



**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE
AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE UN BIODIGESTOR TUBULAR DE
POLIETILENO PARA PRODUCIR BIOGÁS A PARTIR DE
PAJA DE ARROZ Y AGUA DEL RÍO UTCUBAMBA EN LA
CIUDAD DE BAGUA GRANDE -AMAZONAS, 2016.**

**Tesis para optar el título de:
INGENIERO AMBIENTAL**

Autor

Br. Carlos Miguel Campos Peralta

Asesor

Ing. Wagner Guzmán Castillo

Chachapoyas - Perú

2017

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres, hermanos y amigos, quienes me apoyaron incondicionalmente y con su perseverancia, paciencia y sabiduría supieron forjar mi vida personal.

A mi asesor Wagner Guzmán quien fue fundamental para la realización de esta investigación, a mis jurados de tesis y a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

A todas las personas que de alguna u otra manera me ayudaron y fueron imprescindibles durante mi formación profesional.

Miguel

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios por brindarme sus bendiciones y haberme guiado durante toda mi formación profesional. A mis padres: Israel y Marita, a mis hermanos: Edwin, Marlita y Fiorela. A mi asesor Wagner Guzmán Castillo quien con sus conocimientos fue fundamental para realizar este trabajo de investigación, a mis jurados quienes con sus observaciones, comentarios y sugerencias contribuyeron a realizar con éxito este trabajo de investigación. A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza por darme la oportunidad ser un buen profesional, al INDES CES, en especial al Laboratorio de Aguas y Suelos y al biólogo Fernando Corroto. Y a todas las personas que me ayudaron a superar los diferentes obstáculos que encontré durante el desarrollo de esta investigación.

Miguel

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MAENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D, Jorge Luis Maicelo Quintana

Rector

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Vicerrector Académico

Dra. María Nelly Luján Espinoza

Vicerrector de Investigación

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR

EL docente de la UNTRM – A, Wagner Guzmán Castillo, que suscribe hace constar que ha asesorado la tesis titulada:

Propuesta de un biodigestor tubular de polietileno para producir biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba en la ciudad de Bagua Grande -Amazonas, 2016.

Presentado por el Bachiller: Carlos Miguel Campos Peralta. Habiendo revisado el informe final de la tesis en mención doy la conformidad y el visto bueno para continuar con los trámites correspondientes.

Chachapoyas, 2017

Ing. Wagner Guzmán Castillo

Asesor

JURADO EVALUADOR

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Presidente

Lic. José Luis Quispe Osorio

Secretario

Ing. Juan Alberto Romero Moncada

Vocal

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
ÍNDICE DE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	x
ABSTRACT.....	xi
I INTRODUCCIÓN.....	12
II OBJETIVOS.....	14
2.1. Objetivo general.....	14
2.2. Objetivos específicos.....	14
III MARCO TEÓRICO.....	15
3.1. Antecedentes de investigación.....	15
3.2. Bases teóricas.....	17
3.3. Definición de términos básicos.....	38
IV MATERIAL Y MÉTODOS.....	43
4.1. Material biológico.....	47
4.2. Métodos técnicas e instrumentos.....	47
V RESULTADOS.....	53
VI DISCUSION.....	60
VII CONCLUSIONES.....	61
VIII RECOMENDACIONES.....	62
IX REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63
ANEXOS.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Tabla 1. Relaciones Carbono/Nitrógeno de varios productos residuales.....	21
Tabla 2. Comparación entre el poder calorífico del biogás con el de otros combustibles.....	27
Tabla 3. Dimensiones de la zanja según ancho del rollo	36
Tabla 4. Composición química del biogás.....	38
Tabla 5. Listado de artefactos que utilizan biogás.....	39
Tabla 6. Características físico- químicas del substrato paja de arroz.....	41
Tabla 7. Volumen de biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba en m ³	51
Tabla 8. Volumen de biogás generado durante época húmeda.....	53
Tabla 9. Volumen de biogás generado durante época seca.....	53
Tabla 10. Parámetros fisicoquímicos de agua - época húmeda.....	53
Tabla 11. Parámetros fisicoquímicos de agua del río época seca.....	54
Tabla 12. Informe de estadísticos: Volúmenes de biogás en época húmeda y época seca.....	55
Tabla 13. Promedio de volumen de biogás por Kg de paja de arroz.....	56
Tabla 14. Propuesta de un biodigestor familiar tubular de polietileno para producir bogas a partir de paja de arroz.....	57
Tabla 15. Costo total del biodigestor tubular de polietileno propuesto.....	58
Tabla 16. Beneficios directos por el uso del biodigestor tubular para producir biogás a partir de paja de arroz en un año.....	58
Tabla 17. Beneficios del uso del biodigestor tubular de polietileno en un periodo de 5 años	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I. Temperaturas de Bagua Grande en época húmeda.....	55
Figura II. Temperaturas de Bagua Grande en época seca.....	55
Figura III. Diagrama de cajas: Volumen de biogás por tipo de agua.....	57

RESUMEN

Se diseñó un biodigestor tubular de polietileno para obtener biogás a partir de paja de arroz con agua del río Utcubamba, para sustituir el uso de leña de una familia promedio. Se construyó tres biodigestores experimentales para producir biogás y estimar la producción de biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba, El experimento se realizó bajo condiciones ambientales no controladas, a una proporción biomasa - agua de 1:2 (2kg de substrato y 4 L de agua). El volumen de biogás se obtuvo, utilizando un manómetro de tubo en U y la ley de gases ideales. Los datos se analizaron con el programa Statistics 23.0, mediante una prueba de comparación de medias. Se concluyó que el volumen de biogás generado es 541 ml en época seca y 534 ml en época húmeda. En base a los resultados obtenidos se diseñó un biodigestor tubular de polietileno de 5,23 m³ (7,69 m³ de biogás diariamente), de bajo costo (1 174,90 soles), con un retorno de la inversión inicial en menos de 4 años, lo que contribuirá a sustituir el consumo de leña de una familia promedio y a reducir la contaminación ambiental generada en Bagua Grande - Amazonas.

Palabras clave: biogás, paja de arroz, biodigestor tubular.

ABSTRACT

A tubular biodigester of polyethylene was designed to obtain biogas from rice straw with water from the Utcubamba River, to replace the use of firewood from an average family. Three experimental biodigesters were constructed to produce biogas and to estimate the biogas production from rice straw and Utcubamba river water. The experiment was carried out under uncontrolled environmental conditions at a biomass - water ratio of 1: 2 (2 kg of substrate And 4 L of water). The volume of biogas was obtained using a U-tube manometer and the ideal gas law. The data were analyzed using the Statistics 23.0 program, using a means comparison test. It was concluded that the volume of biogas generated is 541 ml in the dry season and 534 ml in the wet season. Based on the results obtained, a tubular biodigester of polyethylene of 5,23 m³ (7,69 m³ of biogas daily), of low cost (1 174.90 soles) was designed, with a return of the initial investment in less than 4 Years, which will contribute to substitute the consumption of firewood of an average family and to reduce the environmental pollution generated in Bagua Grande - Amazonas.

Key words: biogas, rice straw, tubular biodigester.

I. INTRODUCCIÓN

“La cosecha y producción de arroz genera biomasa residual que actualmente no posee una ruta de disposición ambientalmente sostenible; sin embargo podría ser una fuente importante de carbono para procesos energéticos” (Contreras *et al.*, 2012). En Bagua Grande, el arroz es uno de los principales cultivos, el cual genera una gran cantidad de residuos agrícolas (paja, cascara y residuos del proceso de secado), los cuales al ser quemados o descompuestos al aire libre, generan emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que contaminan el medio ambiente, García (2010) afirma que “cada hectárea de arroz genera 4.86 toneladas de paja de arroz”. Según un informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), el 30% de las emisiones globales de metano antropogénico y el 11% de óxido nitroso provienen de campos de arroz. Su *et al.* (2015), afirman que el metano (CH₄) “es responsable de aproximadamente el 20% del efecto de calentamiento global, siendo los arrozales la mayor fuente de metano antropogénico (...) con emisiones anuales de 25 a 100 millones toneladas” Esto ocasiona severos impactos al medio ambiente y a la salud de las personas. Otro problema que enfrenta Bagua Grande es la escasez de agua de buena calidad para consumo humano, a pesar de la cercanía al río Utcubamba, cuyas aguas no son aptas para consumo humano.

En Cuba, Contreras *et al.*, (2012) evaluaron el potencial energético de residuos arroceros mediante la ruta bio-conversión a biogás. Hernández *et al.*, (2014) realizaron una investigación en la que adicionaron arcillas residuales industriales para estimular la producción de metano durante la co-digestión anaerobia de residuos porcinos y paja de arroz. En la Universidad Nacional Agraria La Molina se realizó una investigación en la cual el objetivo fue comparar la calidad y cantidad de biogás producido utilizando aguas residuales domésticas y purín de cerdo como alimentación de biodigestores con respecto a la utilización de agua de pozo de la Universidad y purín de cerdo. (Pinto, s.f.) Barrena *et al.*, (2007) hicieron un experimento en el que se produjo biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, agua de desagüe y cascara de papa. En este estudio utilizaron agua de caño reposada.

El Ministerio Nacional del Ambiente (MINAM, 2014), sugiere “fomentar el desarrollo de tecnologías innovadoras para reducción de emisiones de GEI, captura de carbono e incremento de sumideros y crear líneas de investigación y desarrollo académico y tecnológico en universidades y centros de investigación”. Gutiérrez *et*

al, (2012) afirma que “resulta sumamente importante hacer investigación en el campo de los biocombustibles para obtener mejores rendimientos y calidad en cuanto a su producción reduciendo a la vez la contaminación ambiental cuando se utilizan residuos como materia prima” En este sentido, el biogás, (...) se considera una forma de energía limpia y renovable que puede sustituir fuentes de energía convencionales, especialmente en áreas rurales. (Weiland, 2010, citado en Contreras *et al*, 2012).

Se calculó el biogás producido a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba de manera experimental, utilizando tres biodigestores. A partir de los resultados obtenidos se propone un biodigestor tubular de polietileno para proyectar los resultados obtenidos y sustituir el consumo de leña de una familia promedio. Los biodigestores tubulares de régimen estacionario fueron construidos con bolsas de HDPE (polietileno de alta densidad). El volumen de biogás producido acumulado utilizando paja de arroz mezclado con agua del río Utcubamba fue 541 ml. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se propone un biodigestor tubular de polietileno para producir biogás a partir de paja de arroz, considerando que en menos de 4 años se podrá recuperar la inversión inicial (1 174 soles), si se utiliza polietileno de 7,26 m de longitud y 1,5 m de ancho, que genere 7,69 m³ de biogás, para sustituir el uso de leña que requiere una familia promedio en la cocción de sus alimentos, contribuir a reducir la contaminación ambiental, y mejorar la calidad de vida de las personas de Bagua Grande – Amazonas.

II. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Proponer un biodigestor tubular de polietileno para producir biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba en la ciudad de Bagua Grande.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar los parámetros óptimos de diseño mediante la construcción de biodigestores experimentales, en época húmeda y época seca, para producir biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba.
- Evaluar la viabilidad económica del biodigestor para producir biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba y sustituir el uso de leña de una familia promedio en Bagua Grande

III. MARCO TEÓRICO

3.1 Antecedentes de investigación

A nivel Internacional

En Cuba se concluyó que “el potencial de biogás de $0,52 \text{ m}^3 \text{ kgSV}^{-1}$ correspondió a la paja de arroz como mono sustrato durante un tiempo de digestión de 36 días, bajo condiciones termofílicas” (Contreras *et al.*, 2012)”. En esta investigación el mayor volumen de biogás producido fue $0,28 \text{ m}^3$ de biogás por Kg de paja de arroz bajo condiciones mesofílicas, la diferencia de los valores se debe a que en Cuba se calculó la producción de biogás por Kg de sólidos volátiles. Chandra *et al.*, (citado en Contreras *et al.*, 2012) “reportan para la paja un rendimiento de metano $167 \text{ kg CH}_4 \text{ T}^{-1}$ ” En esta investigación se obtuvo 334 Kg de biogás por tonelada de paja de arroz utilizando paja de arroz y agua del río Utcubamba en época seca bajo condiciones mesofílicas, los resultados difieren porque Chandra *et al.*, calcularon sus resultados en Kg de CH_4 . Si se tiene en cuenta que el biogás está compuesto en un 50 a 70 % de CH_4 , los resultados serían similares.

Hernández *et al.* (2014) realizaron una investigación en la que adicionaron arcillas residuales industriales para estimular la producción de metano durante la co-digestión anaerobia de residuos porcinos y paja de arroz, resultando un aumento en la producción de biogás en un 40%. Esto demostró el efecto positivo de la adición de co-sustratos orgánicos de naturaleza agrícola. Hernández *et al.*, obtuvieron mayor producción de biogás probablemente porque adicionaron estiércol de porcinos y arcillas residuales industriales las cuales tienen mayor cantidad de bacterias que contribuyen a una mejor digestión anaeróbica y en consecuencia mayor producción de biogás.

A nivel Nacional

En la Universidad Nacional Agraria La Molina se realizó una investigación en la cual el objetivo fue comparar la calidad y cantidad de biogás producido utilizando aguas residuales domésticas y purín de cerdo como alimentación de biodigestores con respecto a la utilización de agua de pozo de la Universidad y purín de cerdo. Se llegó a la conclusión que el volumen de biogás producido acumulado utilizando aguas residuales como alimentación (Tratamiento 1) para los reactores fue de 436.2 litros, y el volumen producido utilizando agua de pozo (Tratamiento 2) fue de 357.5 litros medidas a Condiciones Normales. (Pinto, s.f). Los resultados demuestran al igual que en la presente investigación que el tipo de agua influye en la producción de biogás aumentando su producción cuando se utiliza agua con mayor cantidad de microorganismos y de DBO.

Según Ferrer *et al.*, (2009), en los proyectos piloto que se presentan, ubicados en Perú, se han implementado alrededor de 20 biodigestores familiares, en comunidades rurales de la zona de Cusco y de Cajamarca. La mayoría se encuentran a 3000-4000 m.s.n.m, y la temperatura dentro del biodigestor oscila entre 10-23 °C gracias a la implementación de invernaderos que permiten amortiguar las oscilaciones térmicas día-noche. En general se trata de biodigestores tubulares de polietileno que producen aproximadamente 0.2 m³ de biogás/m³ biodigestor día⁻¹, dentro del rango psicrófilico, con biodigestores de 5 m³ es suficiente para cocinar 3-4 h diarias, sustituyendo los combustibles tradicionales. Se diseñan para trabajar a un tiempo de retención de 90 días, y se alimentan diluyendo estiércol con agua en una proporción 1/3 (v/v), estos valores ayudan a que no se formen espumas en la superficie, y a que la mezcla en el interior del biodigestor fluya correctamente. El coste de construcción de los biodigestores es 140.7 soles/ m³. A nivel financiero, la instalación es más viable cuando el biogás sustituye un combustible con valor de mercado como el gas propano, resultando en un payback de 2 años y 8 meses.

El desarrollo de digestores en la zona andina presenta una barrera tecnológica fundamental como son las bajas temperaturas. Digestores robustos ampliamente difundidos, como el chino o el hindú, de gran complejidad y coste elevado, no podrían funcionar estas condiciones climáticas. En cambio, los biodigestores tubulares de plástico, instalados en una zanja con aislamiento térmico del suelo, y

cubiertos con un invernadero que se soporta sobre paredes gruesas de arena compactada (adobe o tapiales), son una buena alternativa para superar estas limitaciones (Ferrer *et al*, 2009).

Poggio *et al*, (2006) realizaron una investigación de adaptación de los biodigestores tubulares de plástico a climas fríos donde concluye que la sustitución de combustibles tradicionales (leña y bosta) y/o fósiles por biogás conlleva beneficios tanto ambientales como sanitarios para los usuarios. El coste total de los materiales empleados para el digestor de PVC (1746 soles) es un 73% superior con respecto al digestor de polietileno (1 008 soles). En esta investigación se estimó un costo total para la construcción de un biodigestor tubular de 5.227 m³ es 1 174.9 soles, 166.9 soles más que el costo estimado por Poggio *et al*.

A nivel local

Barrena *et al*, (2007) hicieron una investigación que consistió en producir biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, agua de desagüe y cascara de papa, y utilizaron agua de caño reposada como grupo de control, lograron producir 195 ml de biogás en un digestor de 1795 ml que contenía 583 ml de estiércol, 35 ml de agua de desagüe; y 79 g de cascara de papa, siendo la relación 1:2 (estiércol, agua) lo que produjo mayor volumen de biogás, a los 45 días. Llegando a la conclusión que un mayor volumen de agua residual, no influye a una mayor producción de biogás. En esta investigación se empleó estiércol de ganado vacuno y en las investigaciones donde el tipo de agua estimula una mayor producción de biogás se utilizó paja de arroz, la diferencia entre estos dos sustratos es su relación C/N (carbono - nitrógeno).

3.2 Bases teóricas

3.2.1 Normatividad

Según el Ministerio de Energía y Minas, la actual Política Energética del Perú tiende a diversificar la matriz energética, mediante el desarrollo de las fuentes primarias disponibles en el país, también llamadas fuentes energéticas autóctonas.

El Perú ya posee compromisos, como la Política Nacional Energética 2010-2040 y en la reunión ministerial de la XVI Conferencia de las Partes

de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, el país ha reafirmado los compromisos voluntarios asumidos ante NN.UU. para modificar su matriz energética actual y alcanzar un 40% de utilización de energías renovables al año 2021, contribuyendo así a la mitigación de los efectos del cambio climático a nivel mundial.

Mediante el Decreto Supremo N° 026-2010-EM, publicado el 28 de mayo de 2010, se creó la Dirección General de Eficiencia Energética (DGEE), como el órgano técnico y normativo encargado de proponer y evaluar la política de eficiencia energética y energías renovables no convencionales.

3.2.2 Proceso de digestión anaeróbica

El proceso de digestión anaeróbica depende de diversos factores como el pH que debe oscilar entre 6,5 a 7,5 (Canales, 2011), la temperatura y tiempo de retención, la hermeticidad del digestor (ausencia de O₂), la relación carbono/nitrógeno de la materia prima y del agua, cantidad y calidad de agua a utilizar en la mezcla, el tipo de sustrato, etc. En climas cálidos como el de Bagua Grande el proceso se realizará por Fermentación mesofílica, en un rango de temperatura promedio diaria entre 20 y 35°C y aproximadamente 30 a 40 días de retención.

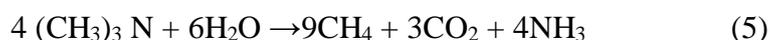
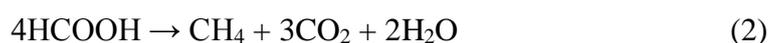
3.2.3 Principales etapas en la descomposición anaeróbica

Según Canales (2011) Las fases principales del proceso anaerobio son cuatro, las cuales se detallan a continuación:

- **Hidrólisis.** En esta etapa, los sustratos complejos (celulosa, proteína, lípidos) son hidrolizados en compuestos solubles (azúcares, aminoácidos y grasas) (Olaya y González, 2009).
- **Acidogénesis.** Los productos obtenidos en la fase de hidrólisis son convertidos a ácidos grasos de bajo peso molecular como el ácido acético, fórmico, propiónico e incluso dióxido de carbono, entre otros (Gutiérrez *et al.*, 2012: 884). Se conoce también como etapa fermentativa, su pH se encuentra entre 5.1 y 6.8 (Olaya y González, 2009).
- **Acetogénesis.** Esta etapa ocurre cuando las bacterias acetogénicas oxidan el ácido propiónico y el butírico hasta acético e hidrógeno, que son los verdaderos sustratos metanogénicos (Olaya y González, 2009). Se

produce acetato, dióxido de carbono e hidrógeno, bicarbonatos y compuestos amoniacales (Gutiérrez *et al.*, 2012: 885). Se caracteriza por presentar mal olor debido a la presencia de ácido sulfhídrico (H₂S), flotación de gran parte de sus sólidos, y un pH aún en la zona ácida con valores entre 6.6 y 6.8 (Olaya y González, 2009)

- **Metanogénesis.** Los compuestos de ácido acético, gas hidrógeno son tomados por las bacterias metanogénicas y metabolizadas a metano (CH₄) (Canales, 2011). Según (Olaya y González, 2009), este es un periodo de digestión intensiva, se caracteriza por la producción de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno. Como características del material digerido, están el olor a alquitrán, hay pequeñas cantidades de sólidos flotantes, y el pH se ubica en la zona alcalina, con valores entre 6.9 y 7.4. Las bacterias metanogénicas sólo pueden usar un número limitado de sustratos para la formación de metano, éstos son CO₂, H₂, acetato, metanol y metilamina,; las reacciones de conversión más usuales en la producción de energía que involucran estos compuestos son:



3.2.4 Factores del proceso anaerobio

- **pH:** Este parámetro determina la inhibición o toxicidad de las bacterias metanogénicas, ocurriendo esta patología cuando es inferior a 6.0 (Olaya y González, 2009). Un adecuado funcionamiento se presentará con un pH en el biodigestor entre 6.5 y 7.5 (Olaya y González, 2009).
- **Temperatura y tiempo de retención:** El rango de temperatura y el periodo de retención dentro del biodigestor, clasifican la fermentación de la siguiente manera (Olaya y González, 2009).

Fermentación psicrófila, para un rango de temperatura entre 10 y 20°C y más de 100 días de retención.

Fermentación mesofílica, para un rango de temperatura entre 20 y 35°C y aproximadamente 30 a 40 días de retención.

Fermentación termofílica, para un rango de temperatura entre 50 y 60°C y más de 8 días de retención. Este tipo de fermentación no es apropiada para plantas sencillas (Olaya y González, 2009).

- **Relación Carbono Nitrógeno C/N:** “Los microbios siempre consumen estos elementos en determinada proporción (...). Existen muchos criterios en lo referente a esta relación pero se reconoce en general como aceptable una relación C/N de 20 – 30:1” (Guevara 1996, citado en Olaya y González, 2009) “aunque el valor ideal es de 16” (Corace et al., 2006, citado en Olaya y González, 2009)).

Según Guevara, 1996 (citado en Olaya y González, 2009), las excretas de humanos y de animales son ricas en nitrógeno, con una relación C/N 25:1, durante la fermentación tienen una mayor velocidad de biodegradación y de generación de gas; en cambio los residuos agrícolas son ricos en carbono, con una relación C/N superior a 30:1, pero con una generación más lenta de gas en el proceso de digestión.

Mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como por ejemplo, el estiércol de gallina) con material de fermentación con alto contenido de carbono (como el tamo de arroz) generan una elevada producción de gas (Alcayaga *et al.* 1999, citado en Olaya y González, 2009). Por ello es conveniente agregar las materias primas ricas en nitrógeno a las materias primas ricas en carbono (residuos agrícolas para tener una mejor producción de biogás.

La tabla 1, muestra las relaciones C/N para varios productos residuales (Guevara 1996; Corace *et al.* 2006, citado en Olaya y González, 2009):

Tabla 1*Relaciones Carbono /Nitrógeno de varios productos residuales*

SUSTANCIA	RELACIÓN C/N
Orina	0.80
Estiércol equino	25.00
Estiércol vacuno	18
Alfalfa	16 – 20
Aserrín	511.00
Basura	25.00
Cascara de papa	25.00
Paja seca de arroz	67.00
Tallo de maíz	53.00
Hojas secas	41.00
Estiércol de aves	32.00
Excretas frescas humanas	2.90

Fuente: (Guevara 1996; Corace *et al.*, 2006, citado en Olaya y González, 2009).

“La relación C/N de la combinación puede ser calculada como (Guevara 1996, citado en Olaya y González, 2009):

$$K = \frac{\sum C_i \cdot X_i}{\sum N_i \cdot X_i}$$

Donde, K es la relación C/N de la combinación de materias escogidas para la carga, N es el porcentaje de nitrógeno de la materia i, C es el porcentaje de Carbono de la materia i, y X es el peso de la materia i.

- **Niveles de amoniaco:** Este parámetro es importante cuando se utilizan determinados materiales que contienen un alto porcentaje, como es el caso de los estiércoles de aves. Se recomienda que los niveles dentro de los digestores se mantengan por debajo de los 2000 mg/l, para lo cual se

aumentan las diluciones de entrada del material (Álvarez *et al.*, s.f, citado en Olaya y Gonzáles, 2009).

- **Cantidad y calidad del agua:** “Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, y la cantidad de biogás producido será pequeña” (Olaya y Gonzáles, 2009). Cuando la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada. El uso primordialmente de excreta humana y orines, estiércol, y desechos de agricultura, como alimento para el digestor, deberá conllevar a una razón de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2” (Olaya y Gonzáles, 2009).
- **Materiales orgánicos:** Los residuos vegetales como paja, pasto y desechos de verdura, pueden fermentarse anaerómicamente debiendo previamente triturarse para evitar la formación de capa flotante y dar un tratamiento especial en plantas donde se hace una sola carga hasta que el material se descompona (Olaya y González, 2009).

3.2.5 Aplicaciones del biogás

La utilización de restos de tallos y hojas producto de la cosecha de arroz mezclado con agua del río Utcubamba para producir biogás, combinada con las condiciones ambientales óptimas de la ciudad de Bagua Grande, puede convertir a la producción de biogás en una estrategia para dotar de energía renovable para las comunidades rurales del departamento de Amazonas y constituir una fuente económica de energía doméstica, que pueda emplearse en la cocción de alimentos como sustituto de la leña. Según Bautista (2010, citado en Barrena *et al*, 2007) “el biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural”; puede emplearse para generación de “electricidad y calor, estufas, lámparas y motores” (Bautista, 2010, citado en Barrena *et al*, 2007).

3.2.6 El cultivo de arroz amenaza el ecosistema

En el informe de la Estrategia Nacional ante el cambio climático del Ministerio del Ambiente del 2014, señala que “el calentamiento global ha surgido como consecuencia del incremento de las actividades productivas y económicas a partir de la Revolución Industrial, y de la tendencia actual en los patrones mundiales de consumo y uso no sostenible de los recursos naturales, en especial de los combustibles fósiles”. La quema de paja de arroz en el campo genera emisiones al aire de altas concentraciones de contaminantes en forma de partículas, COx, hidrocarburos, NOx, SO₂, compuestos orgánicos volátiles (COVs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), compuestos policlorados, dioxinas y furanos (Abril *et al.*, 2009). La justificación para la práctica de la quema es la reincorporación de parte de los nutrientes necesarios para la cosecha (N, P, K y sílice amorfa) (...) Existen otras opciones de eliminación, como por ejemplo: triturarla y mezclarla con el suelo. (...) La alternativa de enterrar la paja, genera entre 2.5 y 4.5 veces más metano que la de quemarla, por lo que esta alternativa tampoco es recomendable. (Abril *et al.*, 2009: 69). La cantidad de residuos que se produce en el proceso de recolección del grano varía en dependencia de varios factores como son, la variedad de arroz que se haya sembrado, la población del campo en cuestión, la altura a que se produce el corte de la planta entre otras. (Zedeño *et al.*, 2014). Según García (2010) “Cada hectárea de arroz genera 4.86 toneladas de paja de arroz”. Para esta investigación se ha tomado como referencia el valor obtenido en “Cuba (país tropical), por asemejarse a las condiciones ambientales y la producción de arroz obtenida en Bagua Grande. Teniendo como referencia los datos antes mencionado se pudo calcular que durante el periodo 2011 al 2012 la cantidad aproximada de paja de arroz producida en el Perú fue de 1880 000 a 2 100 000 toneladas de paja de arroz.

3.2.7 Cultivo de arroz y contaminación ambiental

Más de 4 millones de personas mueren al año producto de algo tan básico como cocinar o calentar su hogar. Las enfermedades que provoca su inhalación matan a más gente que el VIH y la malaria juntos. Según el MINAM (2014), El Cuarto Informe del Panel Intergubernamental sobre

Cambio Climático (IPCC) confirma que el calentamiento global (...) ha sido inducido por actividades humanas; específicamente por el aumento de la concentración de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI). El metano (CH₄) tiene un efecto 28 a 32 veces mayor que el CO₂ en un horizonte de tiempo de 100 años”. Según Andrade *et al.* (2014) “El arroz tiene una enorme importancia mundial en términos alimentarios, sociales y de emisión de GEI”. Por un lado, para cerca de la mitad de la población mundial este cereal es su alimento básico, el cual se produce en aproximadamente 153 millones de hectáreas que representan el 11% de la tierra arable mundial según la FAO. Por otro lado, “el 30% de las emisiones globales de metano y 11% de óxido nitroso provienen de campos de arroz” (IPCC, 2007). Según García (2010) “Cada hectárea de arroz genera 4.86 toneladas de paja de arroz” “Se estima que la producción mundial de arroz será de 760 millones de toneladas de arroz cascara para el año 2025, esto generaría aproximadamente 1 140 millones de toneladas de residuos de cosecha” (Zedeño *et al.*, 2014).

Según Abril *et al.* (2009: 29) los restos agrícolas generados durante el cultivo del arroz “se han convertido en uno de los subproductos más problemáticos de eliminar (...). Ante la dificultad, elevado costo de su retirada y nulo aprovechamiento. Una de las prácticas más frecuentes por los agricultores es quemar la paja en el campo”. Existen dos alternativas para su gestión: la quema o su enterramiento. Dos opciones que ocasionan problemas medio ambientales. “El enterramiento de este material orgánico acaba con prácticamente todo el oxígeno existente en el agua, causa una gran mortandad de peces, genera hedor y provoca elevadas emisiones de gas metano a la atmósfera” (Ferré, 2010). En cuanto a la combustión Solomon y Balmes (2003) afirman que la combustión de una tonelada de paja de arroz representa un riesgo importante para el medio ambiente ya que emite a la atmósfera: 139 kg de CO₂, 11 de Kg N₂O, 10 Kg de SO₂ y 394 kg de cenizas. Ferré (2010) sostiene que la Unión Europea (UE) prohibió en 2008 la quema de estos residuos agrícolas por su alto efecto contaminante. El gobierno de Perú, mediante el Plan Nacional de Agroenergía, estableció la obligatoriedad de eliminar los rastrojos, ya fuera a través de la quema o de su reutilización con fines ganaderos. En

Colombia, el Ministerio de Agricultura desaconseja la práctica de la quema al tiempo que promueve la reincorporación de la paja al suelo como abono orgánico. La práctica de la quema ocasiona un severo impacto ambiental, el deterioro de la salud de las personas y de la calidad de vida de la población que habita alrededor de estos cultivos.

Uno de los más graves problemas a los que tiene que enfrentarse el ser humano, como consecuencia de su propia actividad, es el vertido de sustancias nocivas a la atmósfera. Según la Organización Mundial de la Salud, la contaminación atmosférica constituye en la actualidad, por sí sola, el riesgo ambiental para la salud más importante del mundo.

La quema de la paja del arroz es una práctica tradicional con graves consecuencias sobre el medio ambiente. Científicos de todo el mundo aseguran que la combustión de este residuo agrícola genera grandes cantidades de CO₂ y, por tanto, altos niveles de contaminación (Ferré, 2010).

En España existe un proyecto, aún en fase de prueba, para producir energía eléctrica mediante la producción de biogás a través de un proceso de fermentación controlada de la paja. El Instituto de Investigación Agraria de Japón recientemente ha sugerido la posibilidad de crear bioetanol a partir de la paja (Ferré, 2010).

Sin embargo las soluciones medioambientalmente sostenibles casi siempre topan con el problema de la financiación. En primer lugar, su elevado costo. Ni los gobiernos ni la iniciativa privada están dispuestos a asumir un gasto cuyos beneficios no son reportables a corto o medio plazo. Fuentes consultadas por BBC Mundo explican que la mentalidad de los agricultores también supone a veces una traba importante. Acostumbrados a las prácticas tradicionales, a muchos de ellos les cuesta llevar a cabo soluciones con un menor impacto para el medio ambiente. (Ferré, 2010).

3.2.8 Paja de arroz como alternativa energética en el Perú

Según IV Censo Nacional Agropecuario del 2012 a nivel nacional existen 167 093,39 hectáreas de arroz, en el Departamento de Amazonas 10 992,45 hectáreas de arroz. De los cuales 7 955,14 ha se encuentran en la provincia de Utcubamba, y en Cajaruro 4 117,46 hectáreas de arroz, como

se muestran en los anexos 11, 12 y 13. Según el MINAGRI en su informe Cadena Productiva del arroz del 2012 señala que en el periodo 2011- 2012 a nivel nacional se cultivó 387 667 hectáreas de arroz”. En el departamento de Amazonas en el mismo periodo se cultivó 37 477 hectáreas de arroz. García (2010) afirma que “cada hectárea de arroz genera 4.86 toneladas de paja de arroz”. Estos datos demuestran el importante potencial de residuos agrícolas del cultivo de arroz que por desconocimiento en vez de ser una fuente energética están contaminando el medio ambiente.

Una de las significativas ventajas que ofrece esta investigación es la posibilidad de disminuir considerablemente los gases contaminantes que hoy produce la descomposición o quema de esta paja en el campo. Según Contreras *et al.* (2012), sobre la base de los datos de producción de la Empresa Agroindustrial de Granos “Sur del Jibaro” durante el año 2011, se obtuvo que se hubieran dejado de emitir a la atmosfera 6 041 438 toneladas de CO₂ equivalente si la paja de arroz hubiese sido retirada del campo y tratada por vía anaerobia. García, *et al.*, (2010) En su investigación para determinar la posibilidad de mejorar la eficiencia energética y económica del Complejo Agropecuario e Industrial (CAI) Arroceros “Sur del Jíbaro” en Cuba, comprobaron que con la utilización de la paja de arroz como sustrato para producir biogás se puede producir una cantidad de energía equivalente a más del doble de la energía que demanda la empresa en un año, por lo que existe la posibilidad de contribuir a la protección del medio ambiente. La biomasa del sector agrario también representa una alternativa económica y ambientalmente factible para la expansión de la capacidad eléctrica instalada (bagazo y residuos agrarios) ya sea por proyectos aislados o por proyectos conectados a la red eléctrica. Según García *et al.* (2010) el poder calorífico promedio del biogás de 1973 Kwh/Tn.

Tabla 2**Comparación entre el poder calorífico del biogás con el de otros combustibles**

Combustible	Poder calorífico Kcal/m³	Poder calorífico Kcal/Kg	Equivalentes a 1000 m³ de biogás
Biogás	5,335	.....	1000 m ³
Gas natural	9,185	.....	581 m ³
Metano	8,847	.....	603 m ³
Propano	22,052	.....	242 m ³
Butano	28,588	.....	187m ³
Electricidad	860Kcal/KW-hr	.....	6,203 m ³
Petróleo	.....	11,375	470 Kg

Fuente: (López *et al.*, 2008, citado en Gutiérrez *et al.*, 2012)

“En cuanto a la combustión, un metro cúbico de biogás representa un equivalente de 5,96 Kw. Por cada Kw de energía producido por biogás en lugar de diésel, por ejemplo, se reduce 0,34 Kg de CO₂ emitidos a la atmósfera” (Gutiérrez *et al.*, 2012: 890).

La tasa calorífica del biogás es de 12,000 Btu/Kwh en motores de combustión interna y 8,500 Btu/Kwh en turbinas de ciclo combinado. Un equipo de cogeneración Totem-Fiat (motor térmico, generador asíncrono, sistema de refrigeración externo), consume 8 m³/h de biogás y produce 13 Kw eléctricos y 32,000 Kcal/h. (Gutiérrez, *et al.*, 2012).

López *et al.*, 2008 (citado en Gutiérrez *et al.*, 2012), indican que un metro cúbico de biogás es suficiente para:

- Generar 1.25 Kw de electricidad
- Generar 6 horas de luz equivalente a un bombillo de 60 watts
- Poner a funcionar un refrigerador de 1 m³ de capacidad durante 1 hora
- Hace funcionar un motor de 1HP durante 2 horas.

Según Baculima, & Rocano (2015), un metro cúbico de biogás de 60% de CH₄ + 40% de CO₂ equivale a:

- 1,3 Kg de madera
- 0,3 Kg de carbón
- 0,6 m³ de gas natural
- 0,7 litros de gasolina
- Se puede cocinar tres comidas para una familia de cuatro personas.
- 6,5 Kw de electricidad.

Un biogás de buena calidad es aquel con alto contenido de metano y con bajo contenido de CO₂ y de N (...) Puede ser transformado en energía mecánica, eléctrica, térmica, o en combinación de las anteriores. El uso del biogás puede realizarse según su calidad como combustible (Gutiérrez *et al.*, 2012: 891).

El acceso a la energía es un elemento fundamental para el desarrollo humano. Instituciones como el Banco Mundial, Naciones Unidas, el Consejo Mundial de la Energía y otras, consideran que la energía es esencial para promover o mejorar una serie de servicios básicos como alumbrado, agua potable, centros de salud, colegios, comunicaciones y permitir la generación de valor agregado en la producción.

3.2.9 Beneficios de producir biogás a partir de paja de arroz

La investigación sobre la fermentación anaeróbica ha logrado buenos resultados, y en la actualidad el proceso parece tener muchos beneficios que pueden contribuir al desarrollo rural, proporcionando energía limpia y renovable, impulsando la productividad agrícola y contribuyendo al saneamiento ambiental. Es necesario considerar que el uso de los residuos del cultivo de arroz para producir biogás y generar energía debe tener una incidencia directa en la reducción del consumo de combustibles fósiles para la generación energética y en consecuencia tendrá un efecto económico positivo. A su vez contribuirá a mitigar los efectos del cambio climático al disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)

(Contreras *et al* 2014), en primer lugar por los que se generan durante la fermentación anaerobia espontánea de estos residuos cuando se dejan en el campo o cuando se queman al aire libre y en segundo lugar por las emisiones evitadas al sistema energético nacional por no generar energía eléctrica con combustibles fósiles (Contreras *et al.*, 2012).

En el caso de producir biogás a partir de residuos agrícolas del cultivo de arroz en Bagua Grande a gran escala, permitirá además reducir costos y el consumo de energía, ahorrar agua y fertilizantes asociados al cultivo del arroz, a través de la valorización del bioabono generado en este proceso. En el caso que se use para cocción de alimentos, reducirá la presión sobre los recursos naturales (leña) y mejorará las condiciones de vida de las personas. Además ofrece beneficios ambientales tales como: disminuir el impacto ambiental que causa el cultivo de arroz, contribuir a atenuar el cambio climático al disminuir la emisión de GEI como el CH₄ y el CO₂, fortalecer el desarrollo sostenible al usar energías renovables, reducir la contaminación de las fuentes de agua, minimizar la demanda de combustibles fósiles, de leña, bosta y yareta, y evitar la emisión de GEI que estos generarían.

Según Zedeño *et al.* (2014) La utilización de biodigestores ofrece grandes ventajas para el tratamiento de los desechos orgánicos agropecuarios, pues además de disminuir la carga contaminante de las mismas, extrae gran parte de la energía contenida en el material sin afectar (o inclusive mejorando) su valor fertilizante y controlando de manera considerable los malos olores.

3.2.10 Sustitución de leña por biogás

Según el Programa Nacional de Biodigestores del Ministerio de Energía y Minas del 2013, Los biodigestores, a nivel doméstico, buscan la introducción del uso de biogás en zonas rurales, como una fuente alternativa y limpia para la cocción de alimentos en reemplazo de la leña, reduciendo la carga de trabajo de mujeres y niños, mejorando la salud e higiene de la familia al cocinar sin humo, reduciendo la presión sobre los recursos naturales en el área rural, o bien disminuyendo el consumo de GLP subvencionado en las áreas periurbanas, mientras que el uso del

fertilizante producido, llamado biol, sirve para incrementar la productividad agrícola de manera sustentable, desplazando a los productos químicos, aumentando los ingresos de pequeños agricultores rurales.

Según el Balance Nacional de Energía del 2010, la biomasa representa el 18% del consumo final de energéticos usados en el país, entre todos los sectores. Si solo nos centramos en el sector residencial y comercial, el consumo de biomasa como energía primaria y secundaria en este sector representa en 57%, centrándose en leña, bosta/yareta y carbón vegetal.

Según el censo realizado por el INEI 2007 a los hogares del Perú el año 2007, 3 751 930 (55,6%) hogares usan gas y 2 036 901 (30,2%) hogares usan leña, de los cuales en el área urbana 71,4% usan gas, el 15,2% usan leña. En el área rural solo el 5,6% usan gas, el 77,4% usan leña y un 14,5% utilizan estiércol para producir energía. En la Región Amazonas de 90 645 hogares: 186 cocinan con electricidad, 20 741 cocinan con gas, 194 cocinan con kerosene, 416 cocinan con carbón, 65 711 hogares cocinan con leña, 30 hogares cocinan con estiércol, 21 hogares utilizan otras formas de energía y 3 346 hogares no cocinan.

3.2.11 Calidad del agua

La cantidad y calidad del agua es una problemática actual que enfrenta la población mundial. La calidad del agua se refiere a las condiciones en que se encuentra el agua respecto a características físicas, químicas y biológicas, en su estado natural o después de ser alteradas por el accionar humano. La presencia de sustancias químicas disueltas e insolubles en el agua que pueden ser de origen natural o antropogénico define su composición física y química.

El término calidad del agua es relativo y solo tiene importancia universal si está relacionado con el uso del recurso. Esto quiere decir que una fuente de agua suficientemente limpia que permita la vida de los peces puede no ser apta para la natación y un agua útil para el consumo humano puede resultar inadecuada para la industria. Para decidir si un agua califica para un propósito particular, su calidad debe especificarse en función del uso que se le va a dar. Bajo estas consideraciones, se dice que un agua está contaminada cuando sufre cambios que afectan su uso real o potencial.

3.2.12 Propuesta de un biodigestor para producir biogás a partir de paja de arroz

En esta investigación se propone “una tecnología apropiada, como son los biodigestores, tanto en su diseño como en su bajo costo que lo hace accesible a personas de bajo nivel económico” (Herrero, 2008). En Bolivia se ha realizado una investigación basado principalmente en la experiencia de siete años de trabajo con biodigestores familiares, tanto a nivel práctico como a nivel académico. La experiencia más relevante ha sido lograr hacer funcionar un biodigestor familiar a 4.100 metros de altura sobre el nivel del mar, en Pongo, (Cochabamba, Bolivia) (Herrero, 2008).

- **Biodigestores familiares de bajo costo**

Según Herrero, (2008) los biodigestores familiares de bajo costo han sido desarrollados y están ampliamente implementados en países del sureste asiático. En América Latina: Cuba, Colombia y Brasil tienen desarrollada esta tecnología. Estos modelos de biodigestores familiares, construidos a partir de mangas de polietileno tubular, se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales locales para su construcción. Por ello se consideran una “tecnología apropiada”

Las familias dedicadas a la agricultura específicamente al cultivo de arroz pueden aprovechar los residuos agrícolas para producir su propio combustible y un fertilizante natural mejorado. Se debe considerar que la paja de arroz genera graves problemas medioambientales y afectación a la salud de las personas al ser quemada o al descomponerse al aire libre, estos problemas desaparecerán al introducir la paja de arroz diariamente en un biodigestor familiar. Además se debe tener en cuenta que principalmente las mujeres sufren enfermedades respiratorias por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña. La combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es infinitamente menor que el humo proveniente de la quema de madera.

Son tres los límites básicos de los biodigestores: la disponibilidad de agua para hacer la mezcla con el estiércol que será introducida en el biodigestor, la cantidad de substrato y la apropiación de la tecnología por parte de la familia.

Este modelo de biodigestor consiste en utilizar polietileno tubular (de color negro en este caso) empleado en su color natural transparente en carpas solares, para disponer de una cámara de varios metros cúbicos herméticamente aislada. Este hermetismo es esencial para que se produzcan las reacciones biológicas anaeróbicas.

En La Paz, Bolivia se construyó un Biodigestor familiar de bajo costo instalado a 4.221 m.s.n.m. Este biodigestor produce biogás suficiente para cocinar de 4-5 horas al día, alimentándolo con 20 kg de estiércol fresco y 60 litros de agua diariamente. Produce además 80 litros de fertilizante al día (Herrero, 2007, citado en Herrero 2008).

- **Construcción de un biodigestor tubular de polietileno**

El rollo de polietileno tubular se amarra por sus extremos a tuberías de conducción, de unas seis pulgadas de diámetro, con tiras de liga recicladas de las cámaras de las ruedas de los autos. Con este sistema, calculando convenientemente la inclinación de dichas tuberías, se obtiene un tanque hermético. Al ser flexible el polietileno tubular es necesario construir una ‘cuna’ que lo albergue, ya sea cavando una zanja o levantando dos paredes paralelas (Herrero, 2008).

Según Poggio, (2009) el digestor se construye insertando 2 - 3 mangas una adentro de la otra, los extremos se amarran con jebe alrededor de dos tuberías de PVC de 4” de clase 10 (para presión), que funcionarán como boca y ano del digestor, y en la parte central de la manga se realiza una abertura para la salida del gas. El digestor se instala entonces en una zanja, que ha sido cubierta con paja para mantener el calor, y se cubre con un pequeño fitotoldo, realizado en agrofilm. El gas se conduce hasta la cocina en unas tuberías de PVC de ½” y cerca de la cocina se instala otra bolsa de plástico que sirve para acumular el biogás. Para evitar que el digestor explote cuando tiene demasiado gas, se instala una válvula de seguridad que permite que el gas en exceso se escape al aire. El biogás tiene una

parte de vapor que condensa en las tuberías, que debemos quitar de las tuberías mediante una trampa de agua.

- **Diseño de un biodigestor tubular de polietileno para una familia promedio.**

El diseño de un biodigestor depende directamente de varios parámetros tales como la temperatura ambiente media del lugar donde se vaya a instalar. La temperatura marcará la actividad de las bacterias que digieren el estiércol, y cuanto menor temperatura, menor actividad tendrán éstas, y por tanto será necesario que la paja de arroz este más tiempo en el interior del biodigestor. De esta forma la temperatura marca el tiempo de retención. Por otro lado, la carga diaria de paja de arroz determinará la cantidad de biogás producido por día. La carga diaria, junto con el tiempo de retención (determinado por la temperatura), determinarán el volumen del biodigestor (Herrero 2008).

Su diseño puede considerar diferentes criterios:

- ✓ Criterios de necesidad de combustible
- ✓ Criterios de necesidades medioambientales (cuando se desea tratar todo el estiércol generado)
- ✓ Criterios de un fertilizante natural
- ✓ Criterios de límite de estiércol disponible

Según cuál sea el objetivo del biodigestor; proveer de combustible, generar un buen fertilizante o depurar residuos orgánicos, unos parámetros u otros serán los que definan la metodología de cálculo del biodigestor.

Es importante añadir en este punto que un biodigestor también puede digerir las aguas negras producidas en una letrina, pero que para ello se deberán considerar factores extra, como son el uso limitado del fertilizante y el tamaño del biodigestor.

Substrato disponible.- La materia prima para la producción de biogás serán los residuos agrícolas de arroz (paja de arroz).

Carga de mezcla diaria de entrada.- Todos los días hay que cargar el biodigestor con una carga de substrato mezclada a una proporción 1:4 substrato a agua. A esto se le llama mezcla de carga diaria. Herrero (2008)

afirma que en artículos y bibliografía se recomienda mezclas de 1:4 para biodigestores tubulares. En biodigestores tipo chino la mezcla se realiza 1:1, pero en biodigestores tubulares conviene diluir mucho más el estiércol de forma que no se formen ‘natas’ en la superficie. Además, una buena dilución de la mezcla asegura que el biodigestor realmente sea de flujo continuo, evitando que se atasque por exceso de materia sólida en su interior.

- **Volumen total del biodigestor tubular de polietileno**

El volumen total del biodigestor ha de albergar una parte líquida y otra gaseosa. Normalmente se da un espacio del 75% del volumen total a la fase líquida, y del 25% restante a la fase gaseosa.

El volumen total es la suma del volumen gaseoso y el volumen líquido.

$$VT = VG + VL$$

Donde

VT= volumen total

VG= volumen gaseoso

VL = volumen líquido

Y por tanto el volumen líquido es tres cuartas partes del total:

$$VL = VT \times 0.75$$

El volumen gaseoso es una cuarta parte del total: $VG = VT \times 0.25$

Y el volumen gaseoso será igual a una tercera parte del volumen líquido:

$$VG = VL \div 3$$

- **Materiales necesarios y costo estimado para construir un biodigestor tubular de polietileno**

Todos los materiales necesarios para la construcción de un biodigestor están disponibles en los mercados de cualquier país. El material más particular es el polietileno tubular, ya que normalmente se deberá pedirlo de 300 micrones de grosor, cuando éste se fabrica en 200 micrones para su uso en carpas solares. Además, ya que se pide su fabricación con mayor espesor (300 micrones), se exige un color “negro humo”, que se ha notado es más resistente a la radiación solar (Herrero, 2008).

Según Poggio, (2009) los materiales necesarios para la construcción de un biodigestor se pueden encontrar en una normal ferretería. El material más importante es la manga de plástico con la cual se realiza el cuerpo del digestor: recomienda usar una manga de plástico de tipo Agrofilm. El Agrofilm es un tipo de plástico, normalmente de color amarillo o blanco lechoso, que se usa para la construcción de fitotoldos. Es un plástico que ha sido reforzado para poder aguantar más tiempo a los rayos del sol y por esta razón un digestor construido con Agrofilm podrá durar numerosos años, al menos hasta 6 años.

Según Herrero (2008) los costos en materiales de un biodigestor pueden variar de 135 dólares para el trópico a 220 dólares para el altiplano, ya que en la altura tienen mayores dimensiones y requieren de carpa solar

La sostenibilidad de un biodigestor pasa por democratizar la tecnología. Esto es, hacer que el conocimiento de la instalación y mantenimiento de un biodigestor no dependa de técnicos profesionales, y se convierta en conocimiento transmitido de campesino a campesino, de cada familia.

La introducción de los biodigestores en una familia significa que ya no se requiere buscar leña diariamente para cocinar. Por otro lado, la producción de fertilizante despierta mayor interés en el hombre, ya que suele ocuparse de los cultivos, y por tanto es importante capacitarle convenientemente en su uso, de forma que él también se apropie de la tecnología que le provee de un fertilizante ecológico y natural.

- **Construcción de la cocina**

Los fogones de la cocina, normalmente dos, se hacen con tuberías de ½” de fierro. No hace falta hornilla, ni nada para hacer la mezcla con el oxígeno de llama. Saliendo el biogás de una tubería de media pulgada, combustionará si es que se le acerca una llama. También se pueden adaptar a cocinas normales. Las herramientas necesarias para la construcción de un biodigestor son típicas de conducciones de agua, como una tarraja para hacer rosca en la tubería que conducirá el biogás, o llaves ‘estilson’ para apretar los accesorios de conducción. Estas herramientas son fáciles de encontrar. La selladora manual de plástico se usará para hacer el reservorio de biogás, y conviene comprarla si es que se van a construir varios

biodigestores. Si es un único biodigestor, uno puede prestarse de alguna organización que venda producto embolsado (Herrero, 2008).

- **Operación y mantenimiento del biodigestor**

El costo de operación y mantenimiento son muy bajos, debido a que la materia prima (paja de arroz) no tiene valor económico. Instalado ya el biodigestor, se realiza una primera carga de 28 Kg de paja de arroz y agua suficiente para tapar las bocas interiores al biodigestor de los tubos de entrada y salida. Tras esto, el segundo día ya será idéntico en mantenimiento a los días sucesivos en la vida del biodigestor (unos 6 a 10 años) (Herrero, 2008).

- **Dimensiones de la zanja del biodigestor**

El diseño final del biodigestor requiere conocer las dimensiones de la zanja donde se acomodará el plástico tubular. La longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor y la profundidad y ancho de la misma dependerán del ancho de rollo empleado en la construcción del biodigestor.

De forma general, se puede emplear las siguientes dimensiones para la zanja:

Tabla 3: Dimensiones de la zanja según ancho del rollo

Ancho del rollo en metros (m)	2	1,75	1,5	1,25	1
a (base inferior en m)	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
b (base superior en m)	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
h (altura en m)	1	0,9	0,8	0,7	0,6

Fuente: (Herrero, 2008)

- **Equilibrio hidráulico**

El biodigestor tubular es de flujo continuo, y por tanto no es necesario vaciarlo totalmente a lo largo de su vida útil. Se produce un equilibrio

hidráulico por el que cada día al realizar la mezcla de carga por la entrada, desplazará el lodo interior, y rebosará por el otro extremo de la salida, la misma cantidad pero del material ya digerido.

Por tanto, el rebalse o rebose del lodo interior, es definido por la altura de la boca del tubo de salida. Este nivel corresponderá, por tanto con la profundidad de la zanja (Herrero, 2008).

- **Evaluación económica del biodigestor tubular de polietileno propuesto**

Uno de los aspectos de vital importancia para que se establezca un proceso es su viabilidad económica. “La producción de energía a partir de estos residuos ha sido identificada como una alternativa económicamente factible” (Peterson *et al.*, 2007, citado en Contreras *et al.*, 2012).

Uno de los factores más importantes que se debe tener en cuenta es la inversión inicial para ello se contemplan los aspectos siguientes:

- Construcción del biodigestor tubular de polietileno
- Instalación del biodigestor tubular de polietileno
- Mano de obra

Operación y mantenimiento.- El costo de operación y mantenimiento es muy bajo, diariamente se deberá recoger 14 kg de paja de arroz el cual no tiene valor actualmente y mezclarlos con 60 litros de agua para introducirlos al biodigestor. Esto asegura una producción de biogás suficiente para 4-5 horas de cocina. Se deberá prestar atención a la válvula de seguridad para que nunca le falte agua. Para esta investigación se asume que los costos de operación y mantenimiento son iguales a los beneficios que se obtiene a partir del bioabono generado del proceso de biodigestión.

Costo total del biodigestor

Beneficios directos por el uso del biodigestor.- Otro factor muy importante para evaluar la viabilidad económica de un biodigestor es calcular los beneficios directos por el uso del biodigestor en un año.

3.3 Definición de términos básicos

3.3.1 Biogás: El biogás, es producto del tratamiento anaerobio en la cual las bacterias involucradas degradan la biomasa orgánica: residuos sólidos urbanos, residuos agro-industriales, excremento humano, aguas residuales, etc. “El biogás se compone aproximadamente de 55% de CH₄ y 45% de CO₂, además de otros contaminantes en trazas” (Gutiérrez *et al.*, 2012). Su poder calorífico es de 4 400 Kcal/m³ (Olaya y González, 2009).

Tabla 4

Composición química del biogás

Componente	Porcentaje %
Metano CH ₄	54 – 70
Dióxido de carbono CO ₂	27 – 45
Nitrógeno N ₂	0.5 – 3
Hidrogeno H ₂	1 – 10
Ácido sulfhídrico H ₂ S	0.1

Fuente: Hidalgo *et al.*, 2010.

El H₂S le da al biogás un olor a desagüe, por lo que debe eliminarse por reacción química con viruta de Fe, para ello se hace pasar la corriente de biogás por un cartucho lleno de viruta de fierro.



El FeS queda en el cartucho y el H₂ que también es carburente sale con la corriente de biogás. La mezcla de este gas con el O₂ del aire es carburente, arde con llama azul y no tizna, puesto que los productos de combustión son CO₂ y H₂O. El biogás puede ser utilizado en cualquier equipo comercial diseñado para uso con gas natural. (Bautista, 2010, citao en Barrena *et al.*, 2007). Las posibles aplicaciones son: Electricidad, Quemadores, estufas-infrarrojo, Lámparas para iluminación, motores, etc.

Tabla 5*Listado de artefactos que utilizan biogás*

Artefacto	Consumo	Rendimiento (%)
Quemador de cocina	300-600 l/h	50-60
Lámpara de gas (60 W)	120-170 l/h 30 -75 l/h	30-50 20-30
Frigorífico de 100 L	0,5 m ³ /kWh	25-30
Motor a gas	2m ³ /h	80-90
Quemador de 100 KW		

Fuente: (Bautista 2010, citado en Barrena *et al*, 2007).

3.3.2 Metano: Científicos e ingenieros de todo el planeta trabajan permanentemente por encontrar soluciones que permitan reducir las emisiones de GEI, especialmente las emisiones antropogénicas de CH₄. El CH₄ es el principal componente del biogás, y por lo tanto, un valioso recurso energético. Puede reemplazar fuentes de energía y de CO₂ que son altamente contaminantes como es el caso de la leña, el carbón y el petróleo. El metano (CH₄) es un gas hidrocarburo de la familia de los alcanos, es incoloro, inodoro, insoluble en agua y de menor densidad que el aire. Se forma principalmente por la descomposición de materia orgánica.

3.3.3 Biodigestor: “Los reactores comúnmente empleados para la producción de biogás deben cumplir con ciertas características, como proveer una atmósfera anóxica, tener una salida para el gas y de preferencia, un separador del ácido sulfhídrico incorporado” (Gutiérrez *et al.*, 2012). Existen varios tipos de digestores, “La selección de este debe adecuarse al tipo de proceso y a las etapas en las que se pretenda dividirlo. Los más comúnmente empleados son: El digestor tipo bolsa, muy empleado en regiones tropicales y el digestor de contacto anaerobio” (Gutiérrez *et al.*, 2012).

3.3.4 Biodigestor tipo Taiwan o estructura flexible: Por los altos costos de materiales para elaborar digestores fijos se desarrolló en Taiwan este modelo de digestor con materiales más baratos como el nylon y neopropeno inicialmente, para luego reemplazarlo por el polietileno,

material que es actualmente el más utilizado. En este biodigestor el proceso de digestión de la materia orgánica ocurre en la parte inferior y la acumulación del gas en la parte superior (Lara y Hidalgo 2011). Estos modelos familiares tienen las siguientes ventajas: bajo costo de material e instalación, mantiene una presión constante, se obtiene energía barata y se reduce la contaminación; y desventajas del biodigestor de bolsa flexible son: el tiempo de vida útil es bajo pues el plástico puede ser cortado. (Lara y Hidalgo 2011). Analizado los tipos de biodigestores, se decide utilizar el tipo Taiwan o bolsa flexible, por las características de instalación en lugares rurales, en donde las familias poseen terrenos agrícolas de cultivo de arroz y cantidad de residuos orgánicos que pueden ser aprovechados para producir su propio combustible y fertilizante natural. Los biodigestores tubulares poseen ventajas socio-económicas para las familias de zonas rurales así como también ventajas ambientales: reduce la cantidad de leña lo que ayuda a conservar los bosques, mejora la calidad del aire dentro del área de la cocina, contribuye a reducir las enfermedades respiratorias y produce abono orgánico.

3.3.5 digestión anaeróbica: Las bacterias fermentan el material orgánico en ausencia de oxígeno y producen biogás y biol; este material de fermentación está constituido por sustancias sólidas orgánicas, inorgánicas y agua (incrementa la fluidez del material de fermentación, característica importante para producir biogás) (Olaya, y González, 2009). El proceso anaeróbico ocurre en cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis, y metanogénesis y se realiza en digestores de fácil construcción y manejo, que utilizan como materia prima todo tipo de desperdicios, incluyendo desechos agrícolas (pajas, hojas), desechos animales, desechos orgánicos urbanos (basura, desagües), etc.

La Codigestión es la fermentación anaeróbica de dos o más sustratos que se complementan químicamente, aumentando la estabilidad, la producción de biogás y el equilibrio del proceso. Dentro de las tecnologías de digestión anaeróbica se debe de considerar la codigestión anaeróbica de diferentes sustratos orgánicos, ya que permite aprovechar la sinergia de las mezclas

de diferentes sustratos, así como compensar las carencias de las mezclas de cada uno por separado, cuando el material orgánico presenta una baja biodegradabilidad es necesario un pre tratamiento de la materia prima para optimizar la producción de biogás (Barrena *et al*, 2007).

3.3.6 Paja de arroz: La paja de arroz del es uno de los subproductos más problemáticos de eliminar durante la cosecha del arroz, “Después de cada cosecha de arroz quedan en el campo restos de tallos y hojas a los que comúnmente se les denomina paja” (Zedeño *et al.*, 2014: 138).

Tabla 6

Características físico- químicas del sustrato paja de arroz.

Parámetros	Paja de arroz
Ph	6,46
Sólidos totales ST (%)	87,81
Sólidos volátiles SV (% ST)	79,55
Carbono (C) (% ST)	37,94
Nitrógeno (N) (% ST)	0,88
Azufre (S) (% ST)	0,130
Hidrógeno (H) (% ST)	5,53
Fibra cruda (FC) (% ST)	33,72
Proteína cruda (CP) (% ST)	5,5
Lignina (% ST)	8,58
Relación C/N	43

Fuente: Zedeño *et al.*, 2014

3.3.7 Clima de la ciudad de Bagua Grande: El clima de la localidad de Bagua Grande es tropical caluroso, presentando una temperatura promedio durante todo el año de 25° C a 35°C.

3.3.8 Rio Utcubamba y cultivo de arroz en Bagua Grande.

Bagua Grande está ubicada en la margen izquierda del río Utcubamba, es una ciudad muy cálida, fértil y llueve durante casi todo el año. El río Utcubamba descarga sus aguas al río Marañón aguas arriba del Pongo de Rentema en la provincia de Bagua. Desde sus nacientes su curso discurre

con dirección Norte hasta la localidad de Shipasbamba, donde cambia con dirección noroeste. El río Utcubamba forma extensos valles donde se cultiva arroz principalmente. La principal actividad económica en la ciudad de Bagua Grande es la agricultura. Se siembra arroz en un 70%. Según el (MINAG – Bagua) en la campaña agrícola 2011 – 2012 se sembraron un total de 22 484.00 Has, de las cuales se cosecharon un total de 181 423.00 Tn entre los meses enero 2011 – diciembre 2011

3.3.9 Precipitación pluvial (época húmeda y de estiaje): La presencia de lluvias es frecuente lo cual es típico en la Ceja de Selva, existiendo un periodo de lluvias intensas y permanentes durante los meses de octubre a abril, alcanzando hasta 850.00 mm, y en los meses de mayo a septiembre alcanza los 50.00 mm

Tanto en la sierra como en la selva existe una estación seca o de estío (mayo-octubre) en la que abundan los días soleado, y otra lluviosa entre noviembre y abril.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Población muestra y muestreo

La población de los residuos agrícolas abandonados después de la cosecha de arroz (variedad INIA 509-La Esperanza) lo constituyó un terreno agrícola de 2 hectáreas, ubicado en el sector Gonchillo Bajo de la ciudad de Bagua Grande - Amazonas. Y el agua de la cuenca baja del río Utcubamba

La muestra lo constituyó 6 Kilogramos de paja de arroz durante época húmeda (marzo) y 6 kilogramos de paja de arroz durante época seca (septiembre) y la muestra de 12 litros de agua se obtuvo de la cuenca baja del río Utcubamba, 6 litros en época húmeda (marzo) y 6 litros en época seca (septiembre), se tomaron muestras en época húmeda y época seca con el objetivo de garantizar la homogeneidad de las muestras.

Se realizó un muestreo no probabilístico de tipo intencional, es decir que los elementos fueron elegidos a criterio del investigador. Las unidades de la población no fueron elegidas al azar, por ser difícil obtener una muestra representativa o al azar de los residuos agrícolas de arroz post cosecha, por ser una población desconocida.

Muestreo de agua del río Utcubamba

Se consideró la metodología de muestreo del Protocolo para el Monitoreo de aguas de la Autoridad Nacional del Agua

Para el agua de un río Utcubamba

- Se eligió un punto de muestreo en el río Utcubamba, con las siguientes coordenadas (UTM WGS 84): Este: 783203.02 m, Norte: 9364106.27 m
- Se enjuagó el frasco de plástico de 1750 ml, varias veces, luego se tomó la muestra de aproximadamente un tercio del ancho del río en contra de la corriente del flujo de agua y a 20 cm de profundidad a partir de la superficie, evitando alterar las condiciones reales, Este procedimiento se realizó cada 15 minutos durante una hora para obtener una muestra

compuesta, luego se homogenizó mediante agitación, se tapó y selló herméticamente.

- Se rotuló los frascos con la siguiente información: Nombre del responsable del muestreo, origen, tipo de análisis requerido y fecha.

4.2 Diseño de investigación

Diseño cuasi experimental, según Maza y Villanueva (2011), los diseños semiexperimentales se usan cuando la asignación aleatoria de los sujetos a los grupos experimental y/o control no es posible, por lo cual se han denominado cuasi o semiexperimentos. Si estos se diseñan con cuidado, pueden ser útiles para obtener resultados que permitan avanzar en el conocimiento del tema que se investiga

“Diseño de grupos no equivalentes con grupo control: Probablemente es uno de los diseños más ampliamente usados y se representa en el diagrama siguiente”:

$$\frac{O_1 \ X \ O_2}{O_3 \ O_4}$$

(Maza y Villanueva 2011)

Donde:

O₁: representa la observación inicial, para garantizar que los tratamientos sean equivalentes, se mide la masa de 2Kg de residuos de arroz (paja).

O₃: representa la observación inicial que garantiza que los elementos de la muestra sean equivalentes y se formen tratamientos equivalentes.

X : representa la variable independiente o tratamiento experimental, en este caso agua del río Utcubamba.

O₂ : representa la observación final, que en este caso es el volumen de biogás que se obtendrá a partir de restos agrícolas de arroz con agua del río Utcubamba.

O₄: representa la observación final, que en este caso es el volumen de biogás que se obtendrá a partir del proceso de digestión anaeróbica de restos agrícolas de arroz

La línea indica que las muestras no han sido seleccionadas al azar.

4.3 Material biológico

Se utilizó residuos agrarios del cultivo de arroz (paja seca), de variedad INIA 509 – La Esperanza, de un predio agrícola, cercano a la Universidad Politécnica Amazónica de Bagua Grande, sector Gonchillo Bajo. Agua del río Utcubamba de la ciudad de Bagua Grande.

4.4 Métodos, técnicas e instrumentos

4.4.1 Métodos experimentales

En el desarrollo de la presente investigación se evaluó el efecto del agua del río Utcubamba como estimulante, sobre la variable dependiente (volumen de biogás producido a partir de paja de arroz). Se realizaron 2 tratamientos con 3 repeticiones de las siguientes proporciones: T1 = 2 Kg de paja de arroz y 4 litros de agua del río Utcubamba en época húmeda; T2 = 2 Kg de paja de arroz y 4 litros de agua del río Utcubamba en época seca. Después de un tiempo de retención de 35 días, se calculó el volumen de biogás producido.

4.4.2 Técnicas de recolección de datos

Se utilizó la técnica de recolección de datos, de fichas técnicas de registro de información, datos recogidos en estructura que se asemeja a una hoja de cálculo, se organizó y presentó la información de las alturas de la columna de agua del manómetro para luego calcular la presión y el volumen de biogás generado. Los datos sobre temperatura ambiente de la ciudad fueron obtenidos de la estación meteorológica del SENAMHI de Huarangopampa, provincia Utcubamba. Los análisis de las aguas fueron realizados en laboratorio de Agua y Suelos del Instituto para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES – CES) y los resultados fueron alcanzados en carta de alcanza de resultados de laboratorio.

4.4.3 Instrumentos y equipos de recolección de datos

Ficha técnica de registro de datos, manómetro de tubería de butirato flexible, transparente y resistente al astillamiento, de precisión de 0 – 1 bar, balanza digital, GPS, carta de alcanza de resultados de laboratorio del INDES - CES.

4.5 Procedimiento para realizar el experimento

- **Determinación de las variables**

Variables independientes: Tipo de agua, Temperatura (época húmeda, época seca)

Variable dependiente: Volumen de biogás

- **Preparación de dos grupos idénticos**

Se formaron dos grupos idénticos:

Grupo 1 = 2 Kg de paja de arroz + agua del río Utcubamba en época húmeda, con tres repeticiones.

Grupo 2 = 2 Kg de paja de arroz + agua del río Utcubamba en época seca, con tres repeticiones.



Proceso de asignación aleatoria de las unidades de tratamiento a los grupos de tratamiento

- **Medición inicial de ambos grupos o pre test**

Se calculó que todas las unidades de tratamiento tengan una masa de 2 Kg. Esta operación se realizó en época húmeda y en época seca



Proceso de medición de la masa (2 Kg) de cada unidad de tratamiento

- **Aplicación del estímulo o variable independiente y construcción de los biodigestores experimentales**

Se aplicó 4 litros de agua del río Utcubamba. Esta operación se realizó para época húmeda y para época seca



Aplicación del tratamiento o variable independiente

- **Construcción de los biodigestores experimentales**

Para la construcción de los biodigestores se utilizó 12 bolsas de polietileno de alta densidad (HDPE), de color negro de 90 cm de ancho x 120 cm de largo, 5,5 mm de diámetro, Tensión rotura 75 Kgf y de 50 litros de capacidad. Se utilizó las bolsas en dos niveles (dos bolsas para cada biodigestor), luego se calculó su volumen utilizando agua (se utiliza agua para hacer la prueba de hermeticidad debido a que el agua tiene mayor densidad que el biogás), marcando donde ocupara los 30 litros y se introdujo la mezcla, se los mantuvo cerrados de manera hermética con pegamento y cintas elásticas para evitar la fuga de biogás, previamente se hizo una prueba con agua, para verificar que quede herméticamente cerrado y no entre oxígeno. Al biodigestor se le incorporó una salida de

biogás de manguera corta de PVC de ½”, ubicada en un extremo la cual fue sellada herméticamente y luego conectada al manómetro para medir la presión y posteriormente se calculó el volumen. Todos los recipientes fueron colocados en el mismo lugar con igual acceso a la luz solar y de temperatura, en un mismo nivel de suelo y con igual cantidad de sustrato.



Construcción de los biodigestores experimentales

- **Realización de una nueva medición o post test**



Cálculo del volumen de biogás

Después de un tiempo de retención de 35 días, se calculó el volumen de biogás utilizando un manómetro de tubo en U, con agua como fluido manométrico y medidas de 0 – 1 bar. Se midió la presión que ejerce la producción de biogás sobre la columna de agua, luego se calculó el volumen de biogás producido utilizando la ley de gases ideales, asumiendo el comportamiento del biogás como un gas ideal.

Según la Ecuación Ley de Gases Ideales:

$$P.V = N.R.T$$

Donde:

P = presión

V= volumen

N = número de moles: Masa/Peso Molecular

R = constante de los gases ideales $R = (8,314472) \text{ L. KPa / K.mol}$

T = temperatura a condiciones normales 273,15 °K

* Peso Molecular del biogás = 27,2

Barrena *et al* (2007), utilizaron botellas de gaseosa de 1795 ml como biodigestores, luego taparon las botellas con tapones de jebe microporoso atravesados por una manguera de PVC de ¼", la cual se introdujo en un tubo de ensayo de 2.5 cm de diámetro y 30 cm de largo, previamente calibrado y marcado cada 10 ml (60 ml) lleno de agua, libre de burbujas de aire y colocado invertido en una tina de agua, sujeto con liga a un soporte de fierro. El biogás que se genera desplaza el agua del interior del tubo de ensayo calibrado, con lo cual se pudo medir el volumen de biogás producido en cada biodigestor de laboratorio en un tiempo máximo de 45 días.

Como el volumen de los tubos de ensayo empleados para coleccionar el biogás era insuficiente, se empleó botellas descartables de gaseosa de 260 ml, las que fueron calibradas y marcadas cada 50 ml, de esta manera se logró coleccionar todo el biogás producido en cada biodigestor.

- **Análisis estadístico de los datos**

Se realizaron tres repeticiones de cada mezcla para reducir el error estadístico, el experimento se realizó en época húmeda (marzo) y en época seca (septiembre). Para el procesamiento de los resultados experimentales se utilizó el software estadístico: Statistics (SPSS), mediante una prueba de comparación de medias.

4.6 Procedimiento para proponer un biodigestor tubular de polietileno según necesidades de combustible

En el caso de una familia de seis personas que cocina normalmente por tres horas cada día con leña. Si se sustituye la leña por biogás, el tiempo de uso de la cocina

será mayor, porque el biogás tiene menor poder calorífico. Por tanto se estima que habrá que diseñar un biodigestor capaz de producir biogás para cocinar por cuatro horas cada día.

Según un informe del Programa Nacional de instalación de biodigestores a nivel Nacional del Ministerio de Energía y Minas del Perú cada familia consume 10 kg de leña por día en promedio.

Tabla 7

Volumen de biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba en m³

TRATAMIENTOS	Volumen de biogás (m ³ /Kg)
A.R + R.A EN ÉPOCA HÚMEDA	0,275
A.R + R.A EN ÉPOCA HÚMEDA	0,276
A.R + R.A EN ÉPOCA HÚMEDA	0,275
A.R + R.A EN ÉPOCA SECA	0,278
A.R + R.A EN ÉPOCA SECA	0,279
A.R + R.A EN ÉPOCA SECA	0,279
MEDIA	0,277

Fuente: *Elaboración propia*

A.R: Agua del río Utcubamba

R.A: Residuos agrícolas de arroz (paja de arroz)

4.6.1 Carga de paja de arroz

Según Baculima, & Rocano (2015) un metro cúbico de biogás de 60% de CH₄ + 40% de CO₂ equivale a 1,3 Kg de madera, teniendo en cuenta que una familia promedio utiliza 10 Kg de madera por día entonces se necesitaría 7,69 m³ de biogás. Tomando el valor de la tabla 7, se generan 0,277 m³ de biogas por Kg de paja de arroz, entonces para producir esos 7,69 m³ de biogás, se calcula lo siguiente.

$$\text{Carga de paja de arroz} = 7,69 \text{ m}^3 / (0,277 \text{ m}^3/\text{Kg})$$

Se obtiene que son necesarios 27,76 kg de paja de arroz al día. Redondeando supondremos una carga de 28 kg de paja seca de arroz.

4.6.2 Volumen líquido, gaseoso y volumen total

La mezcla, por ser para un biodigestor tubular de régimen continuo se realiza en relación 1:3 de paja de arroz con el agua, por lo que todos los días se mezclarán 28 kg de paja de arroz con 84 litros de agua, dando un total de carga de mezcla diaria de 112 litros. El tiempo de retención será durante 35 días y conociendo la carga de mezcla diaria se obtiene el volumen líquido:

$$VL = \text{tiempo de retención (35 días)} \times 112 \text{ litros} = 3\,920 \text{ litros}$$

El volumen líquido serán 3 920litros (3.920 m³) que supone tres cuartas partes del volumen total, ya que una parte será para la campana de gas. De esta forma, a la campana de gas se le asigna un volumen de un tercio del volumen líquido resultando en 1 306,7 litros de volumen. El volumen total será por tanto de 5 227 litros (5.227 m³).

Para las dimensiones del biodigestor de 5.227 m³, se realiza el siguiente dimensionamiento.

4.6.3 Dimensionamiento del biodigestor tubular de polietileno

Conociendo el volumen total de un biodigestor (5.227 m³) se deberá determinar las dimensiones del mismo. Las dimensiones primeras a determinar son la longitud y radio del biodigestor tubular.

- **Ancho de rollo y radio de la manga**

El polietileno tubular se vende en rollos de 50 metros, con un ancho de rollo que varía normalmente entre 1, 1.25, 1.50, 1.75 y 2 metros.

Para la construcción de biodigestores tubulares, es la forma del plástico, la que permite hacer una cámara hermética si es que amarramos ambos extremos de la manga.

El ancho de rollo determina el diámetro y radio de nuestro biodigestor.

Si utilizamos un rollo de 1,5 metros de ancho entonces tendría 3 metros de circunferencia del plástico. El perímetro de la circunferencia viene dado por:

$$P_0 = 2.\pi.r$$

Donde:

P_0 = Perímetro de la circunferencia

π (pi) = 3,1416

r = radio de la circunferencia

Entonces el radio es igual a

$$r = P_0/2.\pi$$

$$r = 3m/(2 \times 3.1416)$$

De donde se obtiene que:

$r = 0,48$ metros

- **Volumen y longitud del biodigestor tubular de polietileno**

El biodigestor es una manga de plástico amarrada por ambos extremos a una entrada y una salida. El volumen total de esta manga equivale al volumen de un cilindro (en metros cúbicos) que se calcula multiplicando $\pi \times r^2 \times L$

$V_{cilindro} = \pi \times r^2 \times L$
--

Donde:

$$V_{cilindro} = 5.227 \text{ m}^3$$

$$\pi = 3.1416$$

$$r = 0,48 \text{ metros}$$

L = longitud del biodigestor

Con la formula se obtiene la longitud del biodigestor

$$5.227 \text{ m}^3 = 3,1416 \times (0,48\text{m})^2 \times L$$

$L = 7,26$ metros

V. RESULTADOS

5.1 Volumen de biogás

Tabla 8

Volumen de biogás generado durante época húmeda

	Tratamiento 1
Repetición 1	0,5342 litros
Repetición 2	0,5357 litros
Repetición 3	0,5333 litros

Fuente: *Elaboración propia*

Tratamiento 1: Residuos de cosecha de arroz + agua del río Utcubamba.

Tabla 9

Volumen de biogás generado durante época seca

	Tratamiento 2
Repetición 1	0,5403 litros
Repetición 2	0,5417 litros
Repetición 3	0,5417 litros

Fuente: *Elaboración propia*

Tratamiento 2: Residuos de cosecha de arroz + agua del río Utcubamba.

5.2 Resultados de los análisis de agua (LABSAG del INDES - CES)

Tabla 10

Parámetros fisicoquímicos de agua - época húmeda (marzo, abril).

Resultado de análisis fisicoquímico de agua	
Código de muestra	FQ-180-2016
Punto de muestreo	P2
Ubicación	río Utcubamba
pH (1:1)	7,38
Turbidez (UNT)	139,85
C.E (Conductividad eléctrica) $\mu\text{S/cm}$	1464
DBO (ppm O ₂)	0,14

Fuente: INDES – CES – Laboratorio de suelos y aguas (LABSAG)

Tabla 11

Parámetros fisicoquímicos de agua- época seca (septiembre –octubre).

Resultado de análisis fisicoquímico de agua	
Código de muestra	FQ-180-2016
Punto de muestreo	P2
Ubicación	río Utcubamba
pH (1:1)	7,115
Turbidez (UNT)	9,99
C.E (Conductividad eléctrica) $\mu\text{S}/\text{cm}$	402
DBO (ppm O^2)	28

Fuente: INDES – CES – Laboratorio de suelos y aguas (LABSAG)

5.3 Temperaturas de Bagua Grande

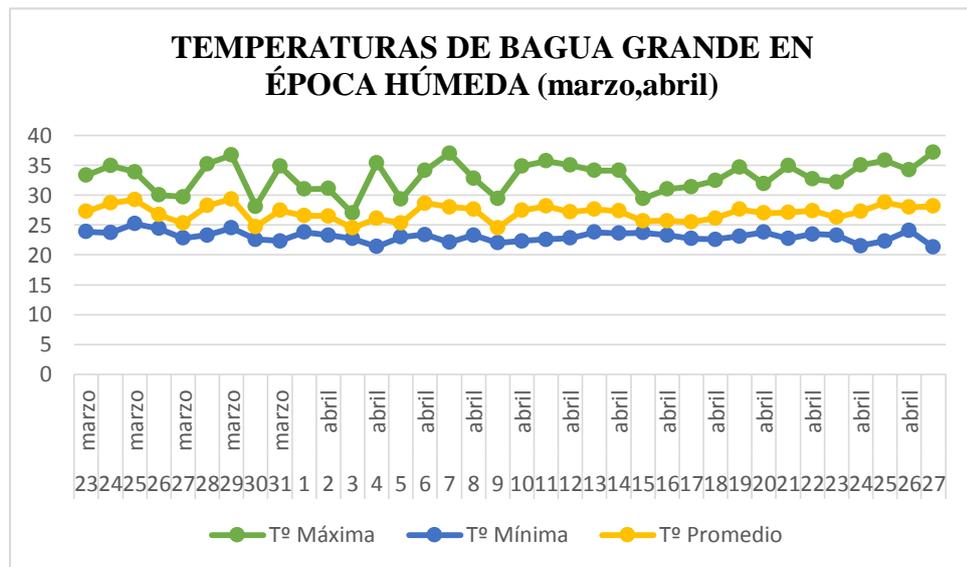


Figura 2: Temperaturas de Bagua Grande en época húmeda (marzo – abril del 2016. Fuente: SENAMHI – Oficina de estadística.

La temperatura media durante los treinta y cinco días que duró el experimento entre los meses de marzo a abril fue de **26,97**

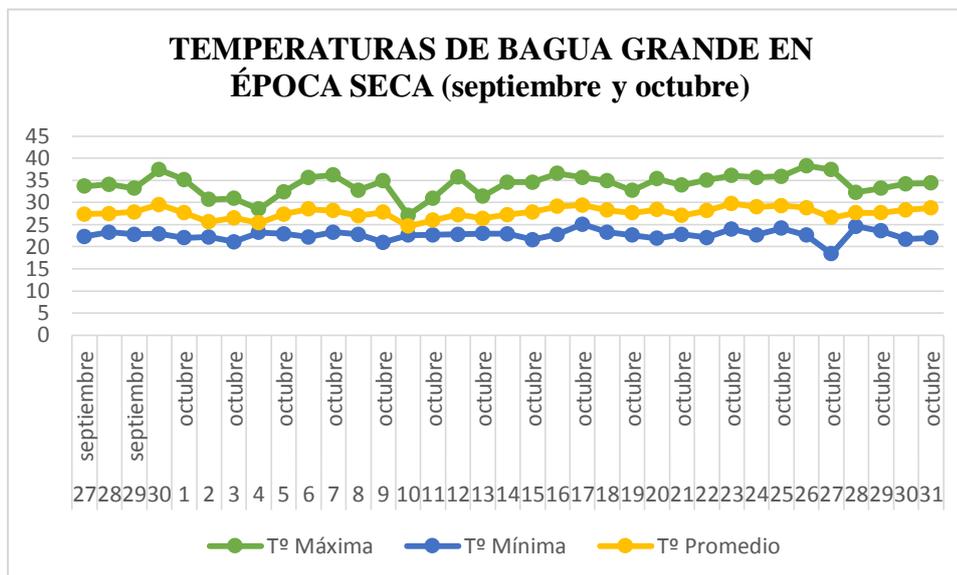


Figura 3: *Temperaturas de Bagua Grande en época seca (septiembre – octubre del 2016)* Fuente (SENAMHI – Oficina de estadística)

La temperatura media durante los treinta y cinco días que duró el experimento entre los meses de septiembre a octubre fue de **27,71**

5.4 Análisis de datos.

Tabla 12

Informe de estadísticos: Volúmenes de biogás en época húmeda y época seca

Descriptivos

Volumen de biogás

	N	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
Agua del río Utcubamba, E.H, 26,97	3	,534400	,0012124	,0007000	,5333	,5357
Agua del río Utcubamba, E.S, 27,71°C	3	,541233	,0008083	,0004667	,5403	,5417
Total	6	,537817	,0038546	,0015736	,5333	,5417

Fuente: *Elaboración propia*

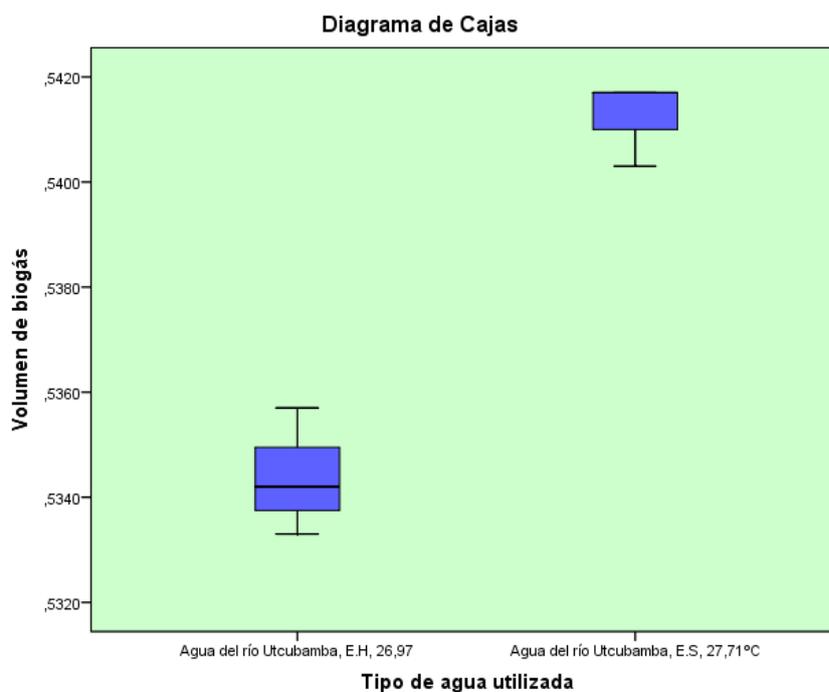
De la tabla 12. El T2: agua de río Utcubamba en época seca + paja de arroz, arrojó el mayor valor equivalente a **0,541** ml de biogás y la media del T1: agua de río en época húmeda + paja de arroz es **0,534** ml de biogás.

Tabla 13

Promedio de volumen de biogás por Kg de paja de arroz en época húmeda y época seca

TRATAMIENTOS	ml de biogás /Kg	m ³ de biogás/Kg
Paja de Arroz + Agua R.U (26.97°C)	0,267	0,275
Paja de Arroz + Agua R.U (26.97°C)	0,268	0,276
Paja de Arroz + Agua R.U (26.97°C)	0,267	0,275
Paja de Arroz + Agua R.U (27.71°C)	0,270	0,278
Paja de Arroz + Agua R.U (27.71°C)	0,271	0,279
Paja de Arroz + Agua R.U (27.71°C)	0,271	0,279
MEDIA	0,269	0,277

Figura 4: Diagrama de Cajas (Volumen de biogás por temperatura).



Fuente: Elaboración propia

En el diagrama de cajas se observa que los dos tratamientos difieren entre sí. El T2 (agua del río Utcubamba en época seca) genera el mayor volumen de biogás y el T1 (agua del río Utcubamba en época húmeda) genera el menor volumen de biogás a partir de paja de arroz.

5.5 Propuesta del biodigestor tubular de polietileno según las necesidades de combustible para una familia promedio.

Tabla 14

Propuesta de un biodigestor familiar tubular de polietileno para producir bogas a partir de paja de arroz en Bagua Grande

Parámetros de diseño	Valores
Producción de biogás diario	7,69 m ³ de biogás
Tiempo de retención	35 días
Temperatura promedio	25 – 30 °C
Carga de paja de arroz	28Kg
Volumen de agua	84 litros
Volumen liquido	3,920 m ³
Volumen gaseoso	1, 307 m ³
Volumen total	5.227 m ³
Ancho del rollo	1,5 m
Radio del biodigestor	0,48 m
Longitud del biodigestor y de la zanja	7,26 m
Longitud del plástico (se añade 1 metro para amarre)	8,26 m
Ancho inferior de la zanja	0,8 m
Ancho superior de la zanja	1 m
Profundidad de la zanja	0,7 m

Fuente: *Elaboración propia*

5.6 Evaluación económica del biodigestor tubular de polietileno propuesto

Tabla 15

Costo total del biodigestor tubular de polietileno propuesto

Descripción	Costo
Construcción del biodigestor	586.00
Herramientas para instalación	298.90
Mano de obra para construcción e instalación del biodigestor	290.00
Total	1 174.90

Fuente: *Elaboración propia.*

Los costos para la construcción del biodigestor, las herramientas para la instalación y para la mano de obra se detallan en los anexos 13, 14 y 15

Tabla 16

Beneficios directos por el uso del biodigestor tubular para producir biogás a partir de paja de arroz en un año

Producción de biogás diario: 3,85 m³ de biogás (4 - 5 horas de cocina)

Beneficios del biogás	Valores por día	Valor anual
Precio comercial por Kg de madera.	1 sol	365
Ahorro total anual por el uso de biogás	1 soles	365 soles

Fuente: *Elaboración propia.*

Una familia promedio gasta una unidad de gas de GLP, cuyo costo oscila entre 30 a 35 soles en Bagua Grande.

Tabla 17***Beneficios del uso del biodigestor tubular de polietileno en un periodo de 5 años***

Beneficios	Años				
	1	2	3	4	5
Valor del biogás					
(soles)	365.0	365.0	365.0	365.00	365.00
Costo					
(materiales y herramientas)	884,9	0.00	0.00	0.00	0.00
Mano de obra	290.0	0.00	0.00	0.00	0.00
Costos totales					
(soles)	-1 174.9	-809.9	-444.9	-79.90	285.10
Beneficios netos					
por año (soles)	-809.9	-444,9	-79,9	285.10	650.10

Fuente: *Elaboración propia*

En términos económicos los beneficios que presenta la utilización del biodigestor significa un ahorro en el primer año de s/. 365.00 para una producción de 7,69 m³ de biogás por día.

VI. DISCUSIÓN

Contreras *et al* (2012) adicionaron inóculos provenientes de lodos anaerobios de plantas de biogás, realizaron su experimento en condiciones termofílicas 55 ° C y en condiciones mesofílicas 37 °C, obteniendo 0,50 m³kgSV⁻¹ y 0,46 m³kgSV⁻¹ respectivamente, a partir de paja de arroz como monosustrato. El mayor volumen de biogás producido es 0,28 m³ de biogás por Kg de paja de arroz bajo condiciones mesofílicas (27,71 °C) durante época seca y durante época húmeda (26,97°C) se obtuvo 0,27m³/Kg. Por lo tanto se deduce que la temperatura influyó de forma favorable en la producción de biogás al acelerar el proceso de biodigestión anaeróbica. El incremento de temperatura también influye en la producción de biogás, por lo que será necesario operar los biodigestores a una mayor temperatura.

Ferrer *et al.*, (2009), instalaron biodigestores piloto que producen aproximadamente 0.2 m³biogas/m³ biodigestor día⁻¹, dentro del rango psicrófilico, con biodigestores de 5 m³ es suficiente para cocinar 3-4 h diarias, sustituyendo los combustibles tradicionales. El coste de construcción de los biodigestores es 140.7 soles/ m³. A nivel financiero, la instalación es más viable cuando el biogás sustituye un combustible con valor de mercado como el gas propano, resultando en un payback de 2 años y 8 meses. El biodigestor tubular que se propone, de polietileno de 5.227 m³ para producir biogás a partir de paja de arroz generaría 7,69 m³ de biogás para cocinar 4 horas diarias para una familia promedio. El coste de construcción del biodigestor es 1 174.90 soles, 152.7 soles/m³, 12 soles más que el costo por metro cubico obtenido por Ferrer *et al*, (2009).

Según Poggio *et al*, (2006 el coste total de los materiales empleados para el digestor de PVC (1746 soles) es un 73% superior con respecto al digestor de polietileno (1 008 soles). En esta investigación se estimó un costo total para la construcción de un biodigestor tubular de 5.227 m³ es 1 174.9 soles, 166.9 soles más que el costo estimado por Poggio *et al*, (2006).

VII. CONCLUSIONES

- Las dimensiones óptimas del biodigestor tubular de polietileno son 7,26 m de longitud y 1,5 m de ancho, que generaría 7,69 m³ de biogás diariamente para producir biogás a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba en la ciudad de Bagua Grande.
- Con la instalación de los biodigestores experimentales se determinó que el volumen promedio de biogás generado a partir de paja de arroz y agua del río Utcubamba es (0,269 ml de biogás/ Kg de paja de arroz), obteniéndose el valor óptimo (0,541 ml de biogás/2Kg de paja de arroz o 0,2706 ml de biogás/ Kg de paja de arroz) en época seca a 27,71°C
- Un biodigestor tubular de polietileno para producir biogás a partir de paja de arroz, es una propuesta viable considerando que en menos de 4 años se podrá recuperar la inversión inicial (1 174 soles), para sustituir la leña que emplea una familia promedio en la cocción de alimentos, reducir la contaminación ambiental, y mejorar la calidad de vida de las personas en la ciudad de Bagua Grande – Amazonas.

VIII. RECOMENDACIONES

- Instalar biodigestores tubulares de polietileno demostrativos, a fin de que las personas puedan evaluar los beneficios económicos y ambientales, de esta manera se apropien de esta tecnología y se difunda entre toda la población especialmente las familias más pobres ubicadas en las zonas rurales, de esta manera la paja de arroz no será un problema sino una alternativa energética limpia y sustentable que promueva el desarrollo a nivel local.
- Producir biogás a mayor escala con los valores óptimos de cada variable, en las zonas rurales donde cultivan arroz y aprovecharlo como combustible ecológico sustituto de la leña para cocinar alimentos y mejorar la calidad de vida de las personas que hagan uso de esta tecnología.
- Los resultados de la presente investigación pueden ser utilizados como línea base para hacer investigaciones sobre el uso de aguas residuales domésticas para la alimentación de biodigestores pudiendo obtener mejores resultados y contribuir a la meta nacional de brindar servicio de saneamiento universal. Para realizar nuevas investigaciones e incluir en los cálculos de carga la relación Carbono: Nitrógeno (C: N) de los sustratos, la calidad microbiológica del agua, y evaluar la calidad del bioabono generado durante el proceso de biodigestión anaeróbica de la paja de arroz.
- Para futuras investigaciones, realizar la asociación de la paja de arroz con otro tipo de sustrato en un proceso de co-digestión, utilizar un inóculo que active a las bacterias metanogénicas, trabajar a mayores temperaturas para optimizar la producción de biogás y utilizar materiales poco costosos en la fabricación de biodigestores para que el biogás sea una alternativa energética rentable y accesible para personas pobres del ámbito rural.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abril, D. Navarro, E y Abril, A. (2009). La paja de arroz. Consecuencias de su manejo y alternativas de aprovechamiento. *Agron*, 17 (2), 69-79.
- Andrade, J. H., Campo, O., y Segura, M. (2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 25-31
- Baculima, M. V., & Rocano, G. C. (2015). *Estudio para la determinación de la producción de energía eléctrica a partir del aprovechamiento del biogás de una granja porcina ubicada en la ciudad de Azogues*. Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Ecuador.
- Barrena, M; Gamarra, O; Maicelo, J. (2007). *Parámetros para producir biogás a escala de laboratorio con estiércol de ganado vacuno, agua de desagüe y cascara de papa en Chachapoyas*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas. Perú.
- Canales, R. (2011). *Producción de biogás a partir de aguas residuales y residuos agrícolas*. Tesis de postgrado, Escuela Agrícola Panamericana, Honduras.
- Contreras, L. M., Pereda, I., & Romero, O. (2012). Aprovechamiento energético de residuos arroceros por bio-conversión. Caso de estudio cuba. *Revista DYNA Energía y Sostenibilidad*, 1(1), 1-11.
- Ferre, A. (2010,17 de noviembre). *La paja del arroz amenaza el ecosistema*. *BBC Mundo*. Recuperado el 16 de octubre de 2015, desde http://www.bbc.com/mundo/noticias/2010/11/101112_paja_arroz_ecosistema_af.shtml
- Ferrer, I., Uggetti, E., Poggio, D., Martí, J., & Velo, E. (2009). *Producción de biogás a partir de residuos orgánicos en biodigestores de bajo coste*. Perú
- García, A. (2010). *Mejoramiento de la eficiencia energética y económica en el CAI Arroceros Sur del Jibaro mediante estudio de potenciales de ahorro por aprovechamiento energético de residuos*. Tesis de Maestría en Eficiencia Energética, Centro Universitario José Martí Pérez, Cuba.
- Gobierno de Perú. Ministerio de Agricultura y Riego. (2011). *Biodigestores en el Perú*. Lima: Soluciones Prácticas. Recuperado el 12 de diciembre de 2014, desde <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manualesboletines/bioenergia/biodigestores.pdf>

- Gobierno de Perú. Ministerio de Agricultura y Riego (2012). *El arroz: Principales aspectos de la cadena productiva*. Lima: Centro de Documentación Agraria-CENDOC. Recuperado el 02 de mayo de 2015, desde <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/agroeconomia/agroekonomiaarroz3.pdf>
- Gobierno de Perú. Ministerio Nacional del Ambiente (2014). *Estrategia Nacional ante el Cambio Climático*. Recuperado el 08 de diciembre de 2014, desde http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Estrategia-Nacional-ante-el-Cambio-Climatico_ENCC.pdf
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2007). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis* (4). Recuperado el 20 de noviembre de 2015, desde https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr_sp.pdf
- Gutiérrez, G., Moncada, I., Meza, M., Felix, A., Balderas, J., & Gortáres, P. (2012). Biogás: una alternativa ecológica para la producción de energía. *Ide@s CONCITEG*, 7 (85), 881-894.
- Herrero, M.J (2007). *Experiencia de transferencia tecnológica de biodigestores familiares en Bolivia*. Livestock Research for Rural Development. Vol 19(192). Recuperado el 10 de diciembre desde <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd19/12/mart19192.htm>
- Hidalgo, J; Maravilla, V; Ramírez, W. (2010) *Aprovechamiento energético del biogás en el Salvador*. Tesis de postgrado. Universidad Centroamericana “José Simeón Cañas”, El Salvador.
- Lara, E., y Hidalgo, M.B., (2011). *Diseño de un biorreactor y conducción del biogás generado por las excretas de ganado vacuno* (tesis pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2011. Recuperado el 17 de octubre del 2016 desde: [en:http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf](http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1652/1/236T0056.pdf)
- Martí, J. (2008). *Guía de Diseño y Manual de instalación de biodigestores familiares (GIZ) (Castellano)*. Recuperado el 10 de diciembre del 2016 desde http://www.endev-bolivia.org/images/stories/proyecto_endev/biogestores/Descargas/Difusion/Manual-construccion-BDG.pdf
- Maza, C. y Villanueva, L. (2011). *Diseño de investigación aplicado a las ciencias del medio ambiente*. (1ª. ed.). Santiago de Chile: Universitaria

- Olaya, Y., y González., L. O., (2009). *Fundamentos para el diseño de biodigestores*. Recuperado el 20 de mayo de 2015 desde www.bdigital.unal.edu.co/7967/4/luisoctaviogonzalezsalcedo.20121.pdf
- Pinto, L. (s.f). *Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Poggio D, Ferrer I, Batet Ll y Velo, E (2009). *Adaptación de biodigestores tubulares de plástico a climas fríos*. *Livestock Research for Rural Development*. 21(152) Recuperado el 5 de mayo del 2016 desde: https://www.researchgate.net/profile/Ivet_Ferrer/publication/287593627_Adaptation_of_plastic_tubular_biodigesters_to_cold_climates/links/572b2dd408ae2efbdfbdcf51.pdf
- Poggio, D. (2009). *Manual de instalación de un biodigestor tipo manga para zonas altoandinas*. Recuperado el 10 de noviembre del 2016 desde. http://www.cedecap.org.pe/uploads/biblioteca/101bib_arch.pdf
- Solomon, C. y Balmes, J. (2003), *The Effect of Smoke from Burning Vegetative Residues on Airway Inflammation and Pulmonary Function in Healthy, Asthmatic, and Allergic individuals*. San Francisco: CA.
- Su, J., Hu, C., Yan, X., Jin, Y., Chen, Z., Guan, Q.,... Sun, C. (2015). Expression of barley SUSIBA2 transcription factor yields high-starch low-methane rice. *Nature*, 53(1), 602-606. doi: 10.1038 / nature14673
- Zedeño, A. R., Carbonell, B., Avalo, Y. (2014). Evaluación agronómica y medioambiental del uso de la paja de arroz como sustrato en la producción de biogás. *Ciencia e Interculturalidad*, 15(2) 137-145.

ANEXOS

Anexo 1

Análisis fisicoquímico de agua en época húmeda



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Instituto de Investigación para el Desarrollo
Sustentable de Ceja de Selva, INDES-CES
Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas

RESULTADO DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA

1. UBICACIÓN

Solicitante : Carlos Miguel Campos Peralta Provincia : Utcubamba
Departamento : Amazonas Fecha de análisis : 12-04-2016

2. RESULTADOS

Código de muestra	Fuente de agua	Punto de muestreo	Fecha de toma de muestra	Parámetros Fisicoquímicos			
				Turbiedad UNT	C.E (Conductividad eléctrica) (µS/cm)	DBO 5 Ppm O2	pH (1-1)
FQ-035-2016	Agua entubada Bagua Grande	P1	12-04-2016	2.22	353	0.02	8.13



Código de muestra	Fuente de agua	Punto de muestreo	Fecha de toma de muestra	Parámetros Fisicoquímicos			
				Turbiedad UNT	C.E (Conductividad eléctrica) (µS/cm)	DBO 5 Ppm O2	pH (1-1)
FQ-036-2016	Rio Utcubamba Bagua Grande	P1	12-04-2016	139.85	1464	0.14	7.38

3. OBSERVACIONES

Las muestras no fueron colectadas por personal del Laboratorio de la UNTRM.

Anexo 2

Análisis fisicoquímico de agua en época seca



UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS

Instituto de Investigación para el Desarrollo
Sustentable de Ceja de Selva, INDES-CES
Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas

RESULTADO DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE AGUA

1. DATOS GENERALES

SOLICITANTE : CARLOS MIGUEL CAMPOS PERALTA
DEPARTAMENTO : AMAZONAS
PROVINCIA : UTCUBAMBA
DISTRITO : BAGUA GRANDE
FECHA DE ANÁLISIS : 18/10/2016

2. RESULTADOS

Parámetros Fisicoquímicos		
Código de muestra	FQ-179-2016	FQ-180-2016
Punto de muestreo	P1	P2
Ubicación	Agua Entubada Bagua Grande	Rio Utcubamba
pH (1:1)	7.447	7.115
Turbidez UNT	0.87	9.99
C.E (Conductividad eléctrica) (µS/cm)	119.8	402
DBO Ppm O ₂	1.30	28.00

3. OBSERVACIONES

Las muestras no fueron colectadas por el personal de laboratorio de la UNTRM.

UNIVERSIDAD NACIONAL
"TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"
Bago. FERNANDO BARROTO DE LA FUENTE
RESPONSABLE

Anexo 3

Cálculo del volumen de biogás generado a partir de paja de arroz con agua del río Utcubamba y entubada

CÁLCULO DE LA PRESIÓN DE LOS BIODIGESTORES A CONDICIONES NORMALES EN ÉPOCA HÚMEDA							
TRATAMIENTO	BIODIGESTOR	D (Kg/m ³)	g (m/s ²)	Y AGUA (KN/m ³)	h(m)	PA (KPa)	P1 (KPa)
1.1	AR + RA	1000	9,80	9,8	0,187	101,33	103,16
1.2	AR + RA	1000	9,80	9,8	0,190	101,33	103,19
1.3	AR + RA	1000	9,80	9,8	0,189	101,33	103,18

A.R = agua del río Utcubamba

A.E= agua entubada de consumo humano en Bagua Grande

R.A = residuos agrícolas de arroz (paja de arroz)

CÁLCULO DEL VOLÚMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO UTILIZANDO LA LEY DE GASES IDEALES A CONDICIONES NORMALES EN ÉPOCA HUMEDA									
TRATAMIENTO	M (Kg)	PM (Kg/Kg mol) del biogás	n (mol)	R (L. Kpa)/°K. mol)	T (°k)	P1 (KPa)	V (L)	D (Kg/m ³)	V(m3)
1.1	0,660	27,200	0,024	8,314	273,150	103,16	0,5342	1,2	0,550
1.2	0,662	27,200	0,024	8,314	273,150	103,19	0,5357	1,2	0,552
1.3	0,659	27,200	0,024	8,314	273,150	103,18	0,5333	1,2	0,549

Anexo 4

CÁLCULO DE LA PRESIÓN DEL BIOGÁS A CONDICIONES NORMALES EN ÉPOCA SECA							
TRATAMIENTO	BIODIGESTOR	D (Kg/m ³)	g (m/s ²)	Y AGUA (KN/m ³)	h(m)	PA (KPa)	P1 (KPa)
1.1	AR + RA	1000	9,80	9,8	0,195	101,33	103,24
1.2	AR + RA	1000	9,80	9,8	0,198	101,33	103,27
1.3	AR + RA	1000	9,80	9,8	0,198	101,33	103,27

A.R = agua del río Utcubamba

A.E= agua entubada de consumo humano en Bagua Grande

R.A = residuos agrícolas de arroz (paja de arroz)

CÁLCULO DEL VOLÚMEN DE BIOGÁS PRODUCIDO UTILIZANDO LA LEY DE GASES IDEALES A CONDICIONES NORMALES EN ÉPOCA seca									
TRATAMIENTO	M (Kg)	PM (Kg/Kg mol) del biogás	n (mol)	R (L. Kpa)/°K. mol)	T (°k)	P1 (KPa)	V (L)	D (Kg/m ³)	V(m3)
1.1	0,6680	27,2000	0,0246	8,3144	273,1500	103,2360	0,5403	1,2000	0,5567
1.2	0,6700	27,2000	0,0246	8,3144	273,1500	103,2654	0,5417	1,2000	0,5583
1.3	0,6700	27,2000	0,0246	8,3144	273,1500	103,2654	0,5417	1,2000	0,5583

Anexo 5

Fotografías



Fotografías 1 y 2.-Toma de muestras de residuos agrícolas del cultivo de arroz en época húmeda (marzo) y época seca (septiembre).



Fotografías 3 y 4. Preparación de los biodigestores experimentales



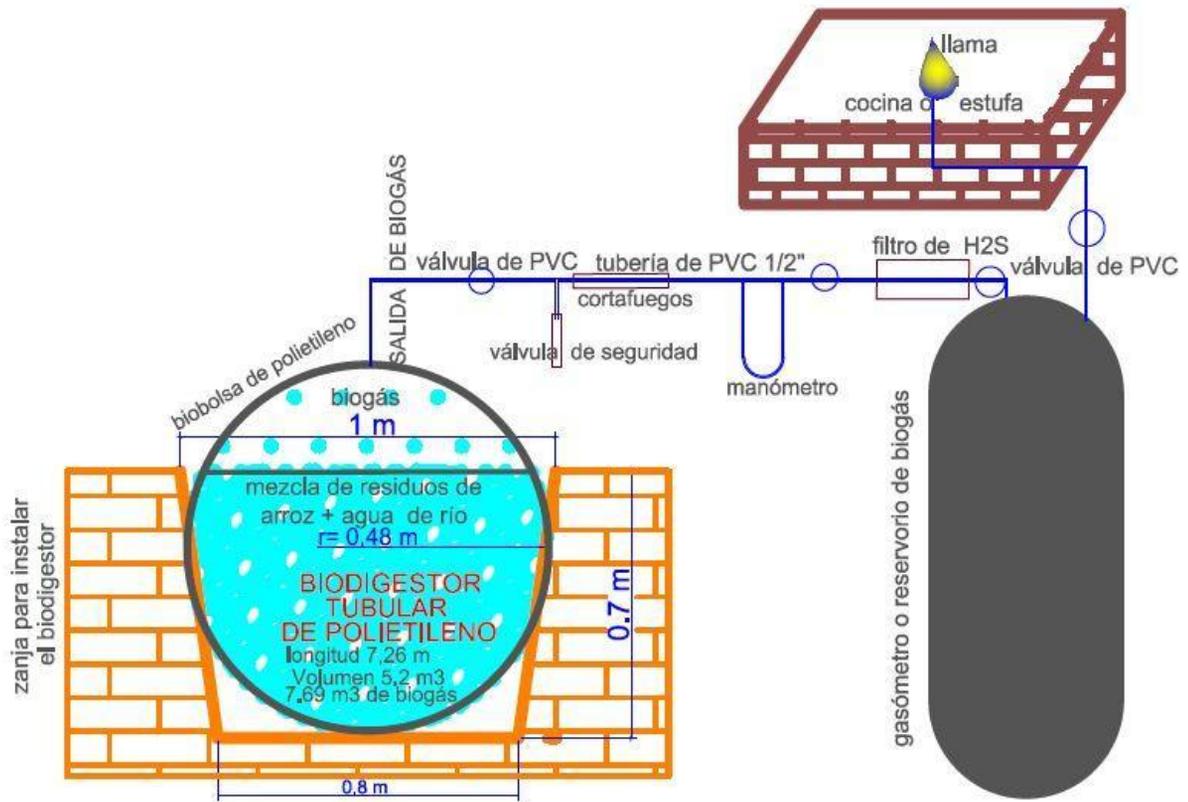
Fotografías 5 y 6. Muestras de agua del río Utcubamba y agua entubada en época húmeda (marzo) y seca (septiembre).



Fotografía 7. Diferencias de altura en los manómetros para medir presión ejercida por el biogás.

Anexo 6

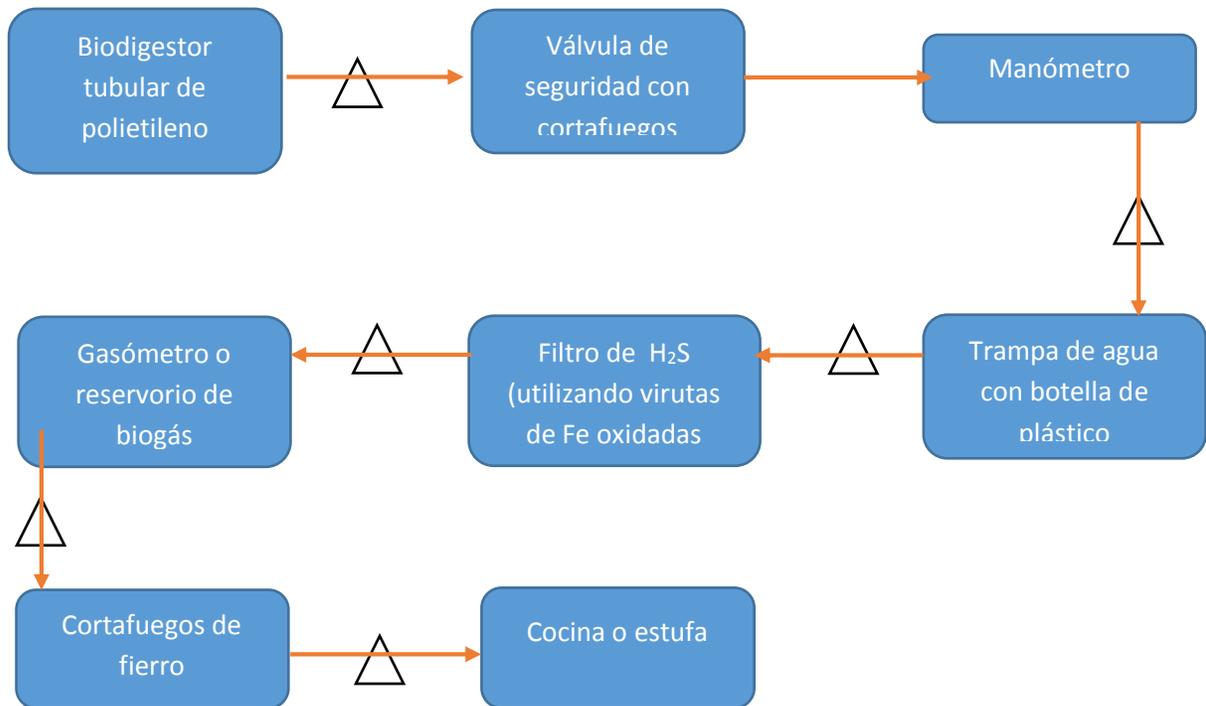
Diseño del biodigestor tubular de polietileno propuesto



Fuente: Elaboración propia. Plano de AutoCAD 2014

Anexo 7

Diagrama de instalación de los accesorios del biodigestor tubular



← Tubería de PVC de 1/2"

△ Válvula de PVC

Fuente: *Elaboración Propia*

Anexo 8

Materiales y presupuesto estimado para un biodigestor tubular de (5,51 m = 6 m) (Costes aproximados enero 2017, en Perú)

	Material	Unidades por biodigestor	Precio unidad (soles)	Total en soles
Conducción de biogás	Tubería de PVC de ½"	4 (5 m)	7,5.00	30.00
	Llaves de bola ½", de plástico	6	10.00	60.00
	Flange ½" de plástico	2	10.00	20.00
	Codos de PVC ½"	4	1.0	4.00
	Niple de PVC de ½"	2	1,5.00	3.00
	Tee de PVC ½"	4	2.00	8.00
	Teflón	1	2.00	2.00
Cocina	Codo metálico ½"	2	2.00	4.00
	Tubos metálicos ½", 12 cm	2	3.00	6.00
	Tubos metálicos ½", 7 cm	2	2,5.00	5.00
Biodigestor	Tubería de PVC 6"	2 m	15.00	30.00
	Liga de neumático	60 m	1.00	60.00
	Polietileno tubular (300 micrones de color negro humo) de 8,26 = 9 m	9 m	29.33	264.00
	Carpa solar	10 m	9.00	90.00
Total				586.00

Fuente: *Elaboración propia*

Anexo 9

Presupuesto estimado de herramientas para instalación de biodigestores

(Costes aproximados enero 2017, en Perú)

Material	Precio unidad	Precio total en soles
Palana	59.90	59.90
Pico	70.00	70.00
Tijera	9.00	9.00
Llave estilson # 10	35.00	35.00
Selladora manual de plástico (30 cm)	98.00	98.00
Manguera transparente para nivel (12m)	1.5 (m)	18.00
Total		298.90

Fuente: *Elaboración propia*

Anexo 10

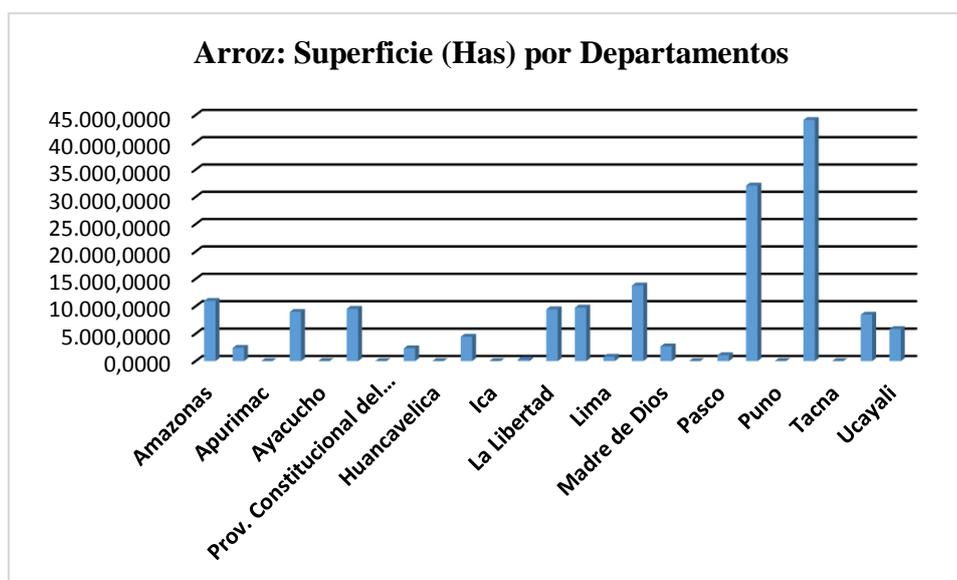
Mano de obra para la construcción e instalación del biodigestor tubular de polietileno.

Cantidad	Actividad	Costo
1	Especialista	180.00
1	Albañil	50.00
2	Jornalero	60.00
Total		290.00

Fuente: *Elaboración propia*

Anexo 11

Superficie de arroz en (Has) por departamentos en Perú



Fuente: PERU INEI - IV Censo Nacional Agropecuario 2012.

Anexo 12

Superficie de arroz en (Has) por provincias en Amazonas

Nombre de Provincia	Arroz: Superficie (Has)
Chachapoyas	2,75
Bagua	2938,36
Bongará	0
Condorcanqui	88,75
Luya	0
Rodríguez de Mendoza	7,45
Utcubamba	7955,1363
Total Departamento de Amazonas	10992,4463
Superficie Total Nacional	167.093,3881

Fuente: PERU INEI - IV Censo Nacional Agropecuario 2012.

Anexo 13

Superficie de arroz en (Has) por distritos en la provincia de Utcubamba

Provincia Utcubamba Amazonas	Arroz: Superficie (Has)
Dist. Bagua Grande	1.186,2349
Dist. Cajaruro	4.177,4600
Dist. Cumba	24,0000
Dist. El Milagro	2.500,0900
Dist. Jamalca	66,8514
Dist. Lonya Grande	0,5000
Dist. Yamon	0,0000
Total Departamento Amazonas	10.992,4463

Fuente: PERU INEI - IV Censo Nacional Agropecuario 2012.