

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS SÓLIDOS**  
**MUNICIPALES EN EL DISTRITO DE FERREÑAFE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**  
**INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**ANTONIO JOSE BARANDIARAN MEOÑO**

**ASESOR**

**DANNY ADOLFO BUSTAMENTE SIGUEÑAS**

<https://orcid.org/0000-0001-9166-8169>

**Chiclayo, 2022**

# **VALORIZACIÓN ENERGÉTICA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES EN EL DISTRITO DE FERREÑAFE**

PRESENTADA POR:

**BARANDIARAN MEOÑO ANTONIO JOSE**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR:

Maximiliano Arroyo Ulloa

PRESIDENTE

Diana Peche Cieza  
SECRETARIO

Danny Adolfo Bustamante Sigueñas  
VOCAL

## **Agradecimientos**

A Dios, a mis padres y a mi asesor (Danny Bustamante Sigueñas), por la oportunidad para desarrollarme intelectualmente en el campo de la ingeniería, por el ejemplo y consejo que me guiaran por el resto de mi carrera.

## Índice

<b>Resumen.....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>5</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>6</b>
<b>Revisión de literatura .....</b>	<b>7</b>
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>9</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>10</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>25</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>25</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>26</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>28</b>

## Resumen

El presente trabajo teórico fue desarrollado para el Distrito de Ferreñafe, el problema vigente en dicho distrito fue la inadecuada gestión de los residuos sólidos por parte de la municipalidad; como evidencia se muestra que la disposición final de los residuos sólidos municipales excede la capacidad máxima del botadero municipal, por lo tanto, el exceso termina en sembríos y zonas cercanas a la población. La metodología utilizada para la investigación consta de archivos provenientes de la municipalidad, específicamente, sobre la gestión de los residuos sólidos, además, de artículos científicos referentes a la investigación, no fue posible la utilización de datos experimentales debido a los acontecimientos ocurridos en el año 2020. El objetivo del trabajo fue desarrollar un diseño de planta de energía eléctrica renovable para brindar valorización energética a los residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe. Como resultados de los objetivos planteados se determinó una creciente en la producción de basura del año 2019 al 2039, (año en el que termina la vida del proyecto), de un aumento del 65% aproximadamente, además, de la valorización de los residuos orgánicos se obtuvo aproximadamente 732 MW/h, un diseño de planta aproximadamente de 2 hectáreas. Con fin de concretar el desarrollo del proyecto, se deberá buscar ayuda técnica para determinar correctamente los cálculos de instalación, costo de la planta, y finalmente datos experimentales de microbiología para determinar un inóculo adecuado para maximizar la eficiencia del biogás.

**Palabras claves:** Valorización, residuos, energía, biogás, planta.

### **Abstract**

This theoretical work was developed for the District of Ferreñafe, the problem in force in that district was the inadequate management of solid waste by the municipality; evidence shows that the final disposal of municipal solid waste exceeds the maximum capacity of the municipal dump, therefore the excess ends in sembríos and areas close to the population. The methodology used for research consists of archives from the municipality, specifically, on the management of solid waste, in addition to scientific articles relating to research, it was not possible to use experimental data due to the events that occurred in 2020. The objective of the work was to develop a renewable power plant design to provide energy recovery to municipal solid waste in the Ferreñafe district. As the results of the objectives set, a growth was determined...

**Keywords:** Valuation, waste, energy, biogas, plant.

## Introducción

Perú presenta un gran problema de gestión de residuos sólidos en muchos departamentos. Según el sistema nacional de información ambiental (SINIA, 2017) [1], Lima y Lambayeque generaron alrededor de 2 172 446,9 t y 213 775,7 t de residuos sólidos municipales (R.S.M.) al año. Ferreñafe por su parte cuenta con una población de 48 407 habitantes y una generación per cápita de residuos sólidos de 0,61 kg/hab/día, con un valor de 29,528 t/día. Sin embargo, el botadero municipal de la provincia de Ferreñafe cuenta con una capacidad máxima de 21t/día, existiendo un exceso de aproximadamente 8,528 t/día proveniente solamente del distrito de Ferreñafe. Al mismo tiempo, al botadero provincial, ingresan los residuos provenientes de los distritos de Mesones Muro y Pueblo Nuevo, cuyo valor total de ingreso es de 11,932 t/día, evidenciándose otro exceso a la capacidad máxima del botadero. A pesar de esto, una parte de la generación de los residuos sólidos, provenientes del distrito de Ferreñafe son dispuestos en zonas urbanas o de sembrío. Se identificaron 5 puntos críticos donde se disponen los residuos sólidos: Alrededores del Museo Sicán, Alrededores del Restaurante La Posada de Sicán, Alrededores del Instituto Tecnológico Enrique López Albuja, Mercado Santa Lucia y el Botadero Municipal de la Provincia de Ferreñafe, además se utilizó una matriz de importancia para determinar la severidad de la basura en función al ambiente que lo rodea, arrojando como resultado un riesgo significativo. (Ver Anexo 1). Con respecto a lo mencionado surge la pregunta ¿De qué manera la valorización energética de los residuos sólidos municipales contribuye con el distrito de Ferreñafe? Para esta investigación se planteó como objetivo general, diseñar una planta de energía eléctrica renovable para brindar valorización energética a los residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe, los siguientes objetivos específicos son: Cuantificar los residuos sólidos municipales , Calcular el valor energético de los residuos sólidos municipales , Diseñar una planta de energía eléctrica renovable a partir de los residuos sólidos, Realizar un estudio económico-financiero del proceso de generación de energía eléctrica renovable. La finalidad del proyecto consiste en la producción de energía eléctrica a partir de la basura orgánica producida por la población, sin embargo, existen muchos limitantes, dado que la investigación no cuenta con datos experimentales propios, por lo que los resultados pueden ser tema de discusión, para futuras investigaciones.

## Revisión de literatura

Reyes, Edwin [2], en su investigación titulada: "Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos", en la que presentó como problema la deficiente gestión de residuos sólidos en Nicaragua, cuya consecuencia en la creación de focos infecciosos, cuya consecuencia directa fue enfermedades por exposición directa a los pobladores y graves impactos ambientales por la putrefacción del material orgánico. Como objetivo general buscaban evaluar el potencial energético generado por diferentes residuos sólidos, minimizar los impactos ambientales y mejorar la calidad de vida de la población. La metodología usada en la investigación inició con definición de los objetivos de la revisión bibliográfica, búsqueda de información, criterios de selección bibliográfica, organización de la información y por último redacción del artículo. Como resultados se obtuvieron: el biogás representa un 50- 70% del potencial calorífico del gas natural, lo que significa aproximadamente 16 500 KJ/Kg- 21 000 KJ/Kg de biogás. Además, con el uso de tecnologías los biodigestores anaerobios, se redujo la contaminación que genera los residuos expuestos a cielo abierto.

Pérez, Valencia, Rubiano, Feo y Cuellar, [3] en su investigación "Energía de la basura", en Colombia presento un problema grave con el manejo de sus residuos sólidos, debido a que la basura no tuvo un tratamiento en la disposición final, por lo tanto, está fue acumulada provocando alteraciones medioambientales y perjudicando a la salud de la población. Como objetivo general se planteó Realizar un estudio técnico económico de la utilización de los residuos sólidos urbanos como fuente de energía térmica. La metodología usada en la investigación empieza con la recopilación de información sobre la generación de toneladas diaria de basura producida, cuantificación de los residuos sólidos municipales, reutilización de los residuos sólidos. Los resultados esperados fueron positivos, se estima que alcancen las 209 t/mes de basura en la recolección, a su vez se determinó el porcentaje y PCI del tipo de residuos, material orgánico 65,4% (PCI en Kcal/Kg= 5 543), papel y cartón 4,5% (PCI Kcal/Kg= 3 556) y plástico 7,1% (PCI en Kcal/Kg =5 543), además se determinó el PCI promedio de la investigación la cual será hasta el 2020 de 5 506,6 Kcal/Kg.

Ortiz [4] , en su investigación titulada "*Diseño de una central eléctrica de biomasa conectado a la red eléctrica puno, en el cerro de Cancharani-departamento de puno*", explica que Puno tiene un problema con el manejo de los RSM, y de esta manera contribuyen con los gases de efecto invernadero. El objetivo general del proyecto fue diseñar una central eléctrica de biomasa conectada a la red, mediante la combustión de biogás procedente de los RSM. Como metodología aplicada, inicio con el estudio de la biomasa, obtención del biogás, ubicación del proyecto, análisis de la tecnología de vertedero y finalmente el cálculo de la obtención de biomasa-energía eléctrica. Los resultados esperados se obtuvieron aproximadamente  $131\ 356\text{m}^3/h$  de metano con una eficiencia del 70%, además la planta tendrá una producción de 65KW en potencia continua.

Araiza, Chávez y Moreno [5], en su investigación titulada "Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, México" explican que la generación de residuos sólidos urbanos está en constante cambio, como consecuencia de los hábitos alimentaciones que se incorporan y renuevan cada año, esto genera un desafío en las municipalidades encargadas de la recolección y disposición final de estos. El objetivo de la investigación fue cuantificar los residuos sólidos generados en la municipalidad de Berriozábal. Como metodología aplicada, inicio con la descripción del área de estudio, recopilación previa

de información en la municipalidad (entrevistas, etc.), selección de muestras y por último el procedimiento de recolección y análisis de los residuos. Como resultados obtuvo una generación per cápita de 0,61 kg/hab-día y una generación de 32,24 t/día.

Widiarti y Sugiarto [6] en su investigación “Designing of Municipal Solid Waste (MSW) treatment plant in Onggomertan Village, Yogyakarta”, explica que existe un problema de gestión de residuos sólidos en Onggomertan, y su disposición final fue vertida cerca de los ríos, produciendo contaminación al agua y problemas de salud a los ciudadanos. La solución fue calcular la generación y composición, además de diseñar una planta de tratamiento de residuos sólidos, con la finalidad de reducir el impacto que genera la disposición de los residuos cerca de los ríos. Los datos obtenidos fueron una generación per cápita de 0.706 kg/hab.día, composición de los residuos, 22,85% de residuos orgánicos, 21,859% de plásticos, 14,101 % de papel, etc.; para el diseño de la planta, un área disponible de 426 m<sup>2</sup>. Los datos para el diseño de la planta tuvieron una reducción total de la contaminación causada por los residuos sólidos vertidos en los ríos.

Romero; Melitón; Gonzales; Tejeda, López, y Ortiz [7] , en su investigación titulada: “Biogás como una fuente alternativa de energía primaria para el Estado de Jalisco, México”, México utilizó el 91,31% de combustibles fósiles para la generación de eléctrica, el resto provino de fuentes renovables. Sin embargo, México no cuenta con una extracción alta de combustibles fósiles, por lo que solo puede satisfacer un 76,4% de la demanda energética del Estado. Como objetivo general, la investigación buscó analizar los beneficios energéticos y económicos de la instalación de biodigestores y rellenos sanitarios con la finalidad de transformar el biogás en energía eléctrica. La metodología inició con la selección de los estados de México con mayor ingreso de PIB nacional, análisis del biodigestor, Análisis del relleno sanitario usando Modelo Mexicano de biogás versión 2.0 y finalmente la evaluación financiera. Los resultados obtenidos fueron: Potencia instala total es de 96,9 MW, anualmente de 848.84 GWh, lo que representara el 7.10% de demanda en Jalisco; además se mitigara un 0.388t de dióxido de carbono por habitante.

Vera, Estrada, Reyes y Soriano [8], titulada: “Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: residuos sólidos urbanos”, en la cual tienen como problema el ineficiente control de los tiraderos a cielo abierto, en la República Mexicana, el estado de Michoacán expresó que el 60% de su disposición final no es controlada. Esto afecta el paisaje, riesgos ambientales (agua, aire y tierra), focos infecciosos productos de la descomposición de la basura, y fue causa de enfermedades. Como solución a este problema, la idea de la investigación fue la creación de rellenos sanitarios capaces de controlar los lixiviados y de atrapar el biogás, con la finalidad de producir energía eléctrica. Los resultados esperados fueron la disminución de 268 413 t de dióxido de carbono, reducción de 17,166 metros cúbicos de metano, producción energética de 86MW y un ingreso total de \$19 768 743 dólares y un costo de \$6 025 642 dólares, evidenciándose el beneficio tanto ambiental como económico.

### **Valorización energética de los residuos sólidos municipales.**

Castells y Borda [9], define a la Valorización energética, como la obtención de bioenergía a partir de la biomasa mediante transformaciones energéticas. Castells clasifica a la valorización energética en: la conversión vía metanización es la transformación de los RSM en estado de putrefacción a gas metano para su posterior aprovechamiento (valorización). Esta se divide en metanización húmeda y metanización seca. La valorización por medio de la pirolisis es un proceso incompleto, similar a la gasificación, que tiene como cualidad, la caracterización y el nivel de la temperatura, y como producto de esto se obtienen tres fracciones la sólida (coque),

liquida y gaseoso (gas pirolisis). La posibilidad de gasificación es un proceso de oxidación parcial (en condiciones de alta temperatura), donde la gasificación sufre un cambio y se convierte en un gas síntesis, y por último, La incineración, es el proceso final de desprendimiento de calor, donde un combustible reacciona a un comburente. En la valorización energética de los residuos sólidos, la incineración para la obtención de energía eléctrica es muy usada, sin embargo, pocas son las medidas usadas para controlar la liberación de dióxido de carbono.

### **Residuos sólidos Municipales.**

Sedesol [10], define como los desperdicios provenientes de las actividades de toda una comunidad, los cuales son gestionados por una entidad gubernamental (municipalidad provincial).

Se clasifican en, residuos sólidos orgánicos, hacen referencia a todo material que generalmente tienden a descomponerse en periodos cortos, forman parte de transformaciones de los combustibles fósiles, residuos sólidos inorgánicos, también conocidos como no biodegradables, provienen de la extracción de recursos minerales, y por último los residuos sólidos peligrosos son todos los desechos provenientes de productos tóxicos, radiactivos, biológicos o infecciosos. Tienen tres características, la humedad oscila entre un 25% -60%, el mayor aporte de humedad esta proporcionada por el material orgánico y la menor por el resto de materiales presentes en los RSM, la humedad en los procesos de recuperación energética tienen un gran valor; el peso específico indica que la densidad de las composiciones de los residuos sólidos municipales es clave, pues de esta manera se puede determinar los materiales que serán utilizados para su valorización energética; y por último la granulometría especifica las características físicas de los RSM que se deben tener en cuenta para su recolección y transporte

### **Planta de energía eléctrica renovable.**

Gonzales [11], existe una diferencia entre la energía verde y la energía renovable, la primera se define como la obtención de energía limpia a partir de recursos renovables, sin embargo, no todos los recursos renovables pueden ser definidos como verde, y la segunda, son todos aquellos recursos renovables usados para la producción de energía, no obstante, estos procesos generan contaminación en bajas escalas.

Santiago, Ramirez [12], los tipos de energía verde y renovable son la Energía eólica, la energía Solar, la energía mareomotriz, la energía fluvial, y finalmente, la energía de la biomasa considerada como energía renovable.

Una planta de energía eléctrica renovable se define como una industria que aprovecha los residuos renovables, los cuales pueden ser residuos sólidos municipales; con la finalidad de su transformación en energía eléctrica.

### **Materiales y métodos**

Para la realización del primer objetivo se hizo una pequeña descripción del área de estudio, posteriormente se estableció la cantidad de población, generación per cápita y la producción de residuos sólidos municipales generados por día (2019). Una vez establecidos las variables que serán útiles para realizar el cálculo de proyección de la población y la generación per cápita, se procede a determinar la cantidad de residuos que se producirán durante la vida útil del proyecto, de este modo nos aseguramos la viabilidad del proyecto en función al crecimiento de producción. Ver Anexo 2.

Para el cálculo del valor energético de los residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe, se utilizó la metodología de Moratorio, Rocco y Castelli [13], la cual inicia con la composición fisicoquímica y características de los residuos sólidos, en este punto se utilizara la

información previa recolectada, luego se determinara el poder calorífico de los residuos sólidos, en este punto se utilizara documentación que hable sobre el potencial calorífico, posteriormente se determinó el residuo con mayor potencial calorífico, adicional a la investigación, se determinó el mejor sistema de transformación en función al residuo escogido y al panorama nacional, se utilizó libros y documentación bibliográfica.

Para el diseño de la planta de energía eléctrica renovable a partir de los residuos sólidos en el distrito de Ferreñafe, se utilizó parte de la metodología de Carrasco [14], la cual inicia con el diagrama de proceso, el balance de materia, dimensionamiento de equipos la distribución de la planta y finalmente el diseño de planta. Para ello se tomó en cuenta parte del dimensionamiento de la maquinaria, el resto se obtuvo de bases de investigación y catálogos en línea. Una vez obtenida la información se calculó el tamaño de la planta a través del método Guerchet. El siguiente paso fue organizar las áreas a través de una matriz de relaciones. Esta información sirvió para realizar los planos en 2D a través del software AutoCAD.

Para el estudio económico- financiero, se utilizó diversas fuentes de investigación y catálogos en línea para obtener las maquinarias y equipos necesarios para la planta, de esa forma se obtuvo los diversos costos, además se contó con una asesoría brindada por un alumno de Ing. Civil, el cual ayudo a determinar los costos de infraestructura de la planta. Una vez obtenida la información, se determinó la inversión que se utilizara para el proyecto, debido a que el proyecto es para una municipalidad no se tendrá en cuenta el financiamiento por parte de alguna entidad privada, se calcularos los valores del VAN (valor actual neto, TIR (tasa interna de retorno), la ratio beneficio/costo y por último el PIR (periodo de recuperación de la inversión).

## Resultados y discusión

### Residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe.

La ciudad de Ferreñafe está ubicada al Noroeste del Perú, en el departamento de Lambayeque., geográficamente se ubica en la parte central y oriental. Ferreñafe tiene una población de 48 407 habitantes, con una producción per cápita de residuos sólidos por habitantes de 0,61 .

El municipio tiene con función determinar la cantidad de residuos que se produce en el distrito de Ferreñafe como plan de la ley de residuos sólidos municipales. Aproximadamente el Distrito de Ferreñafe genera 29,52 t de residuos sólidos municipales al día.

**Tabla 1. Generación de los RSM en el distrito de Ferreñafe**

Generación Total (t/día)	
Generación domiciliaria	22.25
Generación no domiciliaria	7.23
Generación especial	0.048
<b>Total</b>	<b>29,528</b>

**Fuente:** Municipalidad Provincial de Ferreñafe.

A la fecha 2019, el distrito de Ferreñafe cuenta con una población de 48 407 hab, para el cálculo de la proyección de la población se aplicó la siguiente formula:

$PF = Pi * (1 + r)^n$ , donde PF (proyección de la población), Pi (población inicial), r (tasa de incremento anual inter-censal (INEI), y n (número de años que se desea proyectar a la población).

$$PF = Pi * (1 + r)^n$$

$$PF = 48\ 407 * (1 + 1.15\%)^{20}$$

$$PF (2039) = 60\ 846\ hab$$

La nueva proyección per-cápita, se estimó en función al modelo de proyección geométrica usada para determinar la proyección de la población. Donde **PPC**= producción per cápita, **PPCi**= producción per cápita inicial, **c**= tasa de incremento per cápita. **n**= numero de años de proyección.

$$PPC = PPCi * (1 + c)^n$$

$$PPC = 0.61 * (1 + 1\%)^{20}$$

$$PPC = 0.74\ kg/dia$$

$$Generacion\ de\ los\ RSM\ (2039) = 60\ 846 * 0,74\ kg/dia$$

$$Generacion\ de\ los\ RSMP\ (2039) = 46\ 851\ kg/dia$$

$$Generacion\ de\ los\ RSM\ (2039) = 46,851\ t/dia$$

Se tomo en cuenta un periodo de 20 años para el cálculo, para el año 2039 el distrito de Ferreñafe contara con una población de 60 846 hab. Para el 2039, el distrito de Ferreñafe generara 46,851 t/día de basura.

### **Valor energético de los residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe.**

Se tomó la estimación del proyecto, los cuales contaron con un 78,91% de residuos orgánicos, 2,89% de vidrios, 8,27% de plásticos, 2,25% de metales, residuos y un 5,84 % de residuos no aprovechables.

**Tabla 2.** Características de los residuos sólidos municipales.

<b>Residuos sólidos municipales.</b>	
<b>Tipos de residuos</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Residuos orgánicos	78,91
Vidrio	2,89
Plásticos	8,27
Metales	2,25
Residuos no aprovechables	5,84

**Fuente:** Elaboración Propia

Para efecto del cálculo de la masa de los moles (Ver Anexo 3).

Moratorio, Rocco y Castelli [13], indica que la composición química de los residuos sólidos esta brindada por Dirección Nacional de Medio ambiente, y determina el porcentaje de C, H, O, N, S, y cenizas.

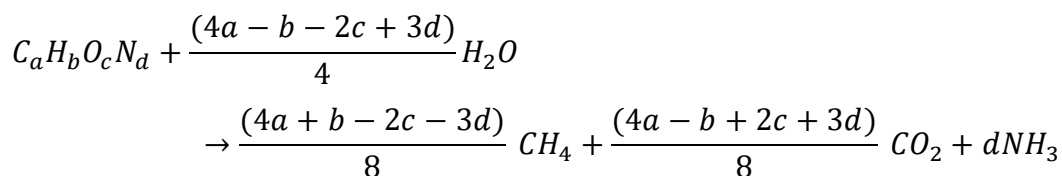
**Tabla 3. Composición química de los residuos sólidos orgánicos.**

Componente	Composición Física %*	Análisis del componente %**			
		C	H	O	N
Materia orgánica	63,73%	48,00%	6,40%	37,60%	2,60%
Cartón	11%	44,00%	5,90%	44,60%	0,20%
Papel	4,41%	43,50%	6,00%	44,00%	0,20%

**Fuente:** \* Municipalidad de Ferreñafe

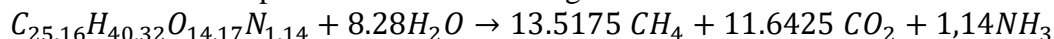
\*\*Moratorio, Rocco y Castelli

Obteniendo el análisis de componentes, se utiliza el cálculo propuesto en el libro de Castell el cual consiste en determinar la cantidad de metano que se puede producir, se muestra la siguiente ecuación.



En la ecuación se deben determinar ciertos coeficientes que servirán para calcular la cantidad de metano, el procedimiento fue el siguiente. Se calcula la masa del análisis de componente y moles por componente. (Ver anexo 2).

Como resultado de la operación se obtiene la siguiente formula:



Según el resultado, se indica que por un kilogramo se obtienen 4,14  $CH_4$ . Por lo tanto, se obtiene con ese dato el volumen de producción de gas, utilizando la ley ideal de gases.

$$PV = nRT$$

$$1atm * V = 13.5175 \text{ mol de } CH_4 * 0.0821 \frac{atm * L}{mol * K} * 298,15K$$

$$V = 330,87 \text{ L de } CH_4 \text{ de un kilogramo de RSM}$$

$$V = 6\,226\,375,98 \text{ L de } CH_4 \text{ por dia}$$

$$V = 186\,791\,279,434 \text{ L de } CH_4 \text{ por mes}$$

$$V = 2\,241\,495\,353,206 \text{ L de } CH_4 \text{ por año}$$

Utilizando un modelo matemático para la producción de energía eléctrica a partir de biogás, se calcula el potencial energético.

$$PE_{RSOU} = M_{RSOU} * FO * FCB * FCM * \frac{16}{12} * PCI_{CH_4}$$

$$PE_{RSOU} = 10\,774,8 \left(\frac{t}{\text{año}}\right) * 0,6373 * 0,48 * 0,126675 * \frac{16}{12} * 0,016111 \text{TJ/t}$$

$$PE_{RSOU} = 1,59966 \text{ TJ/año}$$

$$\text{Conversion} = \text{kwh} - 3\,600\,000 \text{ J}$$

$$PE_{RSOU} = 444\,350 \text{ kWh/año}$$

$$PE_{RSOU} = 44,4350 \text{ MWh/año}$$

Camacho, Villada y Hoyos [14], el estiércol aporta un 65% más de producción de energía eléctrica, por lo tanto, el resultado final del potencial energético sería:

$$PE_{RSOU} = 732\,600 \text{ kWh/año}$$

### **Planta de biogás-energía eléctrica.**

Carrasco [15] en su investigación, utiliza un proceso de producción basada en la obtención de energía eléctrica a partir del biogás, la investigación une el diagrama de proceso de la municipalidad (gestión de residuos), con la investigación de Carrasco:

**Recolección.** Inicia con el plan de recolección diaria de los compactadores.

**Pesado.** Realizada la recolección se pesan los compactadores para registrar las cantidades de ingreso.

**Recepción.** Los compactadores llegan a la planta para la disposición de los residuos.

**Clasificación.** La clasificación de los residuos se realiza de manera manual con los EPP adecuados.

**Pasteurización.** Luego de moler los residuos, este pasa por una pasterización para eliminar los agentes competidores.

**Molienda y transporte.** Se utiliza un molino rotativo que reducirá el tamaño del material orgánico para maximizar el rendimiento de biogás.

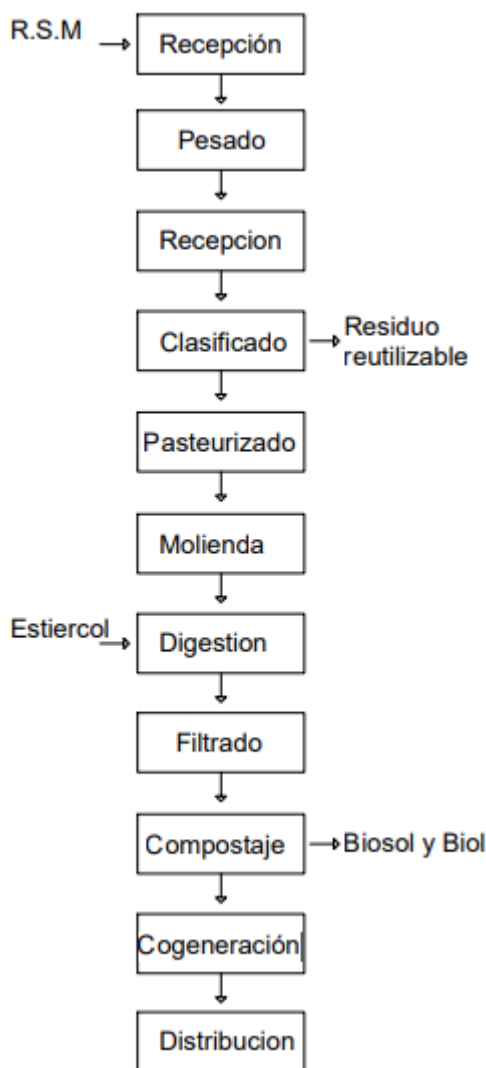
**Digestión.** Se utiliza un biodigestor de alta capacidad donde se desarrollarán las reacciones químicas.

**Filtración.** Se utilizan mecanismos de filtración para retener los subproductos sólidos.

**Compostaje.** La separación de los subproductos trae consigo beneficios como el biol y biosol, sin embargo, se debe tener cuidado con la composición.

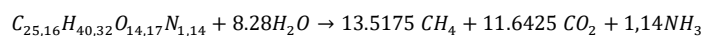
**Cogeneración.** Se utilizan motores de combustión interna el cual transforma por medio de energía calorífica el gas a energía eléctrica.

**Distribución.** Se entrega la energía producida a la red nacional, para su distribución.



**Figura N° 1 Diagrama de Bloques de la planta de biogás-energía eléctrica.**  
Fuente: Elaboración propia.

### Balance de masa de los residuos sólidos a condiciones ideales.



#### Reacción 1.

$$29\ 843\ 450\text{g de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14} * \frac{8.28 * \text{peso molecular del agua}}{\text{peso molecular de RSM}}$$

$$29\ 843\ 450 * 365\text{g/año de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14} * \frac{8.28 * 18\text{gH}_2\text{O}}{1\text{g } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}}$$

$$154\ 196\ 940,76\ \text{g de } H_2O$$

#### Reacción 2.

$$29\ 843\ 450 * 365\text{g/año de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14} * \frac{1\ \text{mol de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}}{584,92\ \text{g de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}} * \frac{11,6425\ \text{mol de } CO_2}{1\ \text{mol de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}} * \frac{44\text{g de } CO_2}{1\ \text{mol de } CO_2}$$

$$9\ 539\ 911\ 454,55\ \text{g de } CO_2$$

**Reacción 3.**

$$29\ 843\ 450 * 365\text{g/año de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14} * \frac{1\ \text{mol de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}}{584,92\ \text{g de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}} * \frac{1,14\ \text{mol de } NH_3}{1\ \text{mol de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}}$$

$$* \frac{17\ \text{g de } NH_3}{1\ \text{mol de } NH_3}$$

**360 910 230,91 g de NH<sub>3</sub>**

**Reacción 4.**

$$29\ 843\ 450\text{g de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14} * \frac{1\ \text{mol de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}}{584,92\ \text{g de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}} * \frac{13,5175\ \text{mol de } CH_4}{1\ \text{mol de } C_{25,16}H_{40,32}O_{14,17}N_{1,14}} * \frac{16\ \text{g de } CH_4}{1\ \text{mol de } CH_4}$$

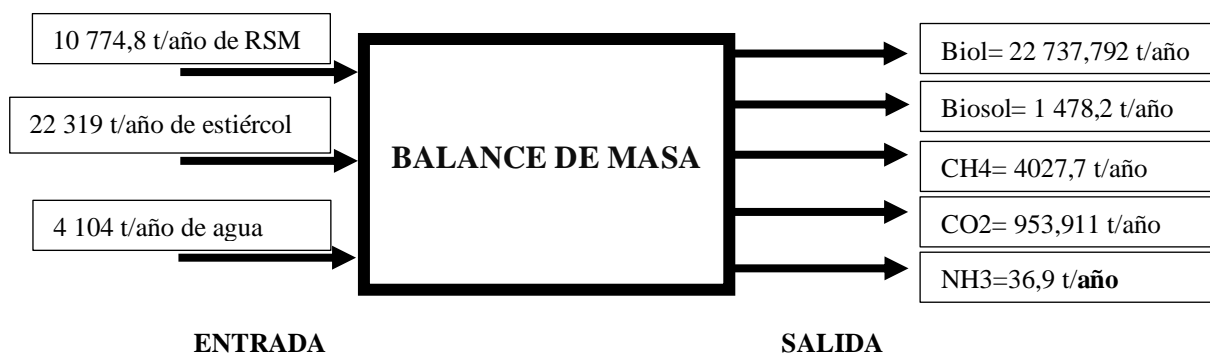
**4 027 743 278,72g de CH<sub>4</sub>**

Camacho, Villada y Hoyos [14], se necesitará un inóculo que acelere el proceso de metanización de los residuos (Evaluación del Estiércol de Vaca como Inóculo en la Digestión Anaerobia Termófila de Residuos Sólidos Urbanos), la cual indica que progresivamente el estiércol de vaca genera una aceleración en la producción de biogás durante las primeras dos semanas, sin embargo, la caída de biogás después de esas dos semanas es muy repentina, debido al aumento de ácidos grasos provenientes del estiércol. Al ser el proyecto teórico, se escoge dicho inóculo, ya que realizar un cultivo y acondicionamiento del inóculo para determinar su eficiencia eficiente, debería realizarse de manera experimental. Por ello, se considera una entrada de 22 319 t/año de estiércol y 4 104 t/año de agua.

Virginia, García [16], indico que los subproductos de los biodigestores son el biol y biosol de este compuesto, el cual representa el 90,11% de la salida total de la carga, y este se divide en un 92,65% y 7,35% de los subproductos.

**Resumen del balance de masa.**

El resumen muestra las salidas de los residuos sólidos orgánicos, estiércol y agua.



Realizado el cálculo de valorización energética, el diagrama de proceso que tendrá la planta y el balance de masa, se procede a realizar una comparación de los sistemas en los cuales se realizará dicha obtención de energía, según Castell, los más usados son: sistemas de Biometanización, sistema pirolisis y sistema de gasificación.

**Tabla 4. Comparación de los sistemas de valoración energética de los RSM**

Sistemas de valorización*	Factores de comparación**				
	Tecnología	Inversión	Uso	Mantenimiento	Ambiental
<b>Incineración</b>	Dificultad de operación (mano de obra especializada)	Los costos se elevan para evitar la contaminación por emisiones.	Es el más usado por las municipalidades	Constante por el tipo de máquinas usadas	Si no cuenta con depuradores de emisiones, presenta un gran riesgo ambiental.
<b>Pirolisis</b>	No se desarrolla plantas a gran escala	Costos elevados, y con dudosa recuperación	La complejidad y falta de investigación genera desconfianza en su implantación	Altos costos en mantenimiento	Control de las escorias y subproductos.
<b>Gasificación</b>	Requiere de mayor energía, dependiendo al producto.	Costos elevados, y con dudosa recuperación	La complejidad y falta de investigación genera desconfianza en su implantación	Altos costos en mantenimiento	Control de los subproductos.
<b>Biometanización</b>	Mano de obra especializada, instalaciones a gran escala.	Costos elevados, recuperación en poco tiempo	Su uso es rural, sin cálculos ingenieriles	En promedio el mantenimiento de la maquinaria es mensual, pero de los digestores tiene un promedio anual.	Reducción de metano, pero control en lo subproductos que intervienen en la digestión.

Fuente: \*Tangari y Wilson [17]

\*\* Steinvorth [18]

La elección más conveniente para el Distrito de Ferreñafe sería el sistema de valorización-Biometanización y esto es debido a los factores que se enuncian en la tabla, por otro lado, existe un proyecto de ley para la construcción de plantas de biogás, lo cual facilitaría su implementación a futuro. Adicionalmente, Osinergmin [19], indica que Perú, es uno de los países con mejores condiciones climatológicas para la implementación de sistemas energéticos renovables, sin embargo, el poco estudio sobre estas dificulta su investigación. Perú tiene un proyecto de ley (2018), para la edificación de plantas de biogás que está en proceso de aprobación.

Y. Olaya y L. Gonzales [20], elegido el sistema de valorización energética, se procede a realizar una comparación de los modelos de biodigestores para su elección.

**Tabla 5. Tipos de biodigestores**

Tipos de biodigestor	Descripción	Ventajas y desventajas.
<b>Biodigestor con cúpula campana flotante</b>	Es una estructura construida de concreto o mampuestos de forma campanada móvil, abastecimiento continuo de biogás. Único biodigestor con un contenedor de biogás en su interior.	Fácil manejo y periodo de vida prolongada. Campana extraíble. Costos altos de inversión y mantenimiento.
<b>Biodigestor Con cúpula campana fija</b>	Es una estructura de concreto subterránea, tiene una campana fija inmóvil, producción de gas constante para liberar la presión de gas.	Vida útil de 20 años, la construcción debe ser muy detallada. La presión del gas podría causar grietas, costos de construcción más bajos que el de campana flotante.
<b>Biodigestor balón o tubular</b>	Es una estructura en forma de balón compuesta por material plástico, se divide de un 75% material fermentable y el 25 % es biogás.	Fácil transporte, instalación sencilla, menor costo de construcción y operación. Baja presión de gas, vida útil corta y cuidados con el medio.

Fuente: Y. Olaya y Gonzales [20]

La elección apropiada para el distrito de Ferreñafe sería el de balón o tubular, debido a la facilidad de manejo de la instalación y operación, estos factores reducen en gran medida los costos de construcción, debido a que no se necesitara mano de obra especializada en edificaciones de biodigestores de gran escala.

Para los cálculos del volumen del biodigestor, el tiempo de retención será de 28 días, y un ingreso de biomasa de 18 883 t/día, es decir,  $55,4 m^3$  de residuos orgánicos.

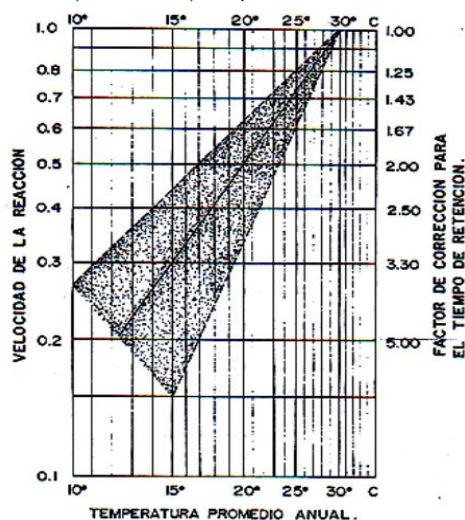


Figura 2: Factor de correlación para el tiempo de retención  
Fuente: Olaya y Gonzales [20]

Para considerar el tiempo de retención en función a la figura 2, tenemos que determinar la velocidad de reacción considerando un tiempo de 10 segundos, y una moralidad inicial de 1 y final de 0 para el metano.

$$\text{Velocidad de reacción} = \frac{\Delta[CH_4]}{\Delta[t]}$$

$$\text{Velocidad de reacción} = \frac{1}{13,5725} \frac{\Delta[1 - 0]}{\Delta[10 - 0]}$$

$$\text{Velocidad de reacción} = 0.39 = 0.4 \text{ moles de } CH_4/\text{seg}$$

El tiempo de retención está dada en función a la temperatura promedio de Ferreñafe (25°C) y su velocidad de reacción, siendo esta de 0.4 mol de CH<sub>4</sub>/ seg, obteniendo lo siguiente:

$$\text{Volumen de diseño} = \text{biomasa diaria} * \text{Tiempo de retencion}$$

$$\text{Volumen de diseño ideal} = 1\,548,2 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen de diseño real} = 1\,548,2 \text{ m}^3 + 0.25 (1\,548,2 \text{ m}^3)$$

$$\text{Volumen de diseño real} = 1\,935,25 \text{ m}^3$$

Realiza la elección del biodigestor, se tiene que tener en cuenta la elección de maquinarias y áreas que intervendrán en el proceso de obtención de gas y energía eléctrica, siguiendo la estructura inicial del proceso mostrado en la Figura, no obstante, se cuenta con la ayuda técnica-simple de un trabajador (anónimo), de Pedro Otoyá construcciones, el cual indicara las mediciones y precios de las áreas mostradas en la tabla 6.

**Tabla 6. Tecnología para el diseño de planta**

Cantidad	Maquinaria y áreas	Dimensiones (l*a)	Precio (\$/.)	Fuente
6	Biodigestor	20 * 15	300000	Cidelsa S. A
5	Motores	1.6 * 2.3	38564	Jenbacher
5	Transformadores	1.6 * 0.8	17500	AMW ELECTRIC S.A.C
5	Triturador	3.6 * 2.3	448501.35	FORREC
5	Fajas transportadoras	10 * 0.8	50000	COVIMAN
18	Motores de succión	0.7 * 0.67	1 247	HONDA
5	Área de recepción	15 * 15	5625	Pedro Otoyá Construcciones
1	Guardianía	8.7 * 4.7	1022.25	Pedro Otoyá Construcciones
1	Patio de maniobra	50 * 30	37500	Pedro Otoyá Construcciones
1	Área de mezcla	25 * 25	15625	Pedro Otoyá Construcciones
1	Acondicionamiento	5 * 3	375	Pedro Otoyá Construcciones
1	Estacionamiento	32.09 *		Pedro Otoyá Construcciones
1	Estacionamiento	12.49	10020.1025	Pedro Otoyá Construcciones
3	Área administrativa	37.2 * 21	19530	Pedro Otoyá Construcciones
1	Pozo	3 * 3	4217.17	SEREGEL CONTRATISTAS GENERALES S.A.C.
2	Baño y ducha	9.7 * 7.7	7469	Pedro Otoyá Construcciones

Fuente: Elaboración propia.

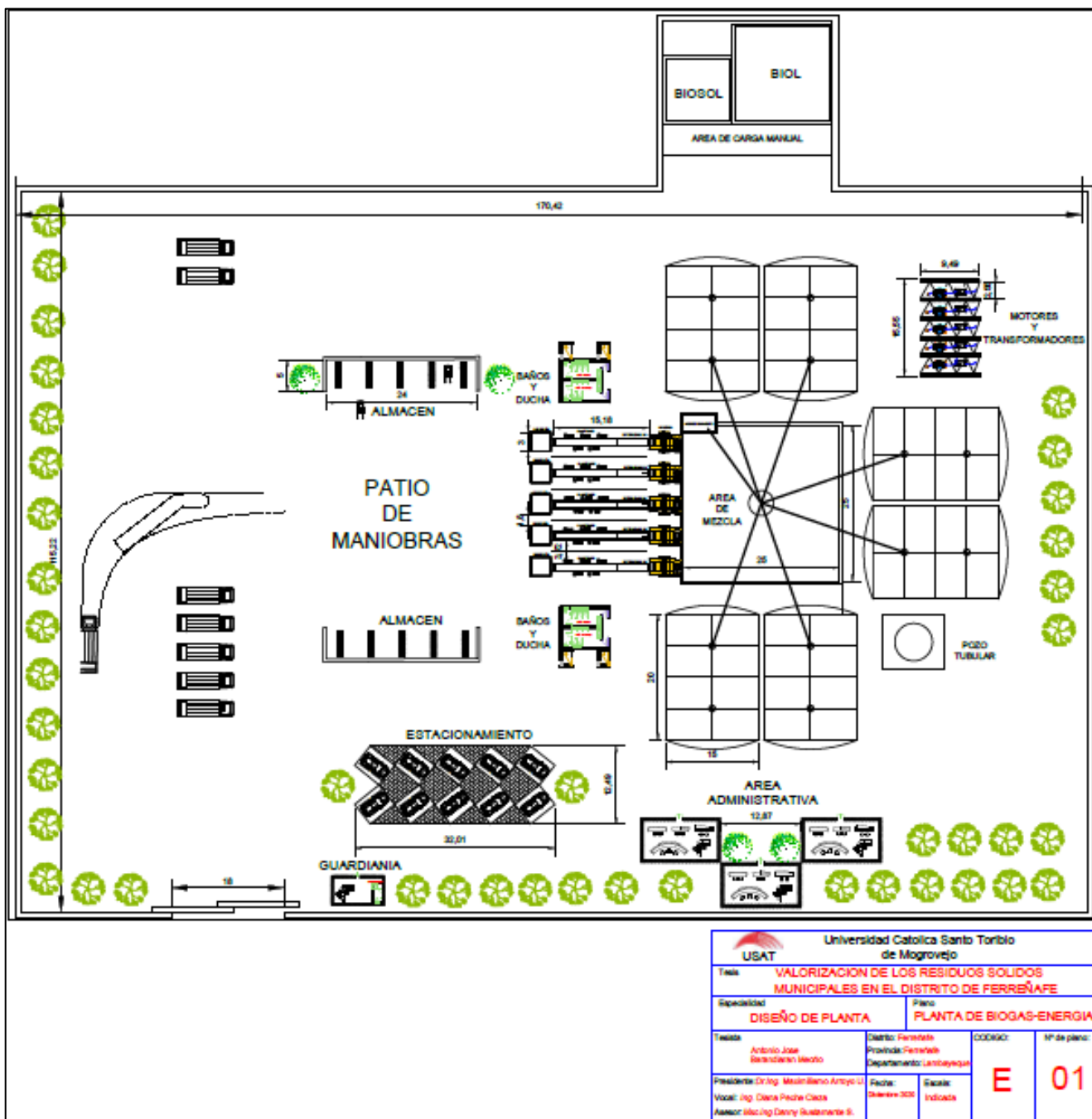
Para el cálculo de las áreas se tomó en consideración el método Guerchet, norma A.060 para edificación industrial, además del proyecto de ley N° 3198/2018-CR. Luego de realizar los procedimientos de cálculos, la medida de las áreas, se visualizan en la tabla, se determinó un área total de 19 635, 8  $m^2$ .

**Tabla 7. Áreas de la planta de biogás -energía eléctrica.**

Áreas	Total ( $m^2$ )
Área de recepción	225
Guardianía	40.89
Patio de maniobra	1500
Área de mezcla	625
Acondicionamiento	15
Estacionamiento	400.8041
Área administrativa	781.2
Pozo	9
Baño y ducha (2 de cada una)	298.76
Áreas verdes (5%)	981.78962
Área de producción	14758.34868
<b>Área total</b>	<b>19635.7924</b>

Fuente: Elaboración Propia.

Teniendo en cuenta la matriz de relación de las áreas mencionadas, se ejecutó el plano en el software denominado AutoCAD, el cual se muestra a continuación. (Ver anexo 3, para la matriz de relación).



**Figura N° 2 Plano 2D de una Planta de BIOGAS-ENERGIA ELECTRICA.**  
 Fuente: Elaboración propia.

### Análisis económico financiero.

Para los materiales directos se tomó en cuenta el estiércol que será utilizado como inóculo del proceso, además del agua que ingresa al área de mezcla, el estiércol tiene un precio de S/.100 y se utilizarán al año 22 319 t/al año y el agua tiene un precio de S/ 7.6 por metro cubico y se utilizarán 4 104,7 metros cúbicos/ al año.

Para los materiales indirectos se comprarán baldes y sacos de 20l y 25 kg de capacidad respectivamente, para los baldes se utilizarán 1 252 989 und con un precio de S/3/und y para los sacos se utilizarán 50 850 und con un precio de S/. 0.5/und

Para los ingresos totales, se producirá 732 600 kWh/año de energía eléctrica con un costo de S/.0.5/kWh/año, es decir, una reducción al costo establecido por la empresa que brinda su servicio en el distrito de Ferreñafe, de la misma forma, para el biol (el contenido de los baldes), se venderá a un precio de S/. 10/ 20l, y el biosol (contenido de los sacos), se venderá a un precio de S/.15/25kg. Cabe recalcar que los precios de biol y biosol están por debajo del resto de empresas dedicadas a la comercialización de estos productos.

En la tabla 8, se muestra los costos y gastos que intervienen en toda la planta.

**Tabla 8. Costos de producción y gastos.**

Ítems	1 año	2 año	3 año	4 año	5 año
Ingresos totales	13660933.9	13660933.9	13660933.9	13660933.9	13660933.9
Costos de producción	6046094.04	6046094.04	6046094.04	6046094.04	6046094.04
<b>Utilidad bruta</b>	7614839.9	7614839.9	7614839.9	7614839.9	7614839.9
Gastos administrativos	329158	329158	329158	329158	329158
Gastos de comercialización	200000	200000	200000	200000	200000
Depreciación	315620.934	315620.934	315620.934	315620.934	315620.934
<b>Utilidad operativa</b>	6770060.97	6770060.97	6770060.97	6770060.97	6770060.97
Gastos financiamiento (intereses)	0	0	0	0	0
<b>Utilidad antes de impuesto</b>	6770060.97	6770060.97	6770060.97	6770060.97	6770060.97
<u>Impuesto a la renta (29,9%)</u>	1997167.99	1997167.99	1997167.99	1997167.99	1997167.99
<b>Utilidad neta</b>	4772892.98	4772892.98	4772892.98	4772892.98	4772892.98

**Fuente:** Elaboración propia.

El capital de trabajo se calculó en base a los costos de producción, gastos administrativos y gastos de comercialización, sin embargo, el capital de trabajo estará tomado de manera mensual S/. 590 473,49.

En la tabla 9, se muestra el costo de la inversión tangible, donde se evidencia el costo de terreno cuyo valor es nulo, debido a que el proyecto es para el municipio de Ferreñafe. Además, al ser un proyecto para la municipalidad, no se cuenta con entidades que brinden financiamiento económico, ni inversionistas.

**Tabla 9. Inversiones**

<b>Descripción</b>	<b>Inversión total (S/.)</b>
<b>CAPITAL DE TRABAJO</b>	590473.49
<b>Inversión tangible</b>	
Terrenos	0.00
Construcciones	592278.33
Infraestructura industrial	0.00
Maquinaria	1012826.35
Equipo de producción	0.00
Equipos de oficina	46042.75
Transporte	46042.75
<b>Total inversión tangible</b>	1697190.18
<b>Inversión intangible</b>	
Estudios	
Gastos pre operativos	10000.00
<b>Total inversión intangible</b>	10000.00
Imprevistos (5%)	114883.18
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	3659575.54
Porcentaje	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

El análisis económico financiero nos muestra una utilidad acumulada del primer año de S/ 1 428 938,38, lo que indica que el tiempo de recuperación de la inversión del proyecto estará en ese año. Por otro lado, se puede indicar que los datos obtenidos tienen una confiabilidad muy baja, debido a que existen un conjunto de dificultades para obtener datos reales, pues las empresas no brindan información a estudiantes. Además, el límite de conocimientos de la carrera dificulta un análisis matemático-estructural de la infraestructura de las instalaciones, por lo que el análisis se ve perturbado.

La investigación muestra una tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) de 17% en relación a la tasa interna de retorno (TIR) cuyo valor es del 65% lo que indica que el proyecto es viable económicamente. Además, el valor actual neto (VAN) debe ser mayor a 0 para representar una viabilidad económica, esta tiene un valor de S/12 620 342. El periodo de recuperación de la inversión (PIR), es de 9 meses aproximadamente. La ratio beneficio/costo (B/C) tiene un valor de 4,7 es decir, por cada S/.1 invertido la empresa gana S/.3.7.

**Tabla 8. Flujo de caja**

Ítems	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
<b>Inversión</b>						
Capital social	3659575.54					
Préstamos a CP y LP	0					
<b>Total inversión</b>	3659575.538					
<b>INGRESOS</b>		13660933.9	13660933.9	13660933.94	13660933.94	13660933.9
<b>TOTAL DE INGRESOS</b>						
<b>EGRESOS</b>						
Costos de producción		6046094.04	6046094.04	6046094.04	6046094.04	6046094.04
Gastos administrativos		329158	329158	329158	329158	329158
Gastos de comercialización		200000	200000	200000	200000	200000
Intereses del préstamo		0	0	0	0	0
Amortización de préstamos		0	0	0	0	0
Depreciación		315620.934	315620.934	315620.9345	315620.9345	315620.934
<b>TOTAL DE EGRESOS</b>		6890872.97	6890872.97	6890872.974	6890872.974	6890872.97
<b>SALDO BRUTO (antes de impuestos)</b>		6770060.97	6770060.97	6770060.968	6770060.968	6770060.97
Impuestos a la renta		1997167.99	1997167.99	1997167.985	1997167.985	1997167.99
<b>SALDO (después de impuestos)</b>		4772892.98	4772892.98	4772892.982	4772892.982	4772892.98
Depreciación		315620.934	315620.934	315620.9345	315620.9345	315620.934
<b>SALDO FINAL (déficit/superávit)</b>	3659575.538	5088513.92	5088513.92	5088513.917	5088513.917	5088513.92
<b>UTILIDAD ACUMULADA</b>	3659575.538	1428938.38	6517452.3	11605966.21	16694480.13	21782994
<b>CORRIENTE DE LIQUIDEZ NETA</b>	-3659575.538	5088513.92	5088513.92	5088513.917	5088513.917	5088513.92

Fuente: Elaboración Propia

VAN	TMAR	TIR	B/C
12,620,342	17%	65%	4.70996607

## Discusión.

Los resultados del primero objetivo revelan que la proyección de la población en los 20 años siguientes es creciente, indicando un aumento de 48 407 habitantes en el año 2019 a 60 846 habitantes en el año 2039, por lo que el índice de generación de residuos sólidos municipales se vería afectado de manera creciente durante ese periodo. En función a la cuantificación, debido a los acontecimientos ocurridos en el año 2020, se determinó realizar los cálculos de proyección previamente mencionados, debido a que el acceso a la recolección de basura y su clasificación se vio truncado por el limitado acceso público en las zonas de disposición final de los residuos. En tal sentido se comprueba lo mencionado con la investigación realizada por Araiza, Chávez y Moreno, en su investigación, recopilaron datos de la municipalidad y realizaron la recolección y clasificación de basura, cuyas muestras fueron llevadas a zonas para su registro y peso del contenido, donde obtuvieron como resultado la cuantificación y por lo tanto se pudieron realizar los cálculos de generación per-cápita obteniendo un resultado de 0,61 kg/hab-día y una generación de residuos sólidos municipales de 32,24 t/día. Cuya evidencia metodológica se ve reflejada en el primer objetivo.

Los resultados del segundo objetivo revelan que de manera ideal los residuos sólidos orgánicos generan una gran cantidad de biogás producto de las reacciones de Biometanización a través del método de digestión anaerobia, además, los datos de composición química de los residuos no están en función a la investigación realizada por la municipalidad, sino que se extrajo de unos autores (Moratorio, Rocco y Castelli). Como manera de aumentar la rapidez de fermentación de los R.S.M, se debe agregar un inóculo proveniente del estiércol de las vacas, debido a que estas presentan bacterias metanogénicas que transforman la biomasa en biogás. En tal sentido, Moratorio, Rocco y Castelli en su investigación demuestra que para realizar una valorización energética, se debe tener en cuenta la composición química de los residuos a utilizar de tal forma en la que se pueda adaptar un sistema que se encargue específicamente del residuo, en su caso usan el poder calorífico de los residuos sólidos municipales para determinar o cuantificar la generación de energía eléctrica resultante, de manera similar la investigación propuesta usa modelos matemáticos para conocer el potencial energético de los residuos sólidos. Camacho, Villada y Hoyos, revelan en su investigación que la aportación del inóculo es de un 65% más de biogás Durante las primeras dos semanas de añadido el estiércol, sin embargo, después de ello dicha producción cae significativamente.

Los resultados del tercer objetivo revelan que el tamaño de planta para valorizar una cantidad considerable de basura (29 t de basura diaria aproximadamente), debe tener aproximadamente un tamaño de 2 hectáreas, además, de la elección del sistema de valorización (en este caso Biometanización) y tipo de biodigestor que se adecue a la realidad de un distrito, por otro lado, al realizar el balance de masa, se identificó que se necesitara una gran cantidad de inóculo para una activación rápida de la metanización en la basura. En tal sentido, Tangari y Wilson , Steinvorth en sus investigaciones comparativa, indican que la mejor opción teóricamente hablando, es el sistema de gasificación y pirolisis, sin embargo cuando revisaron los documentos de empresas que implementaron dichos sistemas, todos arrojaron que los resultados son poco veraces con respecto a su teoría y por lo tanto las ganancias que prometen son poco defendibles, y concluyen, diciendo que la mayoría de estas empresas cerraron sus industrias por esos factores; Carrasco, demuestra que para realizar una planta de cogeneración biogas-energía eléctrica se necesitaran biodigestores, los cuales por la facilidad técnica y manejo son los más asequibles y menos costosos en el momento de su implantación, además, que la energía generada por su planta es de aproximadamente 1MW, considerándola factible

para su construcción, sin embargo, en su análisis el factor transporte puede generar preocupaciones.

Los resultados del cuarto objetivo, revelan que el proyecto es viable, pues con ingresos anuales de S/.13 660 933,9 con un costo de inversión de S/.3 659 575,538, con esto se obtiene un VAN de S/. 12 620 342 y un TIR de 65% en comparación al TMAR del 17%, lo que indica resultados favorables para realizar la inversión. Además, la ratio indica que se ganarían S/3,7 por cada S/1 invertido, además el periodo de recuperación de la inversión esta estimado aproximadamente en los primeros nueve meses del año. Vera, Estrada, Reyes y Soriano, en su investigación indica que los escenarios óptimos económicos arrojan un costo de proyecto de \$ 6 025 642 y un ahorro bruto \$ 19 768 743. Por otro lado, Carrasco, revela en su investigación es factible basándose en los resultados teóricos obtenidos, con un VAN de \$ 807 668 y un TIR de 21%, sin embargo, indica que ciertos factores como lo subproductos obtenidos, los costos de transporte de energía, la logística, etc, no demuestran al 100% la intervención de los costos de inversión correctos, es decir, falta de asesoría técnica de otras carreras.

### **Conclusiones**

El diseño de planta biogás-energía eléctrica representa una opción viable para el desarrollo de muchos distritos que carecen de una adecuada gestión de los residuos sólidos municipales.

A la fecha, 2019 Ferreñafe tuvo una población de 48 407 hab, mientras que para el año 2039 la población será de 60 846 hab, con ello el aumento de la producción de RSM. Finalmente, el aumento de la población beneficiaria el proyecto a largo plazo, aprobando la primera fase del proyecto.

La valoración de los residuos orgánicos debe estar de la mano con un inóculo que beneficie la rapidez de la activación de las bacterias metanogénicas, debido a que se realiza de manera espontánea, por otro lado, se debe realizar la composición química de los residuos para obtener resultados más cercanos a la realidad. Como dato final, el objetivo arrojó una valorización energética de 732 600 kWh/año.

El tamaño de la planta y su funcionalidad debe estar brindada por una asesoría técnica, ya que los datos encontrados no son muy exactos, para su realización adecuada deben intervenir otras ramas de la ingeniería. La planta tiene un tamaño de aproximadamente 2 hectáreas.

El análisis económico arrojó resultados favorables para la viabilidad del proyecto, con un VAN de S/. 12 620 342 y un TIR de 65%.

### **Recomendaciones**

Se recomienda aumentar la eficiencia de la gestión de residuos sólidos municipales en el distrito de Ferreñafe, ya que la actual presenta muchas fallas en función a la disposición final de los residuos, además, se debería mejorar la clasificación de la basura y ubicar estratégicamente la basura por sectores, evitando la disposición elevada en puntos transitivos para los peatones.

Se recomienda realizar un estudio de la composición química de las áreas afectadas por la disposición final de la basura, con el fin de brindar opciones para la recuperación de las mismas.

## Referencias

- [1] SINIA, «Indicador: Generación per cápita de residuos sólidos domiciliarios por departamento,» 2017. [En línea]. Available: <https://sinia.minam.gob.pe/indicador/1601>. [Último acceso: 10 Enero 2020].
- [2] E. Reyes, «Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos,» *FAREM-Esteli*, vol. VI, n° 24, pp. 60-81, 2017.
- [3] M. Perez, J. Valencia, J. Rubiano, D. Feo y E. Cuellar, «Energía de la basura,» *Tecnura*, vol. XIV, n° 26, pp. 118-125, 2010.
- [4] J. Ortiz, «DISEÑO DE UNA CENTRAL ELÉCTRICA DE BIOMASA CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA PUNO, EN EL CERRO DE CANCHARANI DEPARTAMENTO DE PUNO,» 15 Noviembre 2017. [En línea]. Available: [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5777/Ortiz\\_Nu%c3%blez\\_Jorge\\_Paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/5777/Ortiz_Nu%c3%blez_Jorge_Paul.pdf?sequence=1&isAllowed=y). [Último acceso: 21 Mayo 2020].
- [5] J. Araiza, J. Chavez y J. Moreno, «Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera municipal de Berriozábal, Chiapas, México,» *Revista internacional de contaminación ambiental*, vol. XXXIII, n° 4, pp. 76-94, 2017.
- [6] Widiarti y Sugiarto, «Designing of Municipal Solid Waste (MSW) treatment plant in Onggomertan Village, Yogyakarta,» *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. CCXII, 2018.
- [7] Romero, Melitón, Gonzales y L. y. A. Tejada, «Biogás como una fuente alternativa de energía primaria para el Estado de Jalisco, México,» *Ingeniería, investigación y tecnología*, vol. XVIII, n° 3, pp. 307-320, 2017.
- [8] E. R. y. S. Vera, «Potencial de generación de biogás y energía eléctrica. Parte II: residuos sólidos urbanos,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, vol. XVI, n° 3, pp. 471-478, 2015.
- [9] Castells y Borda, *Energía, agua, medioambiente territorialidad y sostenibilidad*, Madrid: Ediciones Diaz de Santos, S.A, 2012.
- [10] M. Josefina, M. Alberto, A. Octavio y S. Jaime, «MANUAL TÉCNICO SOBRE GENERACIÓN, RECOLECCIÓN Y TRANSFERENCIA DE RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.,» SEDESOL, Mexico D.F, 2014.

- [11] Gonzales, «¿Qué es la energía verde? Diferencias entre renovables y energía verde,» Sotysolar, 24 Setiembre 2020. [En línea]. Available: <https://sotysolar.es/blog/que-es-la-energia-verde>. [Último acceso: 12 Octubre 2020].
- [12] R. Santiago, Fuentes de energía, Bogota: Alfaomega, 2014.
- [13] M. Diego, R. Ignacio y C. Marcelo, «Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía,» *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, n° 10, 2012.
- [14] C. Ricardo, V. Héctor y H. José, «Evaluación del Estiércol de Vaca como Inóculo en la Digestión Anaerobia Termófila de Residuos Sólidos Urbanos,» *Información tecnológica*, vol. XXVIII, n° 3, pp. 29-36, 2017.
- [15] J. Carrasco, «EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DE BIOGÁS PARA AUTOABASTECIMIENTO ENERGÉTICO: UNA ESTRATEGIA PARA DIFERENTES CONTEXTOS,» 24 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/133520/Evaluacion-tecnica-y-economica-de-una-planta-de-biogas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 15 Junio 2020 ].
- [16] V. García, «MANUAL DE BIOGÁS,» 2010. [En línea]. Available: [https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual\\_de\\_Biogas01.pdf](https://www.gba.gob.ar/sites/default/files/agroindustria/docs/Manual_de_Biogas01.pdf). [Último acceso: 15 Setiembre 2020].
- [17] N. Tangari y M. Wilson, «Gasificación y pirólisis de residuos: procedimientos de alto riesgo y baja rentabilidad para el tratamiento de residuos,» *GAIA*, 2017.
- [18] A. Steinvorth, «Aprovechamiento energético de residuos sólidos municipales mediante el uso de tratamientos térmicos de avanzada,» *CEGESTI*, n° 253, 2014.
- [19] D. Schmerler, J. C. Velarde y A. y. S. B. Rodríguez, «ENERGÍAS RENOVABLES EXPERIENCIA Y PERSPECTIVAS EN LA RUTA DEL PERÚ HACIA LA TRANSICIÓN ENERGÉTICA,» GRÁFICA BIBLOS S.A., Lima, 2019.
- [20] Y. Olaya y L. Gonzales, «FUNDAMENTOS PARA EL DISEÑO DE BIODIGESTORES,» 2009. [En línea]. Available: <https://core.ac.uk/download/pdf/11057323.pdf>. [Último acceso: 25 Setiembre 2020].



Para determinar la gravedad del impacto, se debe hallar el estudio de impacto ambiental al que pertenece, la gestión de residuos sólidos municipales de Ferreñafe. Los datos obtenidos del entorno humano de 74%, entorno ecológico de 77,33% y del entorno social 50,6%. Según la caracterización de riesgo ambiental arrojó un valor de 67,31%, es decir, el estudio presenta un riesgo significativo, por lo que se debe realizar un estudio de impacto ambiental detallado, lo que evidencia el problema que genera los residuos sólidos en el distrito de Ferreñafe.

# ANEXO 2. EVIDENCIA MUNICIPAL DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.

000197

**FORMATO 1000**

**FORMATO DE ATENCIÓN AL PÚBLICO - FAP**

**IMPORTANTE:** LLENAR DEBIDAMENTE Y CLARAMENTE LOS DATOS CON EXPRESIÓN CONCRETA Y PRECISA DEL PROBLEMA, ACENTUANDO LOS REQUISITOS EXIGIDOS EN EL TÍTULO, para poder dar la respuesta correspondiente en el TUPA, según el caso de acuerdo a las competencias de la Municipalidad Provincial de Ferrocarril, de acuerdo a lo establecido en el artículo 139-A del TAO de la Ley 27444.

Br. Alcaldesa  
de la Municipalidad Provincial de Ferrocarril  
Solicita Información sobre la gestión de residuos sólidos

**REGISTRACIÓN DEL COMPROBANTE DE PAGO (C.P.)**

Tipología documento: D.N.I. Barandiaran Meano Antonio José

Tipología documento: Arica # 340 Pueblo Nuevo

Tipología documento: 958045207

**IMPORTE DEL DOCUMENTO (MIL NÚMERO DE DÍGITOS)**

IMPORTE: 176727

FECHA DE EMISIÓN: 31/01/23

HORA: 10:33

**MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE FERROCARRIL**  
**DE LA FUNCIONAL TRÁMITE DOCUMENTARIO**

**27 ENE 2023**

...La sanción... por... la... gestión... de... residuos...  
...sólidos... desde... la... despartición... de... los... residuos...  
...hechos... en... ejecución... de... las... actividades...  
...de... gestión... de... residuos... sólidos... que...  
...son... esenciales...

**V. DECLARACION JURADA**

Yo, D. N. I., declaro bajo juramento que la información suministrada es verídica y que la documentación presentada es válida, surtiendo plena fe y efectos y suscribiendo, desde este momento en caso de encontrarse fraude o falsedad, el deber de verificación posterior, brindando las facilidades necesarias para las acciones de fiscalización y control a los entes municipales competentes.

Firma del solicitante o representante legal

Fecha: 27 de Enero de 2023

Todo formulario es **GRATUITO**

República del Perú - Ministerio Público - Oficina de Atención al Ciudadano

### ANEXO 3. Masa de los elementos y moles por elemento

Tabla 7. Composición química de los residuos sólidos orgánicos.

Componente	Masa total	Masa de C	Masa de H	Masa de O	Masa de N
Materia orgánica	630,00	302,40	40,32	236,88	16,38
<b>Total, en g</b>		<b>302,40</b>	<b>40,32</b>	<b>236,88</b>	<b>16,38</b>

Fuente: Propia

Tabla 8. Moles por elemento

Datos	Elementos en moles				
	Carbono en moles	en Hidrogeno moles	en Oxígeno moles	en Nitrógeno en moles	en
Masa		302,40	40,32	236,88	16,38
peso atómico		12,00	1,00	16,00	14,00
<b>Total, de moles por componente</b>		<b>25,16</b>	<b>40,32</b>	<b>14,17</b>	<b>1,14</b>

Fuente: Propia

### ANEXO 4. Matriz de relación.

Área de producción											
Guardiana	U										
Patio de maniobra	I	A									
Área de mezcla	U	A	A								
Acondicionamiento	O	U	O	U							
Estacionamiento	U	E	U	U	U						
Área de administración	E	A	U	U	O	U					
Pozo	U	A	O	U	E	U	U				
Baños y duchas	U	U	A	U	O	A	U	U			
Áreas verdes	I	U	U	U	E	U	O	U	E		
Área de producción	U	O	U	I	U	U	I	U	U	I	

Tabla: Escalade valor de proximidad entre actividades

Letras	Nivel de aproximidad	Símbolo
A	Absolutamente necesario	
E	Muy importante	
I	Importante	
O	Esta bien una cercanía normal	
U	No es necesario	
X	No es conveniente	

Tabla: Razon de valores de proximidad

Numero	Motivo
1	Flujo de materiales
2	Comparten el mismo personal
3	Molestia por ruidos
4	Control de entradas y salidas
5	Uso de equipos en comun
6	Molestias por malos olores
7	Servicio (mantenimiento, seguridad)
8	Control de proceso
9	Flujo de personal