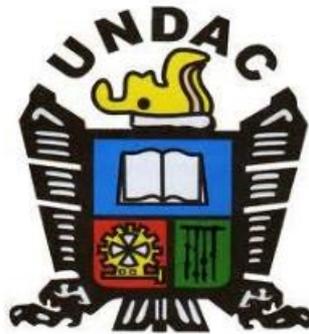


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**TESIS**

**Rendimiento teórico del metano con bioestimulación de níquel  
a la digestión anaerobia de los residuos alimenticios**

**Para optar el grado académico de maestro en:**

**Gestión del Sistema Ambiental**

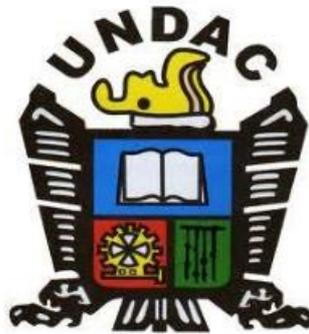
**Autor: Elmer Jesús AYLAS JARA**

**Asesor: Dr. Héctor Adolfo OSCANO SALAZAR**

**Cerro de Pasco – Perú - 2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**ESCUELA DE POSGRADO**



**TESIS**

**Rendimiento teórico del metano con bioestimulación de níquel  
a la digestión anaerobia de los residuos alimenticios**

*Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:*

---

**Dr. Favio Máximo MENA OSORIO  
PRESIDENTE**

---

**Dr. Agustín A. AGUIRRE ADAUTO  
MIEMBRO**

---

**Mg. José Elí CASTILLO MONTALVÁN  
MIEMBRO**

Quiero dedicar este gran logro en mi vida a mi padre que descansa en paz y a mi madre que gracias a DIOS me acompaña; ellos fueron el motor de mi educación e instrucción y apoyo emocional para el desarrollo de mi tesis, de igual manera agradezco a Dios, quien me ha permitido tener este logro.

## **RECONOCIMIENTO**

La realización de esta investigación de tesis doctoral fue posible, en primer lugar, a la asesoría brindada por del Dr. Héctor Oscanoa, quién bajo su experiencia me guio para el logro de las metas y objetivos de mi tesis.

Se reconoce también a la empresa minera Milpo, al haber permitido realizar las investigaciones dentro de su infraestructura de su Unidad Minera Cerro Lindo.

Se reconoce a los comedores Santa Mónica y C y C, al permitir tomar datos y muestras de los residuos orgánicos que producto de su actividad de dar alimentación a los trabajadores de la unidad minera se generan dichos residuos.

De igual modo se agradece a la Universidad “La Agraria”, por su información bibliográfica para la investigación de mi tesis, que sin ello no se hubiera podido recoger los datos necesarios en este estudio.

Se agradece a mis jurados por las correcciones acertadas y enfoques emitidas en mi tesis para su consolidación y mejora en el aspecto de estructura de fondo y forma.

Se agradece a todas aquellas personas que en forma directa o indirecta contribuyeron a que este trabajo de investigación pudiera llevarse a cabo.

## RESUMEN

En la actualidad, la problemática asociada a la gestión de los residuos alimenticios se debe a los sistemas de intensificación productiva. Estos sistemas permiten una mayor eficiencia e incrementos en la producción pero, no obstante, también generan un alto impacto negativo sobre el ambiente. Por esta razón, resulta necesaria la aplicación de una gestión integral para este tipo de residuos, tomando como objetivo fundamental la valorización de los mismos. En este Trabajo, se evaluó la factibilidad del tratamiento biológico de los residuos alimenticios, con el objeto de determinar los beneficios ambientales, generando energía en forma de biogás. Con el objeto de determinar la importancia del grado de dilución de materia prima en la etapa de arranque del proceso anaeróbico, se analizó el desarrollo del mismo en dos biodigestores ante diferente grado de dilución. Cumplido este objetivo, se los incorporó níquel, con el objetivo de incrementar la producción del metano y así, higienizar los mismos. La evolución de ambos procesos biológicos fue evaluada a través de la determinación de parámetros físicos y químicos. Las metodologías y tecnologías propuestas, propician una mejora en la gestión de residuos generados en los sistemas de los comedores, resultando esta experiencia de laboratorio, un paso previo a la escala piloto.

**Palabras claves:** residuos alimenticios, tratamiento biológico, biogás.

## **ABSTRACT**

At present, the problems associated with the management of food waste are due to production intensification systems. These systems allow greater efficiency and increases in production but, nevertheless, also generate a high negative impact on the environment. For this reason, the application of an integral management for this type of waste is necessary, taking as a fundamental objective the valorization of the same. In this work, the feasibility of the biological treatment of food waste was evaluated, in order to determine the environmental benefits, generating energy in the form of biogas. In order to determine the importance of the degree of dilution of raw material in the start-up phase of the anaerobic process, the development of the same was analyzed in two biodigesters with different degree of dilution. Once this objective was achieved, nickel was added, with the objective of increasing methane production and thus, sanitizing them. The evolution of both biological processes was evaluated through the determination of physical and chemical parameters. The proposed methodologies and technologies favor an improvement in the waste management generated in the dining room systems, resulting in this laboratory experience, a preliminary step to the pilot scale.

**Keywords:** food waste, biological treatment, biogas

## ÍNDICE

DEDICATORIA  
RECONOCIMIENTO  
RESUMEN  
ABSTRACT  
ÍNDICE  
INTRODUCCIÓN

### PRIMERA PARTE: ASPECTOS TEÓRICOS CAPÍTULO I: PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema .....	12
1.2. Delimitación de la investigación.....	13
1.3. Formulación del problema .....	15
1.4. Formulación de Objetivos .....	16
1.5. Justificación de la investigación .....	16
1.6. Limitaciones de la investigación .....	17

### CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio.....	19
2.2. Bases teóricas-científicas .....	34
2.3....Definición de términos básicos.....	43
2.4. Formulación de hipótesis .....	46
2.5. Identificación de variables.....	47
2.6. Definición operacional de variables e indicadores .....	47

### CAPÍTULO III: PROPUESTA TECNOLÓGICA

3.1. Tipo de investigación .....	48
3.2. Métodos de investigación .....	48
3.3. Diseño de investigación .....	49

3.4. Población y muestra .....	49
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	50
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	50
3.7. Tratamiento estadístico.....	50
3.8. Selección y validación de los instrumentos de investigación ..	51

SEGUNDA PARTE: DEL TRABAJO DE CAMPO O PRÁCTICO  
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo.....	53
4.2. Presentación, análisis e interpretación de los resultados.....	60
4.3. Prueba de hipótesis .....	75

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

## INTRODUCCIÓN

La presente tesis es el resultado de la investigación realizada en la unidad de producción Cerro Lindo, desarrollada con la finalidad de obtener el Grado de Maestro en Gestión Ambiental.

Para su análisis la tesis se divide en cuatro capítulos que describen poco a poco las características e implicaciones del proyecto.

El primer capítulo tiene como finalidad proporcionar al lector una visión general del problema de investigación acerca de los residuos alimenticios, la formulación de los objetivos la justificación y limitaciones de investigación. El segundo capítulo marco teórico describe cómo se produce el biogás y qué parámetros hay que tomar en cuenta para generarlo. A partir de aquí, se muestran las ecuaciones necesarias para determinar el tamaño requerido de un biodigestor que dependerá de la cantidad de materia orgánica disponible y permitirá saber cuánto biogás es posible obtener con ella.

Una vez familiarizados con el tema, el tercer capítulo propuesta tecnológica presenta distintos tipos de biodigestores, que van desde simples sistemas manuales hasta plantas para estudios biológicos completos. Esta revisión se realiza con la finalidad de mostrar los desarrollos que hay en el mercado y evidenciar que los biodigestores caseros existentes son completamente manuales e incluso rústicos. Por otro lado, las plantas a pequeña escala con sistemas de instrumentación complejos -además de ser costosas- se utilizan para la investigación por lo cual su fin no es obtener biogás como producto de consumo.

En el cuarto capítulo resultado y discusión, con base en consideraciones de diseño de ingeniería, se presenta el desarrollo del experimento y los cálculos de la producción teórica máxima de biogás que puede obtenerse con ella. Se muestran los sistemas físicos del biodigestor y se da un primer acercamiento a las variables críticas del proceso. El capítulo da un panorama general de las herramientas de ingeniería que fueron empleadas.

## **PRIMERA PARTE: ASPECTOS TEÓRICOS**

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. IDENTIFICACION Y DETERMINACION DEL PROBLEMA.**

La composición del biogás<sup>1</sup> depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable.

Como producto de la digestión, el biogás es un combustible limpio y amigable con el medio ambiente, aunque contenga solamente cerca del 55 al 65% de metano CH<sub>4</sub>. Otros componentes incluyen 30 a 40% de CO<sub>2</sub>, de fracciones del vapor de agua, de trazas de H<sub>2</sub>S y de H<sub>2</sub>, y posiblemente de otros contaminantes (por ejemplo, siloxanos).

---

<sup>1</sup> El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas.

Hay una gran necesidad de aumentar el contenido energético del biogás, haciéndolo transportable sobre distancias más grandes. En última instancia, la compresión y el uso de los cilindros de gas o su introducción en la red del gas. El enriquecimiento del biogás puede alcanzarse solamente después de quitar el CO<sub>2</sub> y los contaminantes.

La eliminación del CO<sub>2</sub> aumenta el valor calorífico del biogás y lleva a una calidad consistente del biogás, similar al gas natural. Al usar técnicas de remoción del CO<sub>2</sub>, es importante mantener bajas pérdidas del metano por razones económicas y ambientales puesto que el CH<sub>4</sub> es un gas de efecto invernadero 21 veces más que el CO<sub>2</sub>.

El poder calorífico del biogás es de 20 megajoule/m<sup>3</sup> con un porcentaje de 60 % de Metano y 40 % de CO<sub>2</sub>. Este poder calorífico aumentará con el incremento del Metano y disminución del CO<sub>2</sub>. El contenido de gas metano y dióxido de carbono que se produce de la materia orgánica depende del tipo de sustrato que se aprovecha en el biodigestor.

## **1.2. DELIMITACION DE LA INVESTIGACION.**

Los desperdicios de cocina son materiales orgánicos que tienen un alto valor calorífico y un valor nutritivo para los microbios, por eso la eficiencia de la producción de metano puede incrementarse en varios órdenes de magnitud. Esto significa una mayor eficiencia y tamaño del reactor y el costo de la producción de biogás. También en la mayoría de las ciudades y lugares, los desechos de la cocina se depositan en vertederos o se descartan lo que causa los riesgos para la salud pública y generando enfermedades como la malaria, el cólera,

la fiebre tifoidea. El manejo inadecuado de los desechos como el vertido incontrolado tiene varias consecuencias adversas: no sólo conduce a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas a través de lixiviados y promueve además la cría de moscas, mosquitos, ratas y otros vectores portadores de enfermedades. Además, emite olor desagradable y metano, que es un importante gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global. (Philosophy and Prabhudessai 2013).

Hay un número significativo de compuestos y sustancias que actúan de forma letal sobre los microorganismos que llevan a cabo el proceso anaerobio inhibiendo éste. Destacan entre éstos, los metales pesados, fenoles, tiosulfatos, tiocianatos, cianuros, agentes oxidantes fuertes como cromatos y cloro, tensoactivos aniónicos, antibióticos, pesticidas y sales.

La toxicidad de cualquiera de éstos dependerá fundamentalmente de la concentración en que ellos se encuentran en el residual.

En los últimos años se han venido operando diversos digestores de forma satisfactoria a escala experimental con concentraciones de metales pesados, fenoles y otros compuestos de los considerados inhibidores, superiores a las planteadas como tóxicas lo cual se debe a las innovaciones introducidas en estos procesos, tales como la preparación de un inóculo apropiado, la aclimatación del digestor a estos compuestos y la búsqueda de aditivos o de efectos sinérgicos que disminuyan los efectos de esta toxicidad.

Sin embargo, algunos de estos compuestos tales como níquel, cobalto, molibdeno y selenio, resultan estimulantes para los microorganismos metanógenos, aumentando significativamente la producción de éstos.

La investigación se realizó en la unidad minera Cerro Lindo, se localiza en el Distrito de Chavín, Provincia de Chincha, Departamento de Ica, actualmente son 2 354 trabajadores aproximadamente, entre servidores de MILPO y de las empresas contratistas, los cuales prestan servicios en las diferentes etapas de la operación, en la extracción de mineral, mantenimiento de áreas, mejora de infraestructura, entre otros. El régimen laboral de los trabajadores en la unidad minera es variable, siendo de 5 días laborados por 2 días de descanso ó días libres, así como también 10 días por 4 días de descanso y 14 días por 7 días de descanso respectivamente. La unidad minera cuenta con infraestructura que presta los servicios básicos, módulo de comedores, viviendas, posta médica, área de recreación. Asimismo, cuenta con infraestructura para la extracción, procesamiento de mineral e infraestructura para disposición de relaves filtrados, almacenamiento y disposición de residuos sólidos.

### **1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Problema principal**

¿Cómo incrementar el rendimiento teórico del metano y su potencial energético en el proceso de digestión anaerobia de los residuos alimenticios de los comedores de la Unidad Minera Cerro Lindo?

### **1.3.2. Problemas específicos**

¿Cuál es el rendimiento de producción de biogás obtenido a partir de los residuos alimenticios como sustrato a través de un medio anaeróbico?

¿Cuál es la característica de la calidad del biogás generado a partir de los residuos alimenticios?

## **1.4. FORMULACION DE OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar el rendimiento teórico del metano con bioestimulación de níquel a la digestión anaerobia de los residuos alimenticios para la producción de biogás como fuente de energía renovable para abastecer de energía.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

Cuantificar la tasa de producción de biogás obtenido a partir de los residuos alimenticios como sustrato a través de un medio anaeróbico.

Caracterizar la calidad del biogás generado a partir a partir de los residuos alimenticios.

## **1.5. JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.**

Evaluar el rendimiento teórico del metano con bioestimulación de níquel a la digestión anaerobia de los residuos alimenticios para la producción de biogás como fuente de energía renovable para abastecer de energía.

#### 1.6. **LIMITACIONES DE LA INVESTIGACION.**

Esta investigación es importante porque los residuos alimenticios, representan una pérdida enorme de recursos, tanto materiales como energéticos. La captación y utilización de gas metano, producto de la descomposición de la basura es una alternativa para generar electricidad que podría propiciar la autonomía eléctrica de la institución y por consiguiente el mejoramiento del relleno sanitario.

La unidad minera Cerro Lindo cuenta con seis comedores (C&C, Campamento Central, IMECO, Planta, Las Lomas e Interior mina) y dos zonas de cocina (Graña y C&C), de la actividad se generan residuos orgánicos como restos de comida cocida, verdura y carne, así como residuos inorgánicos entre ellos bolsas plásticas, botellas de polietileno, latas, entre otros. Se ha estimado que los residuos orgánicos generados son aproximadamente 1.35 ton/día.

La unidad minera Cerro Lindo, genera residuos orgánicos con potencial de aprovechamiento energético a partir del biogás, que actualmente no está siendo utilizado estratégicamente. Los residuos orgánicos provenientes de los puntos de acopio de los comedores: C&C, Campamento Central, Las Lomas, las zonas de cocina Graña y C&C, los que serán tratados por biodigestión anaerobia para obtención de biogás, estableciendo una fuente alternativa de energía, con lo cual, se reduciría la disposición de residuos orgánicos en el

micro-relleno sanitario, permitiendo de este modo prolongar la vida útil de este componente.

Actualmente, el 23 % de los residuos sólidos orgánicos generados anualmente, son tratados a través de un proceso de compostaje, que reduce la cantidad de materia orgánica a disponer directamente en el área del micro-relleno sanitario, sin embargo, el sistema adoptado actualmente no cumple las expectativas de aprovechamiento de residuo orgánico, presentándose en el área del micro-relleno malos olores y presencia de vectores. El presente proyecto tiene como fin, el aprovechamiento energético de los residuos orgánicos, lo que contribuirá a la toma de decisiones respecto al tema de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos de la unidad minera Cerro Lindo.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO**

Las primeras menciones sobre biogás se remontan al año 1600 identificados por varios científicos como un gas proveniente de la descomposición de la materia orgánica.

En el año 1890 se construye el primer biodigestor a escala real en la India y ya en 1896 en Exeter, Inglaterra, las lámparas de alumbrado público eran alimentadas por el gas recolectado de los digestores que fermentaban los lodos cloacales de la ciudad.

Tras las guerras mundiales comienzan a difundirse en Europa las llamadas fábricas productoras de biogás cuyo producto se empleaba en tractores y automóviles de la época. En todo el mundo se difunden los denominados tanques Imhoff para el tratamiento de aguas

cloacales colectivas. El gas producido se utilizó para el funcionamiento de las propias plantas, en vehículos municipales y en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal.

Durante los años de la segunda guerra mundial comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia.

Los últimos 20 años han sido fructíferos en cuanto a descubrimientos sobre el funcionamiento del proceso microbiológico y bioquímico gracias al nuevo material de laboratorio que permitió el estudio de los microorganismos que actúan en condiciones anaeróbicas (ausencia de oxígeno).

Estos progresos en la comprensión del proceso microbiológico han estado acompañados por importantes logros de la investigación aplicada obteniéndose grandes avances en el campo tecnológico.

Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles y recién en la crisis energética de la década de los 70 se reinicia con gran ímpetu la investigación y extensión en todo el mundo incluyendo la mayoría de los países latinoamericanos.

Los países generadores de tecnología más importantes en la actualidad son: China, India, Holanda, Francia, Gran Bretaña, Suiza, Italia, EE.UU., Filipinas y Alemania.

A nivel latinoamericano, se ha desarrollado tecnología propia en la Argentina para el tratamiento de vinazas, residuo de la industrialización de la caña de azúcar. En Brasil y Colombia se encuentran utilizando sistemas europeos bajo licencia.

El avance de esta técnica ha permitido que importantes ciudades del mundo, como es el caso de Santiago de Chile en América Latina, incluyan un importante porcentaje de gas procedente de esta fuente en la red de distribución urbana de gas natural.

**a) Lorenzo Acosta, 2005. Yaniris; Obaya Abreu, Ma Cristina La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, vol. XXXIX, núm. 1, 2005, pp. 35-48 Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar Ciudad de La Habana, Cuba.**

RESUMEN : Inhibidores y estimuladores del proceso Hay un número significativo de compuestos y sustancias que actúan de forma letal sobre los microorganismos que llevan a cabo el proceso anaerobio inhibiendo éste. Destacan entre éstos, los metales pesados, fenoles, tiosulfatos, tiocianatos, cianuros, agentes oxidantes fuertes como cromatos y cloro, tensoactivos aniónicos, antibióticos, pesticidas y sales. La toxicidad de cualquiera de éstos dependerá fundamentalmente de la concentración en que ellos se encuentran en el residual, Sin embargo, algunos de estos compuestos tales como níquel, cobalto, molibdeno y selenio, resultan estimulantes para los microorganismos metanógenos, aumentando significativamente la

producción de éstos. En estudios realizados en Cuba con residuales de destilería se obtuvieron eficiencias mayores, entre un 25 y 50 % cuando se adicionó al reactor anaerobio un desecho industrial que contenía níquel y cobalto en cantidades trazas.

**b) N. Ramzan\*, S. Naveed\*, N. Latif\*, A.R. Saleemi\*, 2008.\*  
Department of Chemical Engineering, University of Engineering and Technology, Lahore Pakistan, Caracterización de residuos de cocina como materia prima para la generación de biogás mediante digestión anaeróbica termofílica.**

RESUMEN:

Los residuos de cocina recolectados en la Cafetería de la Universidad fueron recolectados, mezclados, analizados y utilizados para la producción de biogás bajo digestión anaerobia termófila. Las muestras se recogieron durante dos períodos de aproximadamente 13 semanas en diferentes condiciones climáticas. Los análisis fueron dispuestos para ambos casos por separado. La caracterización de los llamados materiales de desecho no fuente reveló que el MC, TS y VS promedio para las muestras diarias de una semana de duración fueron 85,5%, 14,5% y 88,2%, respectivamente, con desviaciones estándar del 5,5%, 5,5 % y 4,6%, respectivamente. El promedio de MC, TS y VS para un muestreo semanal de doce semanas fue del 85,7%, 14,3% y 87,5%, respectivamente, con desviaciones estándar de 2,3%, 2,3% y 1,9%, respectivamente. La relación C/N para muestras seleccionadas varió en el intervalo 19,5-28,7 con una

relación C / N media de 23,3. La variabilidad general y la consistencia de los residuos de cocina recogidos se analizaron mediante ANOVA. El biogás se generó en una instalación a escala de laboratorio a partir del material de desecho para diferentes concentraciones de TS. El análisis del material sobrante después de la digestión anaerobia indicó que el 90% de material orgánico puede degradarse en un período de 3 semanas a concentraciones TS iniciales de 8% e inferiores. Esta observación apoya el uso de residuos de cocina para la digestión anaeróbica termófila y la generación de biogás.(Ramzan et al. 2010).

**c) Rama Dhanariya \*, Sarita Sharma, Ashok K Sharma y Sanjay Verma. 2005 Departamento de Ingeniería Química, Ujjain Engineering College, Ujjain, Madhya Pradesh-456010, India. Una revisión de la producción de biogás a partir de desechos alimentarios**

#### RESUMEN

Actualmente, gran parte de nuestros desechos biodegradables, como desechos de cocina, desechos agrícolas y desechos de animales, se utilizan para producir biogás, un poderoso gas de efecto invernadero. La digestión anaeróbica (AD) es un tratamiento que compone estos residuos en ausencia de oxígeno, produciendo un biogás que puede ser usado para generar calor y energía. La producción de energía renovable a partir de nuestros residuos biodegradables ayuda a hacer frente a la crisis energética. Es efectivamente una versión controlada

y cerrada de la descomposición anaeróbica de desechos orgánicos que liberan metano. AD produce un biogás compuesto por un 60% de metano y un 40% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Además del biogás, AD produce un residuo sólido y líquido llamado digestato que puede ser utilizado como acondicionador de suelos para fertilizar la tierra. La cantidad de biogás y la calidad de los digestados obtenidos variarán de acuerdo con la materia prima utilizada. Se producirá más gas si la materia prima es más susceptible de descomponerse. (Dhanariya et al. 2014)

**d) Análisis Comparativo. S.J. Ojolo, \* S.A. Oke, K. Animasahun, B.K. Adesuyi-2007. Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad de Lagos, Lagos, Nigeria Recibido el 8 de julio de 2007; revisado el 10 de septiembre de 2007; aceptado el 29 de septiembre de 2007; Utilización de Residuos de Aves de Corral, Vaca y Cocina para La Producción de Biogás:**

#### RESUMEN

La cantidad de desechos sólidos generados en países en desarrollo como Nigeria ha aumentado constantemente en las últimas dos décadas como resultado de la explosión demográfica y el continuo crecimiento de industrias y prácticas agrícolas. En la agricultura, particularmente en la cría de ganado, se generan grandes cantidades de residuos de vacas, que podrían utilizarse como insumos de biogás para complementar la alternativa de uso de combustible. Además, un gran número de familias generan residuos pesados en la cocina a

diario, lo que podría convertirse en beneficios económicos. En este trabajo, se realizó un estudio comparativo de la producción de biogás a partir de excrementos de aves de corral, estiércol de ganado y desechos de cocina en las mismas condiciones operativas. 3 kg de cada residuo se mezclaron con 9 litros de agua y se cargaron en los tres reactores de desecho. La producción de biogás se midió durante un período de 40 días ya una temperatura media de 30,5°C. La producción de biogás comenzó el día 7 y alcanzó el máximo valor en los 14 días para el reactor 1. La producción alcanzó su pico en el día 14 con  $85 \times 10^{-3} \text{dm}^3$  de gas producido en el reactor 2. Para el reactor 3, la producción de biogás comenzó en el octavo día y la producción alcanzó un valor máximo en el 14º día. La producción promedio de biogás a partir de excrementos de aves de corral, estiércol de vaca y residuos de cocina fue  $0,0318 \text{dm}^3 / \text{día}$ ,  $0,0230 \text{dm}^3 / \text{día}$  y  $0,0143 \text{dm}^3 / \text{día}$ , respectivamente. Se concluye que los desechos pueden ser manejados a través de la conversión en biogás, que es una fuente de generación de ingresos para la sociedad. (Ojolo et al. 2007)

- e) **Laxman Lama \***, Sunil Prasad Lohani, Ram Lama y Jhalak Raj Adhikari. Departamento de Ciencia e Ingeniería Ambiental y Departamento de Ingeniería Mecánica, Katmandú. Universidad, Nepal. Producción de biogás de la cocina

#### RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en la Universidad de Katmandú y este estudio se centra en la producción de biogás como una energía

alternativa mediante el uso de residuos de cocina biodegradables de las instalaciones de la Universidad de Katmandú. La investigación se realizó sobre Planta compacta de biogás modelo ARTI de digestor de 1 m y manómetro de 0,75 m en el enfoque de la gestión de la producción diaria biodegradables de los hogares. El objetivo principal del proyecto es la generación y análisis de biogás de la factibilidad, eficiencia de trabajo, salud y beneficios ambientales de la planta de biogás compacta modificada de ARTI en áreas urbanas. El máximo de gas metano fue registrado como 65% y el dióxido de carbono máximo promedio fue registrado como 58%. La temperatura diaria dentro del digestor fue que se encuentra en el intervalo de (25-34°C) y el valor de pH de la suspensión se encuentra entre (6,7 - 5,48). Se encontró que la producción promedio de gas era de 173 l / día. El período máximo de combustión del gas fue de aproximadamente 62 minutos / día y el período de combustión promedio fue de 26 minutos / día. Al principio, la proporción de metano es superada por el dióxido de carbono y luego gradualmente el metano superó el dióxido de carbono y alcanzó 56 en promedio. La cantidad de gas producida durante julio es baja debido a temporada de lluvias y aumenta respectivamente. Dado que la alimentación diaria de 5 kg de residuos de cocina seca produce 173 l de gas por día, por kg de residuos de cocina se pueden producir 35 l de gas diariamente. El sistema proporcionará una información adecuada y solución al problema de

los residuos de cocina permitiendo la recuperación de energía de los residuos.(Lama and Prasad n.d.)

- f) **Oliveira F. y Doelle K, 2015, Departamento de Ingeniería de Papel y Bioprocesos, Colegio de Ciencias Ambientales y Silvicultura. Universidad Estatal de Nueva York, NY, EE.UU. Digestión anaeróbica de desechos de alimentos para producir biogás: Comparación de Bioreactores para aumentar el contenido de metano.**

#### RESUMEN

La digestión anaeróbica se puede utilizar para degradar los residuos de alimentos y recuperar la energía. El metano es un biogás que puede convertirse eficientemente en electricidad. La velocidad de carga orgánica, temperatura, tiempo, pH, relación de carbono a nitrógeno son factores importantes que se deben operar en los biorreactores y todavía son desafíos en este proceso para aumentar la producción de biogás. Se ha revisado los biorreactores monofásicos y de dos etapas en la digestión anaerobia de los residuos alimentarios, así como las tasas de carga orgánica y la tasa de metano producido.(K and F 2015).

**g) Navjot Riar<sup>2</sup>, Dr. R.K.Khitoliya<sup>3</sup> y Dr. Shakti Kumar<sup>4</sup>. 2013.**  
**Estudio de la capacidad de tratamiento de residuos de cocina y  
producción de biogás**

RESUMEN

El presente documento contribuye en cierta medida a resolver el problema de la eliminación de residuos. Los Porcentaje de residuos de cocina en total Residuos sólidos municipales es bastante alto, por lo que la tratabilidad de residuos de cocina debe ser comenzar a nivel personal, es decir, de los hogares. La contribución en el tratamiento de los residuos mediante el uso de residuos húmedos orgánicos en la digestión anaerobia, es decir, la descomposición de la cadena de grandes complejos en una cadena más pequeña de moléculas sin la presencia de oxígeno. El proceso de digestión anaeróbica se coloca en la planta de biogás. Así que para una familia de clase media el plan debe ser económico. La planta de biogás de Deenbandhu es planta económica, porque el período de recuperación de esta planta es de 2 años y medio. El coste inicial de la inversión es solamente Rs27000 / -. El espacio para este tipo de planta en los hogares es 424sq. Ft, que está fácilmente disponible en el patio trasero del hogar. Los resultados de la planta de biogás Deenbandhu producen hasta 6m<sup>3</sup> de biogás al día, que está disponible para cocinar de 8 a 12 horas para 10 a 14

---

<sup>2</sup> ME Environmental Engg., Estudiante de Fin de Curso, Departamento de Ingeniería Civil PEC Universidad de Tecnología Chandigarh.

<sup>3</sup> Jefe de Departamento, Post Graduate Departamento de Ingeniería Civil, PEC, Universidad de Tecnología Chandigarh.

<sup>4</sup> Profesor Asociado, Post Graduate Departamento de Ingeniería Civil, PEC, Universidad de Tecnología Chandigarh India.

miembros de la familia. La producción de biogás depende de varios factores que también deben tenerse en cuenta. Por lo tanto, el pH óptimo, el TS% y la temperatura que se registra tiempo a tiempo son, por ejemplo, 7, 12% y 37°C respectivamente. (Riar and Kumar 2013)

**h) I. Pereda Reyes\*, R. Irusta Mata\*\*, D. Oliva Terencio\* - 2007.**

**Uso de los residuos sólidos mineros de la extracción del níquel como estimulantes para la producción de biogás**

**\*Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.**

RESUMEN.

La adición de diferentes materiales con vistas a mejorar el proceso anaerobio ha venido incrementándose en los últimos tiempos existiendo bases teóricas bien fundamentadas para la realización de esta práctica. Este proceso biológico, requiere no sólo de macronutrientes (N, P, K, S), elementos vitales para el desarrollo de los microorganismos y que deben estar presentes en grandes cantidades, sino también de los denominados micronutrientes y factores estimulantes al proceso, los cuales en cantidades muy pequeñas (trazas), son esenciales para el óptimo desarrollo de los microorganismos, como es el caso de algunos metales obligatorios (Fe, Ni y Co).

En este trabajo se presenta un estudio preliminar del efecto de la adición de residuales mineros cubanos como catalizadores del

proceso anaerobio. Se realizó la caracterización de dicho residual minero (Cola), empleado en los ensayos experimentales. Se demostró que la Cola SI aporta nutrientes esenciales al proceso de depuración anaerobia de aguas residuales. Hubo mayor efectividad en condiciones extremas: poco sustrato y concentraciones tóxicas de Nitrógeno y Azufre, y en cualquiera de las variantes analizadas, la mejor respuesta se obtuvo con una concentración de Cola igual a 3 mg/L, con una eliminación de materia orgánica de más del 80%.(Pereda Reyes, Irusta Mata, and Oliva Terencio 2007)(Pereda Reyes, Irusta Mata, and Oliva Terencio 2007)

- i) Maribet Rincón Ramírez, Nancy Rincón Lizardo, Joan Mata Álvarez, Iván Chirinos - 2014; Biodegradabilidad de residuos de alimentos preparados bajo condiciones mesofílicas y termofílicas utilizando un reactor anaeróbico de mezcla completa.**

#### RESUMEN

En esta investigación se realizó la digestión anaeróbica de residuos de alimentos preparados (RAP) en un reactor anaeróbico de mezcla completa (RAMC) de 3,5 L, con flujo discontinuo bajo condiciones mesofílicas (CM) a 37 °C y termofílicas (CT) a 55 °C. El objetivo fue evaluar la biodegradabilidad de RAP con distintos lodos biológicos y tiempos de retención hidráulicos (TRH). Antes de la degradación, se realizó un ensayo de biodegradabilidad con diferentes proporciones de carbohidratos (C) frutas y vegetales (FV) y proteínas (P) en el que

se obtuvo una mayor producción de biogás al trabajar con la proporción C:FV:P 24:71:5 en CM y CT. La misma se utilizó en el RAMC con TRH de 30, 25 y 15 d en CM y CT. Para la CM se obtuvieron remociones en ST de 59 % y 67 %, SV de 76 % y 81 % para los TRH de 30 y 25 d, con producciones de metano de 0,64 L/gSVremovido y 0,31 L/gSVremovido. Durante el TRH de 15 d se registró una inestabilidad debido a concentraciones de CO<sub>2</sub> del 60 %. Durante la CT (TRH de 30 d) se removieron 67 % de ST, 80 % de SV y se registraron producciones de metano de 0,58 L/gSVremovido. Cuando se implementó el TRH de 25 d se incrementaron los ácidos grasos volátiles hasta 2916 mg/L y se detuvo el tratamiento. Las mejores remociones y producción de biogás se generaron durante el TRH de 30 d en CM con el lodo EFLUENTE CACHAZA. (Rincón Ramírez et al. 2014).

**j) Moeller Chávez Gabriela Eleonora Secretario - 2014, Dra. Gutiérrez Palacios Constantino, M I Andrade Iván, Moreno Vocal, Er Moreno Alfonso, Duran. Efecto de iones metálicos sobre la metanogénesis en la digestión anaerobia de residuos sólidos orgánicos urbanos.**

#### RESUMEN

En el proceso de digestión anaerobia de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) existen pocos reportes que evalúan la influencia de la presencia de iones metálicos sobre la actividad metanogénica, en México no se tienen reportes al respecto.

El Ni, Co, W, Se, Mo y Fe en cantidades traza son esenciales debido a que son cofactores de enzimas involucradas en diferentes etapas del proceso de digestión anaerobia. Limitar la disponibilidad de estos iones metálicos requeridos por las enzimas afecta todo el proceso de digestión anaerobia (Facchin et al., 2012). La formación de metano a partir de H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub> es favorable (metanogénesis hidrogenotrófica), sin embargo por esta vía se genera solamente del 27-30% de metano, el resto es generado por la vía acetoclástica (Almeida et al., 2011). En este trabajo se pretendió cubrir la presencia de iones metálicos (Ni<sup>+2</sup>, Se<sup>+4</sup>, Mo<sup>+6</sup> y W<sup>+6</sup>) necesarios para las enzimas involucradas en la ruta hidrogenotrófica con la finalidad de aumentar la producción de metano.

Este estudio se dividió en siete etapas, la primera consistió en la toma de muestra y caracterización de la FORSU de la delegación Benito Juárez. En la segunda etapa, con esta misma muestra de FORSU, se determinó la mejor relación inóculo: sustrato con la finalidad de conocer aquella que generará más metano y con la cual se evitara una posible inhibición en el proceso de digestión anaerobia, con esta misma relación inóculo: sustrato se llevaron a cabo las pruebas de la etapa final de este trabajo.

Posteriormente, en la tercera etapa, se llevó a cabo el desarrollo de la técnica para la determinación de la actividad metanogénica, con la finalidad de establecer las condiciones experimentales bajo las cuales se llevarían a cabo las posteriores

pruebas de actividad. Se determinó la actividad metanogénica sin la adición de iones metálicos con el uso de formiato, acetato y una mezcla de ácidos grasos volátiles (acetato, propionato y butirato).

En la cuarta etapa se realizó un diseño factorial 2<sup>2</sup>, teniendo como factores la adición o no de nutrientes y la adición o no de metales (variables categóricas). La finalidad de este diseño experimental fue encontrar si existía o no una sinergia al mezclar iones metálicos con una solución nutritiva. Esta sinergia no se encontró, por lo tanto se concluyó que no existe una diferencia estadísticamente significativa al adicionar la solución nutritiva; debido a esto se procedió a obtener una mezcla de iones metálicos que maximizara la producción de metano mediante la ruta de metanogénesis hidrogenotrófica. La quinta etapa consistió en un diseño de mezclas simplex centroide aumentado bajo el cual fue posible evaluar mezclas, puras, binarias, terciarias y cuaternarias de los iones metálicos; el modelo matemático que describe el efecto de los iones metálicos sobre la actividad metanogénica tuvo un ajuste del 90% y bajo estas condiciones la combinación de efectos que maximiza la actividad metanogénica es con 0.125 mg/L de Se<sup>+4</sup> y W<sup>+6</sup> respectivamente.

La sexta etapa de este trabajo de investigación consistió en cuantificar el contenido de metales (Se, Mo, W y Ni) en la FORSU generada en la delegación Benito Juárez, siendo ésta rica en Ni principalmente, seguido de Mo, y W en muy poca proporción. El Se

no fue posible cuantificarlo probablemente por estar presente en una cantidad por debajo del límite de detección del método.

Finalmente se estudió el efecto de los iones metálicos  $Se^{+4}$  y  $W^{+6}$  (esto de acuerdo a las condiciones que maximizaron la actividad metanogénica en el diseño de mezclas simplex centroide aumentado) en la digestión de la FORSU de la delegación Benito Juárez, encontrándose que el uso de estos iones a las concentraciones utilizadas, no tiene un efecto estadísticamente significativo sobre la producción de metano comparado con la digestión anaerobia sin el uso de iones metálicos; sin embargo, se mejoró la estabilidad del proceso de digestión anaerobia viéndose reflejado en los índices de alcalinidad (relación alfa e índice tampón, IB).(Moeller Chávez Gabriela Eleonora Secretario et al. 2014)

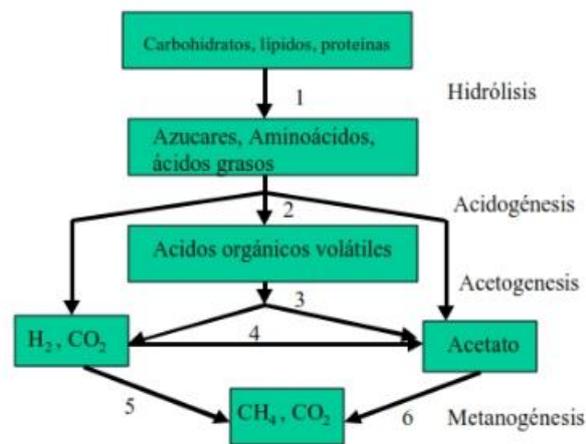
## **2.2. BASES TEORICAS CIENTIFICAS**

El biogás es un gas combustible que se puede obtener a partir de la biomasa, tal como son los desechos de humanos y de animales, residuos agrícolas, aceite de palma y plantas acuáticas. Este gas puede ser utilizado, por ejemplo, como combustible para motores que mueven una bomba de agua, en alumbrado y en la cocción de alimentos.

El mecanismo predominante para la conversión de la biomasa en biogás es la conversión bioquímica o digestión de biomasa orgánica que debe entenderse como un proceso natural que involucra varios procesos bacterianos y enzimáticos simultáneamente.

El método más común de producción de biogás es la digestión anaeróbica en un tanque cerrado llamado 'biodigestor'. La biomasa se mezcla en el digestor con agua para formar una suspensión, en la cual la digestión anaeróbica se realiza en dos pasos. En el primer paso, llamado licuefacción, la materia orgánica es descompuesta por hidrólisis enzimática y fermentada para producir principalmente ácidos y alcoholes.

Seguidamente, en la etapa de gasificación, las bacterias metanogénicas rompen los ácidos y los alcoholes, para producir metano y dióxido de carbono, nitrógeno y ácido sulfhídrico. El flujograma N° 01 indica las diversas etapas de la digestión anaerobia.



Flujograma N° 01 Etapas de la Digestión Anaerobia.

El biogás obtenido en esta transformación lo constituye una mezcla de gases combustibles y su composición depende del tipo de material orgánico utilizado para su producción y de las condiciones de operación de los reactores donde ocurre la transformación.

El biogás contiene aproximadamente un 60% de metano y 40% de dióxido de carbono; la pequeña cantidad de ácido sulfhídrico da al gas un olor de huevos podridos. El valor calorífico del biogás es 20 – 30 MJ de energía calórica por m<sup>3</sup> de gas. La tabla 1 resume la composición química del biogás.

COMPONENTE	FÓRMULA QUÍMICA	%VOLUMEN
Metano	CH <sub>4</sub>	60-70
Gas Carbónico	CO <sub>2</sub>	30-40
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	1.0
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.1
Acido Sulfhídrico	H <sub>2</sub> S	0.1

Tabla N° 01 **Composición Química del Biogás.**

Las principales razones que pueden llevar a la implementación de la tecnología del biogás son:

- Obtener una fuente de energía económica que permita disminuir costos asociados al consumo de la energía eléctrica o sistemas de gas convencionales.
- Reducción de olores: los sistemas de biogás reducen los olores ofensivos especialmente en aquellas zonas donde se producen y manejan grandes cantidades de estiércol debido a la explotación de ganado. Los sistemas de biogás reducen este olor debido a que los ácidos orgánicos volátiles que causan los compuestos generadores de olor son consumidos por las bacterias productoras de gas.

- Fertilizante de alta calidad. En el proceso de digestión anaerobia, el nitrógeno orgánico en el estiércol se convierte en gran proporción a amoníaco, el constituyente básico de fertilizante comercial, que es fácilmente disponible y utilizado por las plantas.

- Reducción de la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. El efluente del digestor es un producto más uniforme y manejable que el estiércol no tratado. La alta cantidad de amoníaco permite una mejor utilización de los cultivos y permite mejorar las propiedades físicas de los suelos. Una aplicación apropiada del efluente del digestor reduce la contaminación de aguas superficiales o subterráneas.

- Reducción de patógenos El calentamiento que ocurre en los digestores reduce las poblaciones de patógenos rápidamente en pocos días.

### 2.2.1 **Parámetros de operación del Sistema de Generación de**

**biogás** : Los procesos bacterianos y enzimáticos de la digestión anaeróbica son sensibles a variación en temperatura, contenido de agua, y composición general de la mezcla en el biodigestor. El biogás se produce únicamente si se excluye el aire del digestor de forma tal que se pueda desarrollar la condición anaeróbica. En consecuencia, el tanque del digestor debe estar herméticamente cerrado.

a) Contenido de agua de la mezcla

Un contenido insuficiente de agua en la mezcla alimentada al biodigestor ocasiona que las bacterias y otros microorganismos no obtengan el entorno apropiado para que puedan funcionar efectivamente y la cantidad de biogás producido será pequeña. Si la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción de biogás es limitada.

Si se usa primordialmente excreta humana y orines, estiércol y desechos de agricultura como alimento para el digestor, entonces la razón de biomasa a agua debe estar entre 1:1 y 1:2. Por consiguiente por cada 100 Kg. de heces y orina se requieren entre 100 y 200 litros de agua. Si el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere de más agua, en una razón de 1:3 o 1:4.

Es esencial proporcionar una buena mezcla en el digestor para promover una biodegradación efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso.

#### b) Temperatura y período de retención

La temperatura de la mezcla en el digestor es un factor importante para la eficiencia del proceso de digestión. La mayoría de las bacterias anaeróbicas funcionan mejor en el rango de 30 a 35 °C y esta es temperatura óptima para la producción de biogás. La temperatura en el tanque digestor siempre debe estar por encima

de 20 °C, porque a temperaturas menores, se produce poco biogás y por debajo de 10° C la digestión cesa completamente.

Períodos de retención de 10 a 25 días para la mezcla en el tanque digester son usuales para la mayoría de países tropicales. Si las temperaturas ambientes son altas, por ejemplo, en promedio entre 30 y 35° C, puede ser suficiente un período de retención más corto, de 15 días. En climas más fríos, son comunes periodos de retención más largos, de 80 a 90 días. En el caso de desechos de ganado porcino que son ricos en ácidos volátiles se necesitan de 10 a 15 días; los excrementos de bovinos que contienen compuestos de difícil descomposición requieren mínimo de 20 días de digestión.

c) Acidez/Alcalinidad de la mezcla

El PH (potencial de hidrógeno): Es el coeficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa, indica la concentración de iones de hidrógeno. La escala de PH varía de 0 a 14, Son ácidas menores de 7 y las disoluciones alcalinas tienen un POH superior a 7. Para un funcionamiento óptimo, el valor del pH de la mezcla debe mantenerse dentro del rango de 6.8 a 7.5, considerándose como neutral a ligeramente alcalino ó puede tornarse ácida, la regulación del pH se realiza agregando Cal o cenizas.

#### **d) Nutrientes**

El nitrógeno es esencial para el crecimiento y la actividad de las bacterias. La materia prima que contiene una baja razón carbono/nitrógeno es digerida fácilmente.

#### **2.2.2 Etapas de la fermentación metanogénica.**

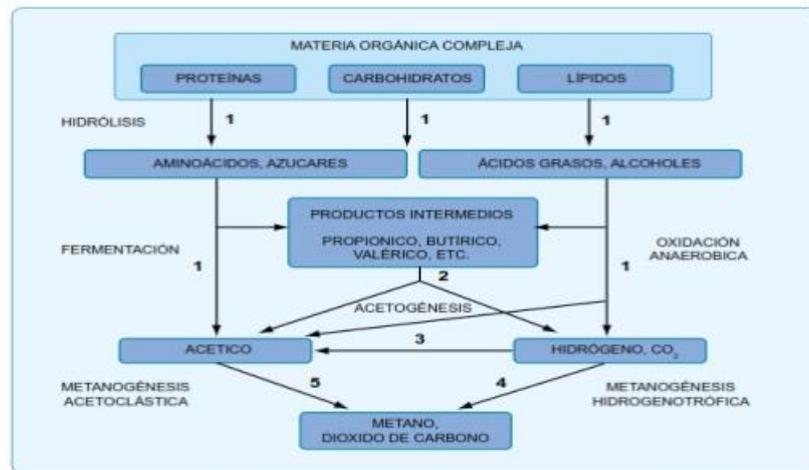
La digestión anaeróbica es un proceso muy complejo tanto por el número de reacciones bioquímicas que tienen lugar como por la cantidad de microorganismos involucrados en ellas.

De hecho, muchas de estas reacciones ocurren de forma simultánea. Los estudios bioquímicos y microbiológicos realizados hasta ahora, dividen el proceso de descomposición anaeróbica de la materia orgánica en cuatro fases o etapas:

1. Hidrólisis
2. Etapa fermentativa o acidogénica
3. Etapa acetogénica
4. Etapa metanogénica

La primera fase es la hidrólisis de partículas y moléculas complejas (proteínas, carbohidratos y lípidos) que son hidrolizadas por enzimas extracelulares producidas por los microorganismos acidogénicos o fermentativos. Como resultado se producen compuestos solubles más sencillos (aminoácidos, azúcares y ácidos grasos de cadena larga) que serán metabolizados por las bacterias

acidogénicas dando lugar, principalmente, a ácidos grasos de cadena corta, alcoholes, hidrógeno, dióxido de carbono y otros productos intermedios. Los ácidos grasos de cadena corta son transformados en ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, mediante la acción de los microorganismos acetogénicos. Por último, los microorganismos metanogénicos producen metano a partir de ácido acético, H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>.



(Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991).  
 Los números indican la población bacteriana responsable del proceso: 1: bacterias fermentativas; 2: bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3: bacterias homoacetogénicas; 4: bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5: bacterias metanogénicas acetoclásticas.

## Flujograma N° 02 Materia Orgánica Compleja (fases-Biogás)

Cualquier sustrato se compone de tres tipos básicos de macromoléculas: hidratos de carbono, proteínas y lípidos.

Las proteínas constituyen un sustrato muy importante en el proceso de digestión anaeróbica debido a que además de ser fuente de carbono y energía, los aminoácidos derivados de su hidrólisis tienen un elevado valor nutricional. Las proteínas son hidrolizadas en péptidos y aminoácidos por la acción de enzimas proteolíticas llamadas proteasas. Parte de estos aminoácidos son utilizados

directamente en la síntesis de nuevo material celular y el resto son degradados a ácidos volátiles, dióxido de carbono, hidrógeno, amonio y sulfuro en posteriores etapas del proceso.

La degradación de los lípidos en ambientes anaeróbicos comienza con la ruptura de las grasas por la acción de enzimas hidrolíticas denominadas lipasas produciendo ácidos grasos de cadena larga y glicerol.

La velocidad de degradación de los materiales lignocelulósicos compuestos principalmente por lignina, celulosa y hemicelulosa, es tan lenta que suele ser la etapa limitante del proceso de hidrólisis. Esto es debido a que la lignina es muy resistente a la degradación por parte de los microorganismos anaeróbicos afectando también a la biodegradabilidad de la celulosa, de la hemicelulosa y de otros hidratos de carbono. Los principales productos de la hidrólisis de la celulosa son celobiasa y glucosa, mientras que la hemicelulosa produce pentosas, hexosas y ácidos urónicos. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura. La tasa de hidrólisis depende, también, del tamaño de las partículas, debido fundamentalmente a la disponibilidad de superficie para la adsorción de las enzimas hidrolíticas. Los pretratamientos físico-químicos, cuyo principal efecto es la reducción del tamaño de las partículas, producen un aumento en la tasa de hidrólisis, y si esta fase es la limitante del proceso anaerobio, supone un beneficio para el proceso general,

produciendo menores tiempos de retención y tamaños de reactor menores.

### 2.3. DEFINICION DE TERMINOS BASICOS:

#### **BIOGAS :**

El biogás, es el obtenido del proceso de fermentación de la materia orgánica (biomasa que incluye residuos animales, vegetales, entre otros) en ausencia de oxígeno (reactores anaeróbicos o biodigestores) básicamente es una mezcla de metano y dióxido de carbono. Las propiedades combustibles, que le otorga el metano, pueden ser aprovechadas para operar diversos sistemas que van desde la cocción de alimentos y la iluminación hasta la generación de energía eléctrica/mecánica, y abastecimiento de redes de distribución de gas (locales o públicas); en pequeña escala, la cocción de alimentos y la iluminación representan los principales usos de este combustible renovable.

Como un producto final de proceso de digestión anaerobia, se produce biogás, que es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), Además, también está compuesto por pequeñas cantidades de nitrógeno ( $\text{N}_2$ ) hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y vapor de agua. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso

#### **METANO :**

El metano ( $\text{CH}_4$ ) al ser un compuesto orgánico que se integra por los elementos de hidrógeno y carbono forma parte de los hidrocarburos, estos se dividen en dos clases principales que son los alifáticos y aromáticos. Los primeros se subdividen en familias: alcanos, alquenos, alquinos y sus análogos cíclicos (ciclo alcanos, etc.). Dentro de los alcanos se encuentra el metano, siendo incluso el hidrocarburo más simple.

### **CARBONO :**

El carbono es un elemento de suma importancia debido a que es capaz de formar un gran número de compuestos estimándose un mínimo de 1 000,000 compuestos orgánicos. El carbono elemental es una sustancia inerte, insoluble en agua, a temperaturas elevadas se combina con el oxígeno para formar comúnmente monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El carbono y sus compuestos se encuentran distribuidos ampliamente en la naturaleza, encontrándose incluso en varios minerales como caliza, dolomita, yeso y mármol, en forma de carbonatos. Asimismo el carbono se hace presente en la materia orgánica como las plantas, animales, bacterias hongos, etc. A través de compuestos orgánicos combinado con hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos.

### **DIOXIDO DE CARBONO :**

El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el segundo elemento más abundante en el biogás, es un gas incoloro, denso y poco reactivo.

Forma parte de la composición de la tropósfera actualmente en una proporción de 350 ppm.

A pesar de que el dióxido de carbono existe principalmente en su forma gaseosa, también tiene forma sólida y líquida, sin embargo solo puede ser sólido a temperaturas por debajo de los  $-78^{\circ}\text{C}$ , mientras que en estado líquido existe principalmente cuando el dióxido de carbono se disuelve en agua, siempre y cuando la presión sea constante.

### **BIOMASA:**

Es toda la materia orgánica proveniente de árboles, plantas, desechos de animales, residuos provenientes de la agricultura y los residuos urbanos, los cuales pueden ser utilizados para producir energía.

### **BIODIGESTOR:**

Es un bioreactor herméticamente cerrado, en estos equipos se realiza el proceso de cultivo, sea en estado sólido o líquido y su diseño debe ser tal que asegure homogeneidad entre los componentes del sistema, condiciones óptimas para el crecimiento microbiano y la obtención de metano como producto deseado.

### **DIGESTIÓN ANAEROBIA:**

Es un proceso biológico de degradación de la materia orgánica en ausencia de oxígeno.

**EFLUENTE:**

El efluente del biodigestor es el líquido que sale al final del proceso, este líquido aun contiene materias orgánicas y nutrientes que después de ser convertidos, pueden ser utilizados como biofertilizantes.

**NUTRIENTES:**

Es toda fuente de energía que necesita un organismo para seguir reproduciéndose y funcionando correctamente como carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio.

**SUSTRATO:**

Este término se utiliza para referirse a todas las fuentes de carbono y energía.

**2.4. FORMULACION DE HIPOTESIS****2.4.1. Hipótesis general**

El rendimiento teórico del metano y su potencial energético en el proceso de digestión anaerobia de los residuos alimenticios de los comedores de la Unidad Minera Cerro Lindo se incrementa con la bioestimulación del níquel.

**2.4.2. Hipótesis específicas**

La tasa de producción de biogás obtenido a partir de los residuos alimenticios como sustrato a través de un medio anaeróbico alcanza el 65% de metano (CH<sub>4</sub>) y 35% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

## 2.5. IDENTIFICACION DE VARIABLES

### Variable Dependiente

Producción de biogás.

### Variables Independientes

Temperatura ambiente

Altura del lugar

Material de alimentación (residuos alimenticios)

Relación de sólido/líquido

Acidez , Alcalinidad (PH).

## 2.6. DEFINICION OPERACIONAL DE VARIABLES E INDICADORES

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
Producción de biogás	Metano Dióxido de carbono	m <sup>3</sup>	Cálculo aritmético
Temperatura ambiente.	Zona cálida Unidad minera Cerro Lindo.	°C.	Termómetro
Altura del lugar	1800	msnm	Dato geográfico
Material de alimentación (Residuos Alimenticios)	1500 gramos de Residuos Alimenticios de los comedores.	gr.	Balanza.
Relación de sólido/líquido	1 / 3	Lt.	Cálculo Aritmético
Acidez	6	PH	Peachìmetro
Alcalinidad	7.5	POH	Peachìmetro
Inóculo	250 gramos solo primer día.	gr.	Balanza
Níquel	10 gramos (trazas )	gr.	Balanza

Tabla N° 02 Variables e indicadores

## **CAPÍTULO III**

### **PROPUESTA TECNOLÓGICA**

#### **3.1. TIPO DE INVESTIGACION**

La presente investigación es de tipo tecnológico en las ciencias de ingeniería incorpora el conocimiento científico y tecnológico, con el objeto de crear o modificar el proceso productivo del biogás con residuos alimenticios en un mini biodigestor para cumplir un fin valioso para sociedad.

#### **3.2. METODOS DE INVESTIGACION**

El método que guía la investigación es el método experimental, entendiendo por experimentación se la aplicación de un conjunto de manipulaciones, procedimientos y operaciones de control, de tal forma que proporcionan información no ambigua sobre la producción de biogás a partir de residuos alimenticios con bioestimulantes.

### **3.3. DISEÑO DE INVESTIGACION**

El diseño de investigación en la tesis constituye el diseño factorial por manipular más de dos variables independientes. Se basa en el diseño y construcción de un biodigestor anaerobio de laboratorio, así como su puesta en marcha y aplicación práctica por medio de la realización de un experimento, en el que se analizará la producción de biogás a diferentes temperaturas de digestión, en concreto a 25°C, 30°C y 35°C. De este modo se ha determinado la influencia de la temperatura en la calidad y cantidad del biogás producido, así como su influencia en otros parámetros. Para ello se han realizado una serie de 4 experimentos en los que se han controlado parámetros como el pH, la DQO, los contenidos de fósforo y nitrógeno y volumen de biogás producido, entre otros. Este caso práctico servirá como prueba del correcto funcionamiento del biodigestor, y a su vez servirá en sí mismo como un estudio sobre la producción de biogás en este tipo de digestores con diferentes condiciones de temperatura.

### **3.4. POBLACION Y MUESTRA**

La investigación se enmarca dentro de un estudio descriptivo, se pretende evaluar el potencial energético de Biomasa “residuos alimenticios” interpretando y analizando los datos recopilados durante el desarrollo del proyecto con un enfoque cualitativo y cuantitativo.

La recolección de las muestras se realizó en la unidad minera Cerro Lindo, genera residuos orgánicos con potencial de

aprovechamiento energético las pruebas físicas químicas de laboratorio y el montaje y control de los Biodigestores se realizó en la unidad minera Cerro Lindo.

### **3.5. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS**

Dado que el trabajo corresponde a un diseño experimental puro, la observación directa del fenómeno ocurrido, por lo tanto, esta es una de las técnicas e instrumentos para la recolección de información que se presenta, así como la observación participante y el diálogo explicativo. Los cuales sirvieron para la interpretación y verificación del hecho registrado.

### **3.6. TECNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS**

Los datos o respuestas han sido sometidos a los procesos de: clasificación, registro, tabulación y codificación.

En cuanto al análisis se ha empleado las Técnicas Lógicas o Estadísticas, se utilizó para descifrar lo que revelan los datos recolectados.

Una vez concluido el trabajo de campo en el laboratorio se organizó la información recopilada en las notas de campo, datos experimentales obtenidos a través de las mediciones que se realizan las cuales se detallan anteriormente dentro de la operacionalización de las variables.

### **3.7. TRATAMIENTO ESTADISTICO**

La prueba de hipótesis estadística  $H_0$ : La producción de biogás depende directamente de los parámetros ambientales como:

Temperatura y pH, se realizó mediante la correlación de Pearson para demostrar si existe o no correlación de significancia de la temperatura y pH sobre la variable respuesta producción de biogás.

### **3.8. SELECCIÓN Y VALIDACION DE LOS INSTRUMENTOS DE INVESTIGACION**

El objetivo de la validación de métodos ha sido conocer la magnitud del error del método, y si este error puede afectar la interpretación de los resultados. Así, un proceso de validación permitió saber si el método es útil como herramienta diagnóstica.

## **SEGUNDA PARTE: DEL TRABAJO DE CAMPO O PRÁCTICO**

## **CAPÍTULO IV**

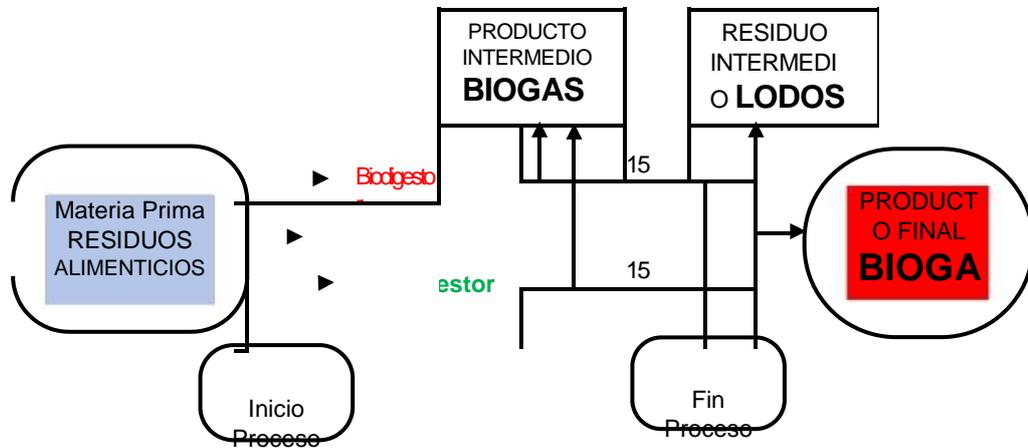
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. DESCRIPCION DEL TRABAJO DE CAMPO**

Para el estudio analítico experimental se diseñó un plan, con una duración de 15 días El estudio analítico-experimental comprende el tratamiento de biodigestión anaeróbica. Toda la experiencia se desarrolló a temperatura ambiente.

La preparación del proceso anaeróbico consistió en la carga, control y evaluación del comportamiento de dos biodigestores cuyos sustratos tienen la misma dilución de la materia prima, siendo el contenido del Biodigestor 1 (B1) el mismo que el Biodigestor 2 (B2). Con la única diferencia que el Biodigestor 1 (B1) se le adiciona trazas del metal Níquel. Para estudiar el arranque del tratamiento anaeróbico mediante observación, medición, control y comparación de

comportamiento de los biodigestores B1 (Níquel) y B2, se previó un período de práctica experimental de 15 días.



Flujograma N° 03 Secuencia para la obtención del Biogás.

El trabajo experimental se realizó en la unidad minera Cerro Lindo, para ello se utilizaron lo siguiente:

Origen de la materia orgánica: Residuos alimenticios.

Cantidad de Materia orgánica húmeda: 1500 g.

Cantidad de Materia Orgánica licuada : 2000 ml.

Tratamiento físico de la materia orgánica : Licuado de los Residuos.

Inóculo : 250 gr. de estiércol de vaca.

Cantidad de agua agregada : 3000 ml.

Carga total del biodigestor : 5000 ml.

% de Materia Orgánica Húmeda (MOH): 30.0%

Temperatura de operación máxima : 29.5 °C.

pH controlado con NA OH al 99 % : 1 pastilla por 2 litros. (01 gramo).

Níquel en trazas : 10 gr. en 5 litros cada 5 días.

#### 4.1.1. EJECUCIÓN DEL EXPERIMENTO

##### a) CONSTRUCCION DE 02 BIODIGESTORES.



Figura Nº 01 Se realiza la construcción de dos biodigestores caseros.



#### MATERIALES:

- 02 botellas de plástico de 5 litros cada uno.
- 02 botellas de 2 lt. Para los gaseómetros
- 02 envases de plástico para drenaje de líquido.
- 01 metro tubería de PVC ½ " de diámetro.
- 01 barra de Silicona.
- 04 Vías Quirúrgicas.

- 02 alambres para mover la mezcla.

**b) PREPARACION DE RESIDUOS ALIMENTICIOS:**

<b>RESIDUOS ALIMENTICIOS</b>	<b>CANTIDAD ( gr ).</b>
Cáscaras de Carbohidratos (papa)	350 gr
Cáscaras de Frutas (plátano)	250 gr.
Cáscaras de Verduras (nabo,zanahoria,apio,etc)	450 gr.
Grasas de pollo y chanco.	300 gr.
Arroz.	200 gr
<b>TOTAL</b>	<b>1500 gr.</b>

Tabla N° 03: **Peso de Residuos alimenticios.**



Figura N° 02 **Residuos alimenticios que se pesan hasta 1,500 gr.**





Figura N° 03 Los residuos alimenticios son licuados para ingresar a los Biodigestores.



**c) PREPARACION DE INOCULO - ESTIERCOL DE VACA:**

Se utiliza 250 gr. como inóculo, para que acelere la descomposición de los residuos alimenticios, sólo el primer día.





Figura N° 04: Preparado del inóculo 250 gramos de estiércol de vaca.

d) **PREPARACION DE TRAZAS DE METAL NIQUEL :**

Se presenta en lámina y se corta con tijera en pequeñas trazas para adicionar al Biodigestor 01; 10 gramos cada 5 días.



Figura N° 05: Metal Níquel cortado en trazas.



e) **CARGA DE BIODIGESTORES:**

Se ingresa los residuos alimenticios licuado a los Biodigestores y al Biodigestor 01 se le adiciona 10 gr. del metal Níquel cada 5 días.



Figura N° 05: **Ingreso de Residuos Alimenticios al Biodigestor 1 y 2.**





Figura N° 06: **Biodigestor 1 y 2 con sus gaseómetros marcados a 200 ml. y recipiente para evacuación del agua.**

f) **SEGUIMIENTO DE LOS PROCESOS:**

El seguimiento de los procesos biológicos puestos en marcha en el marco de este trabajo, se realizó mediante controles in situ que se llevaron a cabo diariamente en el campo tomando datos analíticos realizados, cabe aclarar que todas las actividades de control del proceso las realicé personalmente.

**4.2. PRESENTACION, ANALISIS E INTERPRETACION DE LOS RESULTADOS:**

Los biodigestores B1 y B2 se cargaron con una temperatura ambiente de 20°C y se los mantuvo en proceso durante 15 días desde el 16 al 30 de agosto 2018, de forma que se pueda comparar el comportamiento del arranque y días posteriores. La medición de temperatura ambiental se realizó con el anemómetro de marca DAVIS.



Figura N° 07 : Equipo medición de Temperatura Ambiental (anemómetro ambiental: **Equipo DAVIS**), también registra velocidad de aire y humedad.

#### 4.2.1. TEMPERATURA AMBIENTE DURANTE LOS 15 DIAS :

DIA	TEMPERATURA		HORA MAYOR T°
	MINIMA	MAXIMA	
1	17.5	29.5	2
2	17.3	28.5	1
3	17.6	28.3	4
4	17.3	28	2
5	18.1	27	3
6	16.7	26.6	4
7	16.2	26.8	10
8	16.1	26.8	3
9	16.7	26.6	4
10	15.8	29.5	3
11	17.2	28.5	2
12	16.4	27.3	3
13	15.9	27.9	1
14	16.6	26.1	3
15	16.2	24.2	1
<b>PROMEDIO</b>	<b>17</b>	<b>27</b>	

Tabla N° 04: **Temperatura Ambiental Mínima y Máxima.**

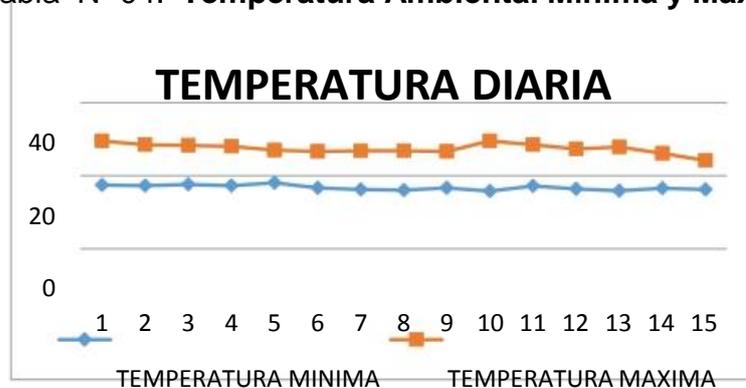


Figura N° 08: **Secuencia de Temperatura Mínima y Máxima.**

Se puede visualizar que la temperatura mínima en todo el proceso fue de 15.8 °C y la máxima 29.5 °C, cabe mencionar que a partir de los 20 °C los Biodigestores recién empiezan a generar el biogás por debajo de ello se mantiene estático, registrándose que la mayor generación del biogás se da en horas de la tarde, con mayor temperatura registrada entre la 1 y las 4 pm.

A continuación se describe el comportamiento de cada biodigestor en relación al volumen de biogás generado y el volumen de metano CH<sub>4</sub> obtenido.

#### 4.2.2. **VOLUMEN DE METANO CH<sub>4</sub> GENERADO:**

Para determinar el volumen se tuvo que realizar un **método no convencional de medición del gas metano CH<sub>4</sub> en la digestión anaerobia.**

En las diferentes investigaciones sobre digestión anaerobia, una de las variables a medir es la concentración porcentual de los gases producidos, por lo general bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>), el cual recibe el nombre de biogás; para determinar tal concentración, se emplea, en la mayoría de los casos, un cromatógrafo de gases, que en cuestión de escasos minutos establece, con alta confiabilidad los porcentajes de estos y otros gases. Sin embargo, en muchos de los casos, algunas investigaciones no pueden desarrollarse por la ausencia de un

cromatógrafo, o en su defecto, por los altos costos que se cobran en un laboratorio especializado.

- a) **ACTIVIDAD METANOGENICA:** Es una medida experimental de la capacidad de la materia orgánica y del sustrato para generar metano que se calcula a través del desplazamiento del líquido.

Desde el reactor biológico se conecta a una botella invertida que contiene una sustancia alcalina a base de NaOH al 99%, por medio de una manguera, la cual funciona como gaseómetro; esta botella está tapada y hermetizada; tiene dos entradas hipodérmicas, a una de las cuales se le conecta la manguera que transporta el biogás proveniente del reactor; Debido al alto valor de pH en el contenido de la botella, el CO<sub>2</sub> queda retenido en la sustancia alcalina, mientras que el metano, que no se disuelve, genera un desplazamiento del líquido, el cual representa el volumen de CH<sub>4</sub> contenido en el biogás.

#### 4.2.3. RETENCION DEL CO<sub>2</sub> :

Se evidencia la medición del PH del agua con el equipo peachimetro, la misma que en su acidez marca 6;32 y con 1 pastilla de Na OH al 99 %, sube el PH a 10.96 , suficiente para 24 horas para los dos litros de agua que tiene el gaseómetro.



Figura 09: Equipo Peachimetro: Medición del PH al agua del gaseómetro. Y pastillas de Na OH al 99 %.



Figura N° 10: PH del agua del gaseómetro 6.32 va subiendo a 8:21 con una sola pastilla de NaOH al 99%.



Figura N° 11: **POH del agua del gaseómetro llega hasta 10:96 altamente alcalina para retener al CO2 que sale de los biodigestores 1**

#### **4.2.4. PRODUCCION DIARIA DE METANO 15 DIAS DEL 16 AL**

**30.08.18**

<b>VOLUMEN METANO (ml).</b>			
<b>DIA</b>	<b>B1</b>	<b>B2</b>	<b>Tº</b>
1	200	50	29.5
2	200	100	28.5
3	1400	850	28.3
4	650	320	28
5	350	220	27
6	240	180	26.6
7	220	150	26.8
8	250	200	26.8
9	200	100	26.6
10	420	180	29.5
11	220	120	28.5
12	180	100	27.3
13	150	90	27.9
14	180	100	26.1
15	170	80	24.2
<b>TOTAL</b>	<b>5030</b>	<b>2840</b>	<b>27</b>

Tabla N° 05: **Volumen obtenido de Metano en el Biodigestor 1 y 2.**

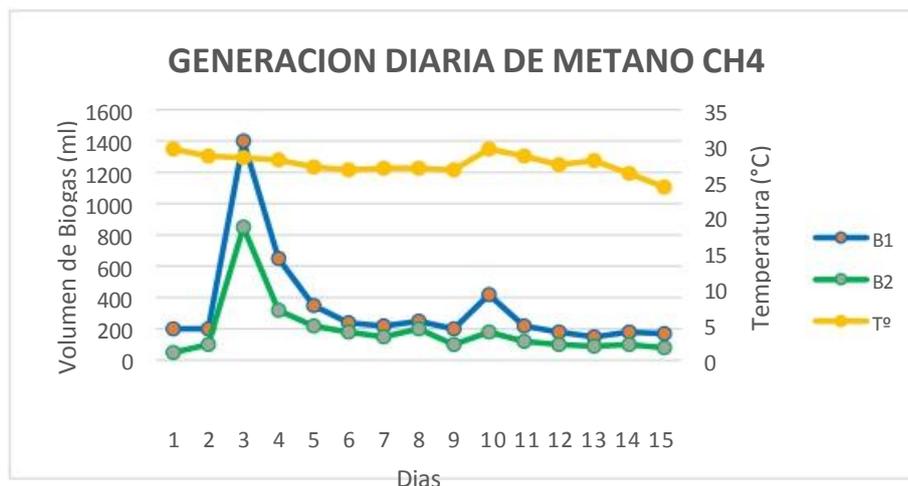


Figura N° 12: **Secuencia de la generación del Metano en los dos biodigestores.**

En el gráfico se presenta la evolución de generación de Metano CH<sub>4</sub> de ambos biodigestores y la temperatura ambiente en todo el periodo del proceso.

Comparando los comportamientos de ambos biodigestores en relación a la generación de Metano CH<sub>4</sub> se observa que el biodigestor B1 y B2 en los dos primeros días tiende a generar en 400 y 150 ml. Respectivamente; luego de adicionar más residuos alimenticios, en el tercer día tienen un incremento importante y de hecho es la máxima tasa de generación que se obtuvo en esta experiencia, alcanzando un volumen de 1400 ml en el Biodigestor 1, mientras que el biodigestor B2 generó 850 ml. Una vez superado estos picos de generación ambos biodigestores se mantuvieron en una taza diaria de generación de biogás más estable, con influencia de la temperatura ambiente y manteniéndose en una rango de 170 a 650 ml. para el biodigestor B1, y en un rango de menor amplitud de 80 a 320 ml para el biodigestor B2.

En cada día se aumentó los residuos alimenticios licuado de acuerdo a la cantidad de mililitros de agua evacuado en cada biodigestor más 1 gramo por litro de NaOH al 99%, para mantener el PH por encima de 6.5. y evitar que los microorganismos puedan morir por la acidez de la solución.



Figura N° 13: **Aumento de los Residuos Alimenticios licuados de acuerdo al volumen evacuado del agua.**



**Figura N° 14: Se ingresa un pequeño tubo para disolver la solución desde la base del biodigestor 01 y 02.**

Se destaca en el décimo día un incremento de generación de metano que excede el rango de días anteriores en ambos Biodigestores debido al incremento máximo de temperatura ambiente de 29.5 °C. Esta influencia de la temperatura comprueba la sensibilidad a las variaciones térmicas del proceso de biodigestión anaeróbica.

En el siguiente grafico se observa el volumen de metano acumulado en los 15 días de proceso para cada biodigestor. El B1 generó 5030 ml. mientras que el B2 generó 2840 ml. Es decir, el B1

obtuvo 2190 ml. más que el B2, que significa el 77 % más, por la bioestimulación del metal Níquel.



**Figura N° 15: Biodigestor 01:**  
**1er y 2do día evacúa 200 ml.**



**Figura N° 16: Biodigestor 02:**  
**1er día evacúa 50 ml. 2do día**  
**100ml Total: 150 ml.**

#### 4.2.5. VOLUMEN DE GAS METANO ACUMULADO

VOLUMEN DE GAS METANO ACUMULADO (ml).				
DIA	B1	B2	B1	B2
1	200	50	200	50
2	200	100	400	150
3	1400	850	1800	1000
4	650	320	2450	1320
5	350	220	2800	1540
6	240	180	3040	1720
7	220	150	3260	1870
8	250	200	3510	2070
9	200	100	3710	2170
10	420	180	4130	2350
11	220	120	4350	2470
12	180	100	4530	2570
13	150	90	4680	2660
14	180	100	4860	2760
15	170	80	5030	2840
<b>TOTAL</b>	<b>5030</b>	<b>2840</b>	<b>5030</b>	<b>2840</b>

Tabla N° 06: **Acumulación de Metano en los 15 días del biodigestor 01 y 02.**

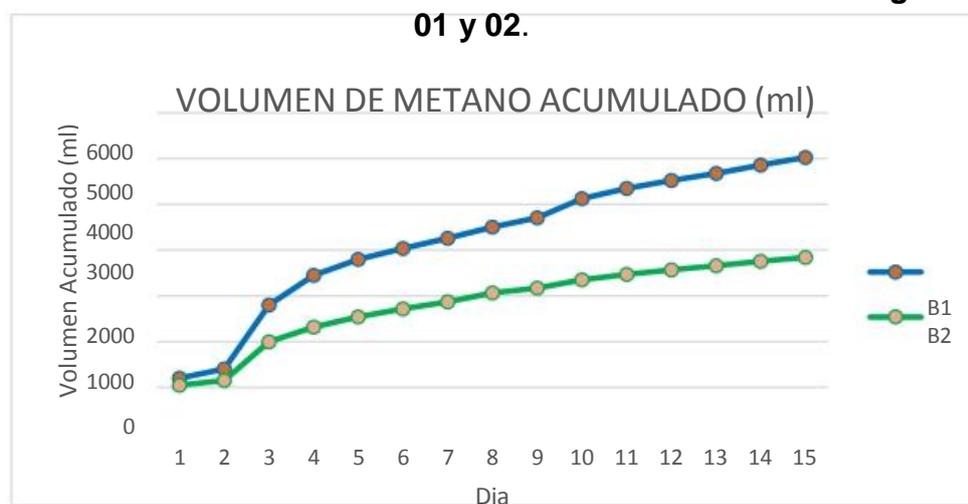


Figura N° 17 **Secuencia de acumulación de Metano en los 15 días del biodigestor 01 y 02.**

El componente del biogás de interés energético es el Metano, que se evalúa indirectamente como diferencia entre el volumen de biogás y el volumen de dióxido de carbono.

#### **4.2.6. PORCENTAJE DE METANO OBTENIDO.**

El procedimiento seguido para evaluar este parámetro, se ha realizado siguiendo los siguientes pasos:

1- Se tiene en los Biodigestores 01 y 02 en la parte superior un volumen de biogás para el Biodigestor 01:100 ml y Biodigestor 02: 50 ml.

2- Se realiza una presión con ambas manos en la parte lateral del biodigestor, hasta subir la solución 100 ml. y 50 ml. Para el Biodigestor 01 y 02 respectivamente.

3- Se transvasa en total los 100 ml y 50 ml, de cada Biodigestor hacia los gaseómetros.

4- Se mide la cantidad de líquido desplazado de la botella, el cual representa la cantidad de metano presente en el biogás transvasado.

5- Se efectúa el cálculo del porcentaje de metano dividiendo el volumen del líquido desplazado entre el volumen total de gas trasvasado.

Se tiene los siguientes datos para identificar el porcentaje de Metano.

<b>PORCENTAJE BIODIGESTOR 1</b>			
<b>DIA</b>	<b>VGT ml.</b>	<b>VLD ml.</b>	<b>% CH4</b>
1	100	65	<b>65</b>
2	100	68	<b>68</b>
3	100	69	<b>69</b>
4	100	70	<b>70</b>
5	100	68	<b>68</b>
6	100	67	<b>67</b>
7	100	68	<b>68</b>
8	100	64	<b>64</b>
9	100	65	<b>65</b>
10	100	70	<b>70</b>
11	100	68	<b>68</b>
12	100	67	<b>67</b>
13	100	67	<b>67</b>
14	100	67	<b>67</b>
15	100	60	<b>60</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1500</b>	<b>1003</b>	<b>67</b>

Tabla N° 07: **Porcentaje Metano Biodigestor 01.**

<b>PORCENTAJE BIODIGESTOR 2</b>			
<b>DIA</b>	<b>VGT ml.</b>	<b>VLD ml.</b>	<b>% CH4</b>
1	50	30	<b>60</b>
2	50	33	<b>66</b>
3	50	33	<b>66</b>
4	50	31	<b>62</b>
5	50	28	<b>56</b>
6	50	28	<b>56</b>
7	50	29	<b>58</b>
8	50	31	<b>62</b>
9	50	32	<b>64</b>
10	50	33	<b>66</b>
11	50	29	<b>58</b>
12	50	30	<b>60</b>
13	50	25	<b>50</b>
14	50	23	<b>46</b>
15	50	25	<b>50</b>
<b>TOTAL</b>	<b>750</b>	<b>440</b>	<b>59</b>

Tabla N° 08: **Porcentaje de Metano Biodigestor 02.**

#### 4.2.7. PRODUCCION DE BIOGAS OBTENIDO:

Los siguientes gráficos muestran la variación diaria del volumen de Metano en contraste con el comportamiento de generación de biogás para cada biodigestor por separado.

<b>B1: VOLUMEN METANO Y BIOGAS (ml).</b>			
<b>DIA</b>	<b>CH4</b>	<b>BIOGAS</b>	<b>Tº</b>
1	200	307.69	29.5
2	200	294.12	28.5
3	1400	2028.99	28.3
4	650	928.57	28
5	350	514.71	27
6	240	358.21	26.6
7	220	323.53	26.8
8	250	390.63	26.8
9	200	307.69	26.6
10	420	600.00	29.5
11	220	323.53	28.5
12	180	268.66	27.3
13	150	223.88	27.9
14	180	268.66	26.1
15	170	283.33	24.2
<b>TOTAL</b>	<b>5030</b>	<b>7422.19</b>	<b>27</b>
<b>PORCENTAJE</b>	<b>67.77</b>	<b>100.00</b>	

Tabla N° 09: **Determinación del Volumen de Metano y Biogás del B-01.**

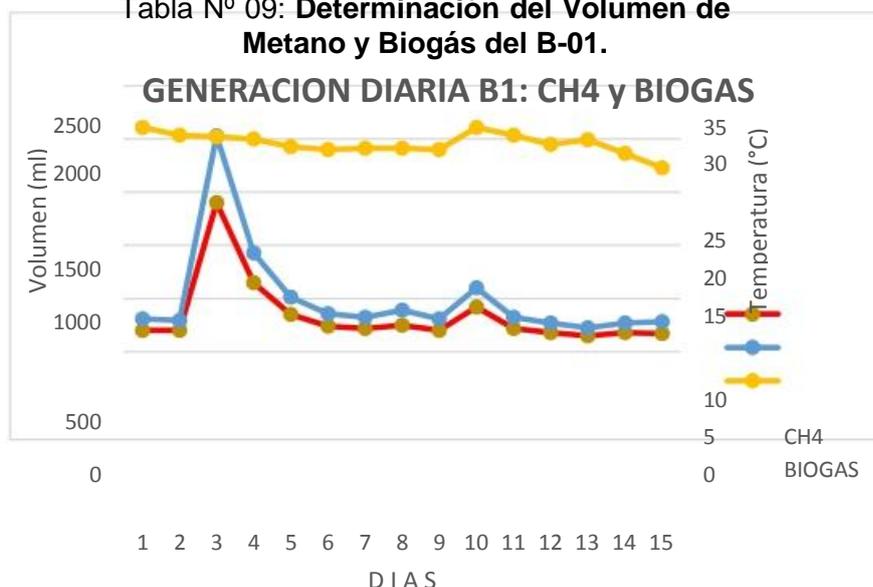


Figura N° 18: **Secuencia del Volumen del Metano y Biogás del B-1.**

<b>B2: VOLUMEN METANO Y BIOGAS (ml).</b>			
<b>DIA</b>	<b>CH4</b>	<b>BIOGAS</b>	<b>Tº</b>
1	50	83.33	29.5
2	100	151.52	28.5
3	850	1287.88	28.3
4	320	516.13	28
5	220	392.86	27
6	180	321.43	26.6
7	150	258.62	26.8
8	200	322.58	26.8
9	100	156.25	26.6
10	180	272.73	29.5
11	120	206.90	28.5
12	100	166.67	27.3
13	90	180.00	27.9
14	100	217.39	26.1
15	80	160.00	24.2
<b>TOTAL</b>	<b>2840</b>	<b>4694.28</b>	<b>27</b>
<b>PORCENTAJE</b>	<b>60.50</b>	<b>100.00</b>	

Tabla N° 10: **Determinación del Volumen de Metano y Biogás del B-02.**

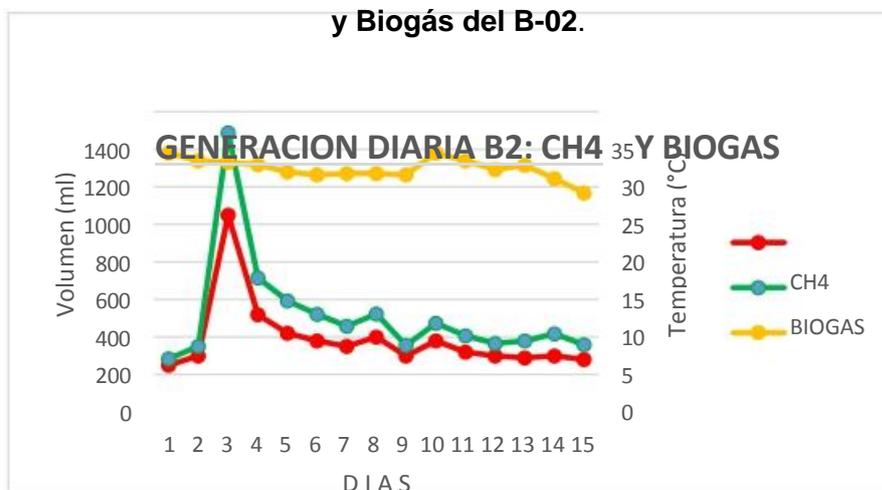


Figura N° 19: **Secuencia del Volumen de Metano y Biogás del B-02.**

Comparando los comportamientos de ambos biodigestores en relación al volumen de METANO CH4 obtenido se observa que el B1 presenta una tendencia muy similar al comportamiento de generación de biogás, mientras que en el B2 no es tan así.

El mayor porcentaje de metano obtenido en el Biodigestor 01 fue los días 3,4 y 5 con 69, 70 y 68% respectivamente, bajando lentamente y tienen una alza el día 10 por aumento de temperatura de 29.5°C. Llegando a 70 % de CH<sub>4</sub>. Respecto a los volúmenes de Biogás fluctúan entre 2,028.99 y 223.88 ml. Para el B2, la mayor proporción se da los días 3,4 y 5 llegando al 66% de Metano disminuyendo ligeramente para luego subir al día 10 a 66% de Metano por el incremento de temperatura de 29.5 %; con volúmenes de biogás que fluctúan de 1287.88 y 88.3ml.

#### **4.3 PRUEBA DE HIPOTESIS**

Ho: La tasa de producción de biogás obtenido a partir de los residuos alimenticios como sustrato a través de un medio anaeróbico alcanza el 65% de metano (CH<sub>4</sub>) y 35% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Ha: La tasa de producción de biogás obtenido a partir de los residuos alimenticios como sustrato a través de un medio anaeróbico es diferente a 65% de metano (CH<sub>4</sub>) y 35% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Ho:  $t = 65\%$

Ha:  $t \neq 65\%$

Concluimos la tasa de producción de biogás obtenido a partir de los residuos alimenticios con bioestimulación del metal Níquel, como sustrato a través de un medio anaeróbico alcanza el 67.77% de

metano (CH<sub>4</sub>) y 32.23% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que vendría hacer la diferencia del 100 % del Biogás generado en el experimento.

## CONCLUSIONES

1.- El proceso biológico puesta a prueba, anaeróbico, resulta adecuada para el tratamiento completo de los residuos alimenticios, siendo una metodología completa y definitiva que no requiere de otra etapa posterior para gestionar los residuos, ya que se obtiene el biogás con mayor cantidad y porcentaje de metano, elemental para el uso como energía calorífica o eléctrica.

2.- Esta experiencia propicia una alternativa de tratamiento y valorización de los residuos generados en los comedores, resultando una mejora para la gestión ambiental de los mismos.

3.- El metal Níquel mostró que aporta nutrientes esenciales al proceso anaerobio por lo cual puede ser una utilización de lo que hoy es un contaminante del proceso productivo niquelífero.

BIOGAS	HIPOTESIS (%)	RESULTADO					
		BIODIGESTOR 01			BIODIGESTOR 02		
		% METANO	METANO ml.	BIOGAS ml.	% METANO	METANO ml.	BIOGAS ml.
METANO	65	67.77	5030	7422.19	60.5	2840	4694.28
CO 2	35	32.23	2392.19		39.5	1854.28	

4.- El potencial energético (calorífico) del Metano se incrementa en 12.95 % Teniendo en consideración que el potencial energético del Biogás en relación de 60% de CH<sub>4</sub> y 40 % de CO<sub>2</sub> es: 20 mega joules/m<sup>3</sup>; con el Biodigestor 1 se obtiene el potencial energético de : **23 mega joules/m<sup>3</sup>. Incrementándose en 3 mega joules/m<sup>3</sup>.**

5.- De acuerdo al % del gas metano del Biodigestor 2 Es necesario continuar aumentando la dosis de Níquel hasta llegar al valor óptimo de ésta. Resulta válido destacar que este trabajo es un estudio preliminar que sienta las bases para el desarrollo posterior de diferentes variantes que puedan dar una respuesta aún más concluyente respecto al uso “universal” de los residuos mineros como **estimulantes del proceso anaerobio**.

En la actualidad el tratamiento anaerobio está muy difundido dada sus ventajas técnico- económicas, no obstante hay que controlar diferentes factores que influyen en el proceso y que son imprescindibles para su buen funcionamiento como son: composición del residual, temperatura, pH, entre otros

El desarrollo de las actividades realizadas en esta tesis, me permitió cumplir con los objetivos planteados en tiempo y forma, abordando una problemática ambiental real, por lo que me siento satisfecho al reconocer un incremento importante en mi experiencia y conocimiento, que me entusiasman para el futuro trabajo profesional como Maestro en Gestión Ambiental.

## RECOMENDACIONES

1.- Se deben realizar muestreos periódicos y sus respectivos análisis de laboratorio, tanto para la carga de entrada como de la salida del biodigestor, con el fin de evaluar la eficiencia en la remoción de la DQO (Demanda Química de Oxígeno), DBO ( Demanda Bioquímica de Oxígeno), sólidos totales, entre otros; así como la producción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), en este caso.

2.- Es importante continuar con el estudio de los productos obtenidos en este proyecto, especialmente para poder almacenar el biogás en recipientes bajo presión, con lo que se lograría extender su uso a otros sectores y no limitarlo al consumo local, para ello se debe reducir la corrosión de éste producto y filtrar los gases perjudiciales que se incluyen en el proceso de fermentación anaeróbica.

## BIBLIOGRAFÍA

Dhanariya, Rama, and Sarita Sharma. 2015. "A Study of Biogas Production from Different Kitchen Waste." 4(1): 21-25. Traducción .

Dhanariya, Rama, Sarita Sharma, Ashok K Sharma, and Sanjay Verma. 2014. "A Review on Biogas Production from Food Waste." *INTERNATIONAL JOURNAL OF PHARMACEUTICAL AND CHEMICAL SCIENCES ISSN* 3(4): Traducción mía. [www.ijpcsonline.com](http://www.ijpcsonline.com) (October 6, 2017).

K, Doelle, and Oliveira F. 2015. "Anaerobic Digestion of Food Waste to Produce Biogas: A Comparison of Bioreactors to Increase Methane Content-A Review." *Journal of Food Processing & Technology* 6(8): 8–10 Traducción mía. <https://www.omicsonline.org/open-access/anaerobic-digestion-of-food-waste-to-produce-biogas-a-comparison-of-bioreactors-to-increase-methane-content-a-review-2157-7110-1000478.php?aid=58850>.

Lama, Laxman, and Sunil Prasad. "Production of Biogas from Kitchen W Index Terms-Biodegradable Kichen Waste, Biogas, ARTI Model Compact Biogas Plant, Energy from Waste." *L Rentech Symposium Compendium* (2): Traducción mía. [http://www.ku.edu.np/renewablenepal/images/rentech2/rentech\\_vol\\_2\\_03\\_II.pdf](http://www.ku.edu.np/renewablenepal/images/rentech2/rentech_vol_2_03_II.pdf) (October 6, 2017).

Lorenzo Acosta, Yaniris; Obaya Abreu, Ma Cristina. 2005. "La Digestión Anaerobia. Aspectos Teóricos. Parte I." XXXIX(1): 35–48. <http://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf> (October 20, 2017).

Moeller Chávez Gabriela Eleonora Secretario, Dra et al. 2014. “Efecto de Iones Metálicos Sobre La Metanogénesis En La Digestión Anaerobia de Residuos Sólidos Orgánicos Urbanos.” <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/6970/Tesis.pdf?sequence=1> (October 20, 2017).

Ojolo, S J, S A Oke, K Animasahun, and B K Adesuyi. 2007. “UTILIZATION OF POULTRY, COW AND KITCHEN WASTES FOR BIOGAS PRODUCTION: A COMPARATIVE ANALYSIS.” *J. Environ. Health. Sci. Eng* 4(4): 223–228 Traducción mía. <http://www.bioline.org.br/pdf?se07034> (October 6, 2017).

Pereda Reyes, I, R Irusta Mata, and D Oliva Terencio. 2007. “Uso de Los Residuos Sólidos Mineros de La Extracción Del Níquel Como Estimulantes Para La Producción de Biogás.” *Ingeniería Mecánica* 10(1): 57–61. [http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-10/1-2007/09-2007\\_01\\_57\\_61.pdf](http://revistascientificas.cujae.edu.cu/Revistas/Mecanica/Vol-10/1-2007/09-2007_01_57_61.pdf).

Philosophy, Doctor O F, and Vidhya Prabhudessai. 2013. “Anaerobic Digestion of Food Waste in a Horizontal Plug Flow Reactor.” : Traducción mía.

Ramzan, N, S Naveed, N Latif, and A R Saleemi. 2010. “Characterization of Kitchen Waste as a Feedstock for Biogas Generation by Thermophilic Anaerobic Digestion.” *Journal of Engineering Sciences* 3: 15–21 Traducción mía.

Riar, Navjot, and Shakti Kumar. 2013. “A Study of Treatability of Kitchen Wet Waste And Biogas Production.” : 62–65 Traducción mía.

Rincón Ramírez, Maribet, Nancy Rincón Lizardo, Joan Mata Álvarez, and Iván Chirinos. 2014. "Biodegradabilidad de Residuos de Alimentos Preparados Bajo Condiciones Mesofílicas Y Termofílicas Utilizando Un Reactor Anaeróbico de Mezcla Completa." <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v24n1/v24n1a02.pdf> (October 20, 2017).