</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>	<b>S/. 14 000</b>
TREMA											
											12%
<b>Flujo neto financiero actualizado</b>											
VAN											S/. 62 884
TIR											86.16%
R-B/C											4.06
Se recupera la inversión entre los años											1 y 2
<b>Fuente:</b>	<b>Elaboración propia</b>										

**Anexo C. Parámetros e indicadores financieros cuando no se aprovecha el biofertilizante**
**Tabla 1-C. Indicadores financieros cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos que genera el restaurante para el primer caso**

<b>Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)</b>	<b>VAN</b>	<b>TIR</b>	<b>R-B/C</b>	<b>Años para recuperar la inversión</b>
1	-S/. 3 419	-20.96%	0.18	10 y 11
2	-S/. 2 793	-12.66%	0.36	10 y 11
3	-S/. 2 166	-6.88%	0.52	10 y 11
4	-S/. 1 540	-2.22%	0.67	10 y 11
5	-S/. 1 697	-1.42%	0.70	10 y 11
6	-S/. 1 071	1.92%	0.81	10 y 11
7	-S/. 445	4.97%	0.92	10 y 11
8	S/. 181	7.82%	1.03	9 y 10
9	S/. 142	7.56%	1.02	9 y 10
10	-S/. 2 611	0.10%	0.75	10 y 11
11	-S/. 1 985	1.87%	0.81	10 y 11
12	-S/. 1 359	3.56%	0.87	10 y 11
13	-S/. 1 399	3.72%	0.88	10 y 11
14	-S/. 773	5.22%	0.93	10 y 11
15	-S/. 146	6.68%	0.99	10 y 11
16	S/. 480	8.09%	1.04	9 y 10
17	S/. 1 106	9.46%	1.09	8 y 9
18	S/. 1 732	10.79%	1.14	7 y 8
19	S/. 23	7.05%	1.00	9 y 10
20	S/. 650	8.18%	1.04	9 y 10
21	S/. 1 276	9.28%	1.09	8 y 9
22	S/. 1 902	10.36%	1.13	8 y 9
23	S/. 2 528	11.42%	1.17	7 y 8
24	S/. 3 154	12.45%	1.20	7 y 8
25	S/. 3 483	12.85%	1.22	7 y 8
26	S/. 4 110	13.84%	1.26	6 y 7
27	S/. 4 736	14.82%	1.29	6 y 7
28	S/. 1 614	9.15%	1.08	8 y 9
29	S/. 2 240	9.96%	1.11	8 y 9
30	S/. 2 569	10.32%	1.12	8 y 9
31	S/. 3 195	11.10%	1.15	7 y 8
32	S/. 3 822	11.87%	1.18	7 y 8
33	S/. 4 448	12.62%	1.21	7 y 8
34	S/. 5 074	13.37%	1.24	6 y 7
35	S/. 5 700	14.11%	1.27	6 y 7
36	S/. 6 326	14.84%	1.29	6 y 7
37	S/. 4 462	11.92%	1.18	7 y 8
38	S/. 5 089	12.58%	1.21	7 y 8
39	S/. 5 715	13.23%	1.23	6 y 7
40	S/. 6 341	13.87%	1.26	6 y 7
41	S/. 6 967	14.50%	1.28	6 y 7
42	S/. 6 810	14.07%	1.26	6 y 7
43	S/. 7 437	14.68%	1.29	6 y 7
44	S/. 8 063	15.28%	1.31	6 y 7
45	S/. 8 689	15.88%	1.33	6 y 7

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2-C.** Parámetros para seleccionar la capacidad del biodigestor cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos que genera el restaurante para el primer caso

Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)	Volumen mínimo del reactor (m <sup>3</sup> )	Biodigestor seleccionado (m <sup>3</sup> )	Precio del biodigestor
1	0.08	1.00	S/. 4 045
2	0.17	1.00	S/. 4 045
3	0.25	1.00	S/. 4 045
4	0.33	1.00	S/. 4 045
5	0.42	1.00	S/. 4 045
6	0.50	1.00	S/. 4 045
7	0.58	1.00	S/. 4 045
8	0.67	1.00	S/. 4 045
9	0.75	1.00	S/. 4 045
10	0.83	2.00	S/. 8 090
11	0.92	2.00	S/. 8 090
12	1.00	2.00	S/. 8 090
13	1.08	2.00	S/. 8 090
14	1.17	2.00	S/. 8 090
15	1.25	2.00	S/. 8 090
16	1.33	2.00	S/. 8 090
17	1.42	2.00	S/. 8 090
18	1.50	2.00	S/. 8 090
19	1.58	3.00	S/. 10 425
20	1.66	3.00	S/. 10 425
21	1.75	3.00	S/. 10 425
22	1.83	3.00	S/. 10 425
23	1.91	3.00	S/. 10 425
24	2.00	3.00	S/. 10 425
25	2.08	3.00	S/. 10 425
26	2.16	3.00	S/. 10 425
27	2.25	3.00	S/. 10 425
28	2.33	4.00	S/. 14 470
29	2.41	4.00	S/. 14 470
30	2.50	4.00	S/. 14 470
31	2.58	4.00	S/. 14 470
32	2.66	4.00	S/. 14 470
33	2.75	4.00	S/. 14 470
34	2.83	4.00	S/. 14 470
35	2.91	4.00	S/. 14 470
36	3.00	4.00	S/. 14 470
37	3.08	5.00	S/. 16 960
38	3.16	5.00	S/. 16 960
39	3.25	5.00	S/. 16 960
40	3.33	5.00	S/. 16 960
41	3.41	5.00	S/. 16 960
42	3.50	5.00	S/. 16 960
43	3.58	5.00	S/. 16 960
44	3.66	5.00	S/. 16 960
45	3.75	5.00	S/. 16 960

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-C.** Parámetros para seleccionar la capacidad de la bolsa de almacenamiento del biogás cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos que genera el restaurante para el primer caso

Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)	Biogás que genera (m <sup>3</sup> /día)	Biogás adicional por almacenar (m <sup>3</sup> )	Bolsa de almacenamiento seleccionada (m <sup>3</sup> )	Costo del almacenamiento
1	0.16	0.00	0.00	S/. 0
2	0.32	0.00	0.00	S/. 0
3	0.47	0.00	0.00	S/. 0
4	0.63	0.00	0.00	S/. 0
5	0.79	0.20	1.00	S/. 783
6	0.95	0.45	1.00	S/. 783
7	1.10	0.69	1.00	S/. 783
8	1.26	0.93	1.00	S/. 783
9	1.42	1.17	3.00	S/. 1,449
10	1.58	0.41	1.00	S/. 783
11	1.74	0.65	1.00	S/. 783
12	1.89	0.89	1.00	S/. 783
13	2.05	1.13	3.00	S/. 1,449
14	2.21	1.37	3.00	S/. 1,449
15	2.37	1.61	3.00	S/. 1,449
16	2.52	1.86	3.00	S/. 1,449
17	2.68	2.10	3.00	S/. 1,449
18	2.84	2.34	3.00	S/. 1,449
19	3.00	1.58	3.00	S/. 1,449
20	3.15	1.82	3.00	S/. 1,449
21	3.31	2.06	3.00	S/. 1,449
22	3.47	2.30	3.00	S/. 1,449
23	3.63	2.54	3.00	S/. 1,449
24	3.79	2.78	3.00	S/. 1,449
25	3.94	3.02	5.00	S/. 1,746
26	4.10	3.27	5.00	S/. 1,746
27	4.26	3.51	5.00	S/. 1,746
28	4.42	2.75	3.00	S/. 1,449
29	4.57	2.99	3.00	S/. 1,449
30	4.73	3.23	5.00	S/. 1,746
31	4.89	3.47	5.00	S/. 1,746
32	5.05	3.71	5.00	S/. 1,746
33	5.21	3.95	5.00	S/. 1,746
34	5.36	4.19	5.00	S/. 1,746
35	5.52	4.43	5.00	S/. 1,746
36	5.68	4.68	5.00	S/. 1,746
37	5.84	3.92	5.00	S/. 1,746
38	5.99	4.16	5.00	S/. 1,746
39	6.15	4.40	5.00	S/. 1,746
40	6.31	4.64	5.00	S/. 1,746
41	6.47	4.88	5.00	S/. 1,746
42	6.62	5.12	6.00	S/. 2,529
43	6.78	5.36	6.00	S/. 2,529
44	6.94	5.60	6.00	S/. 2,529
45	7.10	5.84	6.00	S/. 2,529

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-C.** Ingresos y egresos cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos que genera el restaurante para el primer caso

Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)	Inversión inicial	Ahorro anual de GLP	Mantenimiento anual del sistema biodigestor
1	S/. 4 045	S/. 110	S/. 21
2	S/. 4 045	S/. 221	S/. 42
3	S/. 4 045	S/. 331	S/. 63
4	S/. 4 045	S/. 441	S/. 85
5	S/. 4 828	S/. 552	S/. 106
6	S/. 4 828	S/. 662	S/. 127
7	S/. 4 828	S/. 772	S/. 148
8	S/. 4 828	S/. 883	S/. 169
9	S/. 5 494	S/. 993	S/. 190
10	S/. 8 873	S/. 1 103	S/. 212
11	S/. 8 873	S/. 1 214	S/. 233
12	S/. 8 873	S/. 1 324	S/. 254
13	S/. 9 539	S/. 1 435	S/. 275
14	S/. 9 539	S/. 1 545	S/. 296
15	S/. 9 539	S/. 1 655	S/. 317
16	S/. 9 539	S/. 1 766	S/. 338
17	S/. 9 539	S/. 1 876	S/. 360
18	S/. 9 539	S/. 1 986	S/. 381
19	S/. 11 874	S/. 2 097	S/. 402
20	S/. 11 874	S/. 2 207	S/. 423
21	S/. 11 874	S/. 2 317	S/. 444
22	S/. 11 874	S/. 2 428	S/. 465
23	S/. 11 874	S/. 2 538	S/. 487
24	S/. 11 874	S/. 2 648	S/. 508
25	S/. 12 171	S/. 2 759	S/. 529
26	S/. 12 171	S/. 2 869	S/. 550
27	S/. 12 171	S/. 2 979	S/. 571
28	S/. 15 919	S/. 3 090	S/. 592
29	S/. 15 919	S/. 3 200	S/. 613
30	S/. 16 216	S/. 3 310	S/. 635
31	S/. 16 216	S/. 3 421	S/. 656
32	S/. 16 216	S/. 3 531	S/. 677
33	S/. 16 216	S/. 3 641	S/. 698
34	S/. 16 216	S/. 3 752	S/. 719
35	S/. 16 216	S/. 3 862	S/. 740
36	S/. 16 216	S/. 3 972	S/. 761
37	S/. 18 706	S/. 4 083	S/. 783
38	S/. 18 706	S/. 4 193	S/. 804
39	S/. 18 706	S/. 4 304	S/. 825
40	S/. 18 706	S/. 4 414	S/. 846
41	S/. 18 706	S/. 4 524	S/. 867
42	S/. 19 489	S/. 4 635	S/. 888
43	S/. 19 489	S/. 4 745	S/. 910
44	S/. 19 489	S/. 4 855	S/. 931
45	S/. 19 489	S/. 4 966	S/. 952

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo D.** Parámetros e indicadores financieros cuando si se aprovecha el biofertilizante**Tabla 1-D.** Indicadores financieros cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos que genera el restaurante para el segundo caso

<b>Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)</b>	<b>VAN</b>	<b>TIR</b>	<b>R-B/C</b>	<b>Años para recuperar la inversión</b>
1	-S/. 1 848	-0.71%	0.56	10 y 11
2	S/. 349	14.07%	1.08	8 y 9
3	S/. 2 547	25.98%	1.58	4 y 5
4	S/. 4 744	36.78%	2.05	3 y 4
5	S/. 6 158	38.75%	2.14	3 y 4
6	S/. 8 355	47.32%	2.51	2 y 3
7	S/. 10 553	55.71%	2.86	2 y 3
8	S/. 12 750	63.98%	3.20	1 y 2
9	S/. 14 281	63.23%	3.17	1 y 2
10	S/. 13 099	42.56%	2.30	2 y 3
11	S/. 15 297	47.20%	2.50	2 y 3
12	S/. 17 494	51.78%	2.70	2 y 3
13	S/. 19 025	52.20%	2.72	2 y 3
14	S/. 21 222	56.42%	2.89	2 y 3
15	S/. 23 419	60.62%	3.07	1 y 2
16	S/. 25 617	64.79%	3.24	1 y 2
17	S/. 27 814	68.94%	3.40	1 y 2
18	S/. 30 011	73.08%	3.57	1 y 2
19	S/. 29 873	61.72%	3.11	1 y 2
20	S/. 32 071	65.06%	3.25	1 y 2
21	S/. 34 268	68.40%	3.38	1 y 2
22	S/. 36 465	71.73%	3.51	1 y 2
23	S/. 38 662	75.05%	3.64	1 y 2
24	S/. 40 860	78.36%	3.77	1 y 2
25	S/. 42 760	79.65%	3.82	1 y 2
26	S/. 44 957	82.87%	3.94	1 y 2
27	S/. 47 154	86.09%	4.06	1 y 2
28	S/. 45 604	68.02%	3.37	1 y 2
29	S/. 47 801	70.50%	3.47	1 y 2
30	S/. 49 701	71.62%	3.51	1 y 2
31	S/. 51 898	74.05%	3.61	1 y 2
32	S/. 54 095	76.48%	3.70	1 y 2
33	S/. 56 293	78.90%	3.79	1 y 2
34	S/. 58 490	81.32%	3.88	1 y 2
35	S/. 60 687	83.74%	3.98	1 y 2
36	S/. 62 884	86.16%	4.06	1 y 2
37	S/. 62 592	76.66%	3.71	1 y 2
38	S/. 64 789	78.76%	3.79	1 y 2
39	S/. 66 986	80.86%	3.87	1 y 2
40	S/. 69 183	82.96%	3.95	1 y 2
41	S/. 71 381	85.05%	4.02	1 y 2
42	S/. 72 795	83.61%	3.97	1 y 2
43	S/. 74 992	85.62%	4.04	1 y 2
44	S/. 77 189	87.63%	4.12	1 y 2
45	S/. 79 386	89.64%	4.19	1 y 2

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2-D.** Ingresos y egresos cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos que genera el restaurante para el segundo caso

Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)	Inversión inicial	Ahorro anual de GLP	Mantenimiento anual del sistema biodigestor	Ganancia anual por la venta del biofertilizante
1	S/. 4 045	S/. 110	S/. 21	S/. 300
2	S/. 4 045	S/. 221	S/. 42	S/. 599
3	S/. 4 045	S/. 331	S/. 63	S/. 899
4	S/. 4 045	S/. 441	S/. 85	S/. 1 199
5	S/. 4 828	S/. 552	S/. 106	S/. 1 498
6	S/. 4 828	S/. 662	S/. 127	S/. 1 798
7	S/. 4 828	S/. 772	S/. 148	S/. 2 098
8	S/. 4 828	S/. 883	S/. 169	S/. 2 397
9	S/. 5 494	S/. 993	S/. 190	S/. 2 697
10	S/. 8 873	S/. 1 103	S/. 212	S/. 2 997
11	S/. 8 873	S/. 1 214	S/. 233	S/. 3 296
12	S/. 8 873	S/. 1 324	S/. 254	S/. 3 596
13	S/. 9 539	S/. 1 435	S/. 275	S/. 3 896
14	S/. 9 539	S/. 1 545	S/. 296	S/. 4 196
15	S/. 9 539	S/. 1 655	S/. 317	S/. 4 495
16	S/. 9 539	S/. 1 766	S/. 338	S/. 4 795
17	S/. 9 539	S/. 1 876	S/. 360	S/. 5 095
18	S/. 9 539	S/. 1 986	S/. 381	S/. 5 394
19	S/. 11 874	S/. 2 097	S/. 402	S/. 5 694
20	S/. 11 874	S/. 2 207	S/. 423	S/. 5 994
21	S/. 11 874	S/. 2 317	S/. 444	S/. 6 293
22	S/. 11 874	S/. 2 428	S/. 465	S/. 6 593
23	S/. 11 874	S/. 2 538	S/. 487	S/. 6 893
24	S/. 11 874	S/. 2 648	S/. 508	S/. 7 192
25	S/. 12 171	S/. 2 759	S/. 529	S/. 7 492
26	S/. 12 171	S/. 2 869	S/. 550	S/. 7 792
27	S/. 12 171	S/. 2 979	S/. 571	S/. 8 091
28	S/. 15 919	S/. 3 090	S/. 592	S/. 8 391
29	S/. 15 919	S/. 3 200	S/. 613	S/. 8 691
30	S/. 16 216	S/. 3 310	S/. 635	S/. 8 990
31	S/. 16 216	S/. 3 421	S/. 656	S/. 9 290
32	S/. 16 216	S/. 3 531	S/. 677	S/. 9 590
33	S/. 16 216	S/. 3 641	S/. 698	S/. 9 889
34	S/. 16 216	S/. 3 752	S/. 719	S/. 10 189
35	S/. 16 216	S/. 3 862	S/. 740	S/. 10 489
36	S/. 16 216	S/. 3 972	S/. 761	S/. 10 789
37	S/. 18 706	S/. 4 083	S/. 783	S/. 11 088
38	S/. 18 706	S/. 4 193	S/. 804	S/. 11 388
39	S/. 18 706	S/. 4 304	S/. 825	S/. 11 688
40	S/. 18 706	S/. 4 414	S/. 846	S/. 11 987
41	S/. 18 706	S/. 4 524	S/. 867	S/. 12 287
42	S/. 19 489	S/. 4 635	S/. 888	S/. 12 587
43	S/. 19 489	S/. 4 745	S/. 910	S/. 12 886
44	S/. 19 489	S/. 4 855	S/. 931	S/. 13 186
45	S/. 19 489	S/. 4 966	S/. 952	S/. 13 486

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo E.** Emisiones de GEI en relación a los residuos orgánicos que genera el restaurante.**Tabla 1-E.** Emisiones de GEI de la combustión del GLP sustituido por el biogás generado cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos que genera el restaurante

Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)	GLP sustituido (kg/año)	Emisiones de CO (kg CO <sub>2</sub> )	Emisiones de CH <sub>4</sub> (kg CH <sub>4</sub> )	Emisiones de N <sub>2</sub> O (kg N <sub>2</sub> O)
1	26,638	81,912	0,004	0,002
2	53,276	163,823	0,007	0,005
3	79,914	245,735	0,011	0,007
4	106,552	327,647	0,015	0,009
5	133,190	409,559	0,018	0,011
6	159,828	491,470	0,022	0,014
7	186,466	573,382	0,026	0,016
8	213,104	655,294	0,029	0,018
9	239,742	737,205	0,033	0,021
10	266,380	819,117	0,036	0,023
11	293,018	901,029	0,040	0,025
12	319,655	982,941	0,044	0,028
13	346,293	1 064,852	0,047	0,030
14	372,931	1 146,764	0,051	0,032
15	399,569	1 228,676	0,055	0,034
16	426,207	1 310,587	0,058	0,037
17	452,845	1 392,499	0,062	0,039
18	479,483	1 474,411	0,066	0,041
19	506,121	1 556,323	0,069	0,044
20	532,759	1 638,234	0,073	0,046
21	559,397	1 720,146	0,077	0,048
22	586,035	1 802,058	0,080	0,051
23	612,673	1 883,969	0,084	0,053
24	639,311	1 965,881	0,088	0,055
25	665,949	2 047,793	0,091	0,057
26	692,587	2 129,705	0,095	0,060
27	719,225	2 211,616	0,099	0,062
28	745,863	2 293,528	0,102	0,064
29	772,501	2 375,440	0,106	0,067
30	799,139	2 457,351	0,109	0,069
31	825,777	2 539,263	0,113	0,071
32	852,415	2 621,175	0,117	0,074
33	879,053	2 703,087	0,120	0,076
34	905,690	2 784,998	0,124	0,078
35	932,328	2 866,910	0,128	0,080
36	958,966	2 948,822	0,131	0,083
37	985,604	3 030,733	0,135	0,085
38	1012,242	3 112,645	0,139	0,087
39	1038,880	3 194,557	0,142	0,090
40	1065,518	3 276,469	0,146	0,092
41	1092,156	3 358,380	0,150	0,094
42	1118,794	3 440,292	0,153	0,097
43	1145,432	3 522,204	0,157	0,099
44	1172,070	3 604,115	0,161	0,101
45	1198,708	3 686,027	0,164	0,103

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2-E.** Emisiones de GEI de la fermentación de los residuos orgánicos cuando no se usa un sistema biodigestor para aprovecharlos

<b>Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)</b>	<b>Emisiones de CH<sub>4</sub> (kg CH<sub>4</sub>)</b>
1	10,95
2	21,90
3	32,85
4	43,80
5	54,75
6	65,70
7	76,65
8	87,60
9	98,55
10	109,50
11	120,45
12	131,40
13	142,35
14	153,30
15	164,25
16	175,20
17	186,15
18	197,10
19	208,05
20	219,00
21	229,95
22	240,90
23	251,85
24	262,80
25	273,75
26	284,70
27	295,65
28	306,60
29	317,55
30	328,50
31	339,45
32	350,40
33	361,35
34	372,30
35	383,25
36	394,20
37	405,15
38	416,10
39	427,05
40	438,00
41	448,95
42	459,90
43	470,85
44	481,80
45	492,75

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 3-E.** Emisiones de GEI de la combustión del biogás generado cuando se aprovecha todos los residuos orgánicos que genera el restaurante

Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)	Biogás que se genera (kg/año)	Emisiones de CO (kg CO <sub>2</sub> )	Emisiones de CH <sub>4</sub> (kg CH <sub>4</sub> )
1	70	52,54	0,00
2	140	105,08	0,00
3	211	157,62	0,00
4	281	210,16	0,01
5	351	262,70	0,01
6	421	315,23	0,01
7	492	367,77	0,01
8	562	420,31	0,01
9	632	472,85	0,01
10	702	525,39	0,02
11	773	577,93	0,02
12	843	630,47	0,02
13	913	683,01	0,02
14	983	735,55	0,02
15	1 054	788,09	0,02
16	1 124	840,63	0,03
17	1 194	893,17	0,03
18	1 264	945,70	0,03
19	1 335	998,24	0,03
20	1 405	1 050,78	0,03
21	1 475	1 103,32	0,03
22	1 545	1 155,86	0,04
23	1 616	1 208,40	0,04
24	1 686	1 260,94	0,04
25	1 756	1 313,48	0,04
26	1 826	1 366,02	0,04
27	1 896	1 418,56	0,04
28	1 967	1 471,10	0,05
29	2 037	1 523,64	0,05
30	2 107	1 576,17	0,05
31	2 177	1 628,71	0,05
32	2 248	1 681,25	0,05
33	2 318	1 733,79	0,05
34	2 388	1 786,33	0,05
35	2 458	1 838,87	0,06
36	2 529	1 891,41	0,06
37	2 599	1 943,95	0,06
38	2 669	1 996,49	0,06
39	2 739	2 049,03	0,06
40	2 810	2 101,57	0,06
41	2 880	2 154,11	0,07
42	2 950	2 206,64	0,07
43	3 020	2 259,18	0,07
44	3 091	2 311,72	0,07
45	3 161	2 364,26	0,07

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 4-E.** Emisiones de GEI expresados en kg CO<sub>2eq</sub> de la combustión de GLP sustituido, de la fermentación de los residuos orgánicos y de la combustión del biogás

Residuos orgánicos que se aprovecha (kg)	Emisión de GEI de la combustión del GLP (kg CO <sub>2eq</sub> )	Emisión de GEI de la fermentación de los residuos orgánicos (kg CO <sub>2eq</sub> )	Emisión de GEI de la combustión del biogás (kg CO <sub>2eq</sub> )
1	83	252	53
2	165	504	105
3	248	756	158
4	331	1 007	210
5	413	1 259	263
6	496	1 511	315
7	579	1 763	368
8	661	2 015	421
9	744	2 267	473
10	827	2 519	526
11	909	2 770	578
12	992	3 022	631
13	1 075	3 274	683
14	1 157	3 526	736
15	1 240	3 778	789
16	1 323	4 030	841
17	1 405	4 281	894
18	1 488	4 533	946
19	1 571	4 785	999
20	1 654	5 037	1 052
21	1 736	5 289	1 104
22	1 819	5 541	1 157
23	1 902	5 793	1 209
24	1 984	6 044	1 262
25	2 067	6 296	1 314
26	2 150	6 548	1 367
27	2 232	6 800	1 420
28	2 315	7 052	1 472
29	2 398	7 304	1 525
30	2 480	7 556	1 577
31	2 563	7 807	1 630
32	2 646	8 059	1 682
33	2 728	8 311	1 735
34	2 811	8 563	1 788
35	2 894	8 815	1 840
36	2 976	9 067	1 893
37	3 059	9 318	1 945
38	3 142	9 570	1 998
39	3 224	9 822	2 050
40	3 307	10 074	2 103
41	3 390	10 326	2 156
42	3 472	10 578	2 208
43	3 555	10 830	2 261
44	3 638	11 081	2 313
45	3 720	11 333	2 366

**Fuente:** Elaboración propia

**Anexo F.** Carta de aceptación en el XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente en la ciudad de Huaraz.



Facultad de Ciencias de la  
Universidad Nacional "Santiago  
Antúnez de Mayolo" (UNASAM)

Lima 20 de Octubre del 2017.

Estimados Señores  
**Daniel Marcelo Aldana**  
**Antonio Peralta Talledo**

Reciban mi cordial saludo siendo grato comunicar a ustedes que se ha recepcionado el resumen y la ponencia presentada con un tema de interés y compatible con la temática del próximo SPEAS a realizarse en la ciudad de Huaraz, entre los días 13 y 17 de Noviembre, con el nombre de :

4	<a href="mailto:daniel.marcelo@udep.pe">daniel.marcelo@udep.pe</a>	<b>ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA USUARIOS COMERCIALES EN LA REGIÓN PIURA</b>	Universidad de Piura, Departamento de Ingeniería Mecánica Eléctrica. Laboratorio de Energía
4	<a href="mailto:antonio.peralta.ime@gmail.com">antonio.peralta.ime@gmail.com</a>		

Por lo que en opinión de la Coordinación del Comité Científico-APES, le comunicamos que cuenta con la aprobación para su presentación.

Igualmente se le informa que de no participar presencialmente en su exposición, elimina la edición de la ponencia en las memorias del evento.

Esperando tenerlo presente en esta magna reunión anual de la Asociación Peruana de Energía Solar y el Ambiente .es propicia la ocasión para reiterarle mi cordial saludo.

Atentamente.



*Coordinador Comité Científico SPEAS*

Asociación Peruana de Energía Solar y del Ambiente (APES), Av. Túpac Amaru 210 Of. B1-260, Lima 25 –  
Lima; Perú; Casilla Postal: 31-139; Tel/Fax: 01-3821058; [contacto@perusolar.org](mailto:contacto@perusolar.org); [crivasplata@perusolar.org](mailto:crivasplata@perusolar.org)  
[www.perusolar.org](http://www.perusolar.org)