

Julio - Diciembre

OBTENCIÓN DE BIOGÁS COMO FUENTE DE ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE LOS SUBPRODUCTOS DEL CAFÉ

Ricardo Romero Loaiza ^{a c d e}
 Renzo Henry Mamani Pari ^{b c d f}

^a DOCENTE ASOCIADO
 A TIEMPO COMPLETO
^b DOCENTE AUXILIAR
 A TIEMPO COMPLETO
^c ESCUELA
 PROFESIONAL DE
 CIENCIAS FÍSICO
 MATEMÁTICAS
^d FACULTAD DE
 INGENIERÍA CIVIL Y
 ARQUITECTURA
^e rromero@hotmail.com
^f renzohenrymp@yahoo.com.pe

Artículo recibido:
 13 de Marzo del 2012
 Aceptado para publicación:
 7 de Noviembre del 2013

RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en la cuenca del valle de Yanatile, distrito de Yanatile, provincia de Calca, región de Cusco, 2012. En la zona realizan el proceso beneficiado vía húmedo de café, los residuos orgánicos de esta actividad son arrojados a los cursos de agua y/o terrenos agrícolas, sin tratamiento alguno, causando graves problemas de contaminación ambiental, como generación de gas metano y bióxido de carbono debido a la descomposición aeróbica de los subproductos del café, estos gases son una fuente de contaminación atmosférica y asimismo generan el aumento de la temperatura de la Tierra, lo que podría originar importantes cambios climáticos con graves implicaciones para la productividad agrícola. El objetivo de la investigación se logró de manera satisfactoria con la obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café, utilizando biodigestores de modelo tipo Taiwán de forma tubular. Como parte de la metodología se logró estimar la cantidad de generación de gas metano y bióxido de carbono a partir de la muestra de la pulpa y mucílago, con el resultado de la estimación se diseña y se construye un sistema de biodigestores, para su alimentación se usan la

pulpa humectada y mucílago de café. Como Instrumentos de medición se utilizaron los sensores de temperatura, sensor pH-metro, manómetro columna de agua, sensor de gas dióxido de carbono, horno de secado, cromatografía. Los resultados encontrados responde al objetivo general planteado ya que se encontró 6, 430,912.65 m³ de biogás como estimado, compuesto por: 65.224 % de metano, 29.776 % de bióxido de carbono y 5 % de otros gases, oportunidad para generar energía en el sector cafetalero utilizando los subproductos del proceso beneficiado de café. El lodo residual orgánico contiene: Nitrógeno 1.508 a 1.942 %, Fosforo 0.765 a 1.373 %, Potasio 0.46 a 1.83 %, el resultado garantiza que el lodo residual debe ser usado como abono base Nitrógeno, Fosforo y Potasio, en la misma propiedad del cafetalero.

Palabras clave: Biogás, residuos orgánicos, subproductos del café, biodigestores.

“OBTAINING OF BIOGAS AS A SOURCE OF RENEWABLE ENERGY FROM THE COFFEE BYPRODUCTS”

ABSTRACT

The work of research was conducted in the valley basin Yanatile, Yanatile district, province of Calca, Cusco region, 2012. In the zone performed the benefited process route wet coffee, organic waste from this activity are thrown into water courses and / or agricultural land, without treatment some, causing serious environmental pollution problems such as generation of methane gas and carbon dioxide due to aerobic decomposition of coffee byproducts, these gases are a source of atmospheric pollution and also generate increased temperature of the Earth, which could cause major climate change with serious implications for agricultural productivity. The research objective was achieved successfully with the biogas as a renewable energy from coffee byproducts using biodigesters Taiwan type tubular model. As part of the methodology is able to estimate the amount of generation of methane and carbon dioxide from the sample of the pulp and mucilage, with the result of the estimation is designed and is constructed a biodigester system, for feeding use the moist coffee pulp and mucilage. As measuring of instruments were used temperature sensors, pH-meter sensor, water column gauge sensor, carbon dioxide gas, oven drying, chromatography. The results found the general objective stated as 6,430,912.65 m³ of biogas as estimated by compound found: 65,224 % methane, 29.776 % carbon dioxide and 5% other gases, opportunity to generate energy in the coffee sector using byproducts of the process from coffee. The organic waste sludge contains: Nitrogen 1.508-1.942 %, Phosphorous 0.765-1.373 %, Potassium 0.46 to 1.83 %, the result ensures that the waste sludge to be used as fertilizer nitrogen, phosphorus and potassium basis, on the same property of the coffee.

Key Words: Biogas, organic waste, byproducts of coffee, biodigesters.

INTRODUCCIÓN

El proceso de beneficiado húmedo del café o fase húmeda consiste en el desprendimiento de la pulpa o cáscara y el mucílago (miel) al grano de café por medio de la despulpadora (Maquina) y el uso agua. El proceso de beneficiado húmedo resultan los contaminantes que son la pulpa o desecho sólido, aguas mieles y aguas residuales, lo que provoca la contaminación conocida como Orgánica. El 60% del fruto de café está formado por desechos sólidos como la pulpa (40%), Mucílago (16%) y cascarilla o pergamino (4%), siendo estos altamente contaminantes. La pulpa y aguas residuales contaminantes que afectan el agua de la siguiente manera: a) Afectación química: cambio en el PH, volviéndose más ácido, disminución de la concentración de oxígeno disuelto y oxidación de la materia orgánica, b) Afectación Física: cambio de apariencia o color, Mal olor (muerte de fauna) e incremento en la temperatura, c) Afectación Biológica: muerte de la microfauna, de la vegetación en los Ríos e intoxicación y a veces muerte de fauna terrestre (Zúñiga, Tardencilla, 2013)

La producción de café en la Región Cusco asciende a 36, 255.077 TM, el 10.6 % se destina al autoconsumo, el 0.2 % para las semillas y un 89.2 % a la venta. La cuenca del valle de Yanatile solo concentra el 11.1 % de la producción total con un aproximado 4,025.48 TM; se estima que el rendimiento promedio del café es de 0.61 TM por hectárea. (Plan estratégico de desarrollo del distrito de yanatile al 2021, 2011)

Procesamiento del café en Colombia y uso actual de los subproductos (Rodríguez, 2011).



Grafico 1: Balance de materia en el proceso de beneficio e industrialización del café
Fuente: Rodríguez, 2011

En resumen, se presentan datos asumidos relacionados con la metanización de la pulpa y aguas residuales, como sigue: Se asume que 1 Tonelada de biomasa produce 360 m³ de metano; Se asume que 1 Tonelada de biomasa produciría aproximadamente el equivalente a 4.725 toneladas dióxido de carbono; Se asume que las aguas mieles de 2,300 Toneladas de café

cerezo (café maduro) se obtiene 175 Toneladas de metano; Se estima que por cada tonelada métrica de metano se produce 21 toneladas de dióxido de carbono; La densidad del gas metano se asume 0.7169 kg/m³ (FIAGRO, 2006).

Pulpa de café composición físico-química (Rodríguez, 2011).

Tabla 1: Composición físico-química de la pulpa de café

pH %	Humedad %	Cenizas %	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %
4.40	74.83	6.6	1.76	0.13	2.82

Fuente: Rodríguez, 2011

Producir abono orgánico derivado de una descomposición inmediata de la pulpa de café con fines de contribuir, parcialmente, con los fertilizantes químicos para reducir los costos de producción. Se realizó en dos localidades, fincas con altitud baja y alta (400 y 1500 m.s.n.m). Se evaluaron activadores enzimáticos y bacte-

rias aeróbicas comparadas con volteos simples y volteos más agua; llegando a los resultados de análisis químico de la pulpa con las relaciones de carbono nitrógeno C/N entre 16 y 20, en concentraciones de altitud inferior 30 días y en zonas de altitud superior 90 días, obteniendo los siguientes resultados: Nitrógeno 1.60 %

altitud superior y 3.00 % altitud inferior, Fósforo 0.17 % altitud superior y 0.19 % altitud inferior, Potasio 2.60 % altitud superior y 3.37 % altitud inferior. (Asociación nacional del café, Guatemala, 2011).

Composición del biogás es variable, los principales componentes se indican en la siguiente tabla 2. (ROSROCA, 2010).

Tabla 2: Composición del biogás

Componente	Fórmula Química	Porcentaje (%)
Metano	CH ₄	50 - 70
Dióxido de carbono	CO ₂	25 - 45
Hidrógeno	H ₂	<1.5
Nitrógeno	N ₂	<3
Monóxido de carbono	CO	<0.5
Oxígeno	O ₂	<1
Ácido sulfhídrico	H ₂ S	<0.5

Fuente: ROSROCA, 2010

A nivel de la Región de Cusco, el café es uno de los principales productos agroindustriales que constituye la base económica y social de los agricultores de los valles de la Convención y Yanatile, la modalidad de cultivo que se practica es café bajo sombra, cual tiene la ventaja de reproducir el bosque, pues mantiene por más tiempo la fertilidad de los suelos conservando el ecosistema y la biodiversidad.

Los desechos del proceso de beneficiado húmedo del café la pulpa, mucílago y aguas mieles son considerados altamente contaminantes, el caficultor no tiene una alternativa de uso de estos residuos orgánicos, por lo tanto se presenta la necesidad de implementar una tecnología apropiada para el tratamiento de los residuos orgánicos de café en la cuenca del valle de Yanatile, por lo cual se propone la aplicación de la tecnología de digestión anaeróbica para obtener biogás. El biogás como fuente de energía renovable es económicamente sostenible y tiene al mismo tiempo un impacto favorable sobre el medio ambiente, al ser usado el metano se evita el calentamiento global.

En base a estas consideraciones se plantea el siguiente objetivo: Obtener biogás como fuente

de energía renovable a partir de los subproductos del café, utilizando biodigestores a condiciones meteorológicas del valle Yanatile – Cusco; para lo cual se desarrolló balance de masa, potencial de metanización de la pulpa y aguas residuales, componentes fisicoquímicas de la pulpa de café, análisis y evaluación del proceso de fermentación anaeróbica de los subproductos de café.

MATERIALES Y METODOS

ÁMBITO DE ESTUDIO.

El presente trabajo de investigación se realizó en la comunidad de Riobamba, a 1433 m.s.n.m, latitud sur entre 13° 08' 50", longitud oeste 72' 06' 53". Factores meteorológicos del ámbito: Temperatura ambiente: 18 °C – 35 °C, Precipitación fluvial: 900mm – 2000 mm/anales, Humedad relativa: 78 % – 95 %, Presión barométrica: 869.8 mBar.

MÉTODOS

Se buscó fuentes de información estadísticas de la producción de café de la Región Cusco y en seguida del distrito Yanatile, luego con los

datos obtenidos se calcula residuos generados anuales en el valle de Yanatile. Para lo cual se realiza experimentalmente el balance de masa del proceso beneficiado húmedo tradicional de café, basado en una muestra de 100 kg de café cereza. Con los datos obtenidos se determinó la cantidad de pulpa, mucílago y agua residual como materia prima en la cuenca del valle Yanatile, en el periodo 2011.

Debido a que el objetivo en esta parte de investigación es el potencial de metanización de residuos orgánicos del proceso de beneficiado de café, se realizan estimaciones para determinar cuál es el potencial energético que se tiene, tomando en cuenta estudios de marco teórico, (FIAGRO, 2006).

Para la determinación de los contenidos de humedad, sólidos volátiles y cenizas de la pulpa de café, se procedió los siguientes pasos: Primero se escogió muestra de la pulpa de café de buena calidad de 250 gramos, para colocar en el horno de secado a una temperatura constante de 105 °C, después de 5 horas de secado se pesó la masa seca en balanza de precisión. En seguida la masa seca obtenida se coloca en el horno eléctrico a una temperatura de 550°C y se deja que la combustión se complete hasta cierto tiempo que ya no existe humo, al enfriar unos 20 minutos se mide su masa, anotando en la tabla 5. A la masa seca se le resta la de cenizas, y se obtiene así el contenido de sólidos volátiles de la muestra.

Se realizó diseño y construcción de los biodigestores para el proceso anaeróbica de los subproductos de café con el objetivo de obtener biogás y el residuo del proceso (lodo) como bioabono. Los mejores resultados esperados se obtuvieron en el biodigestor tipo Taiwán instalado dentro de un invernadero de polietileno tratado, el modelo consiste en aprovechar bolsa de polietileno de forma tubular de color negro, como muestra de carga se utilizó pulpa de café humectada de 800 kg y 1100 litros de agua resi-

dual, ocupando un volumen de 2.7 m³ de los 4.2 m³ del total, quedando para gasómetro 1.5 m³. Se observó el comportamiento de la producción de biogás, manteniendo un monitoreo permanente de los parámetros de operación: Presión, pH y Temperatura, lo cual permitió analizar y evaluar el desempeño de los biodigestores; recolección y análisis de datos se realizó con el Software SPARKvue.

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN UTILIZADOS:

Horno de secado. Estufa al vacío con bomba: VWR Scientific Product, Modelo: 1400E, Presión de mercurio 0 a 30 in Hg., Temperatura: 0 a 150 °C.

Horno-eléctrico. THERMOLYNE: Modelo F48010-26, Temperatura: 0 a 1100°C

Balanza de precisión: METTLER TOLEDO

Equipo SPARK con sus sensores: Gas dióxido de carbono, pH, temperatura, clima.

Manómetro de agua. mmH₂O: milímetros columna de agua.

Metrohm 715 dosimat (Cromatografía). Titulación, valoración volumétrica.

Destilador para Nitrógeno. KJELTEC SYSTEM. CE TECATOR 10003738.

RESULTADOS

ANÁLISIS DEL BALANCE DE MASA EN BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ:

El balance de masa en beneficiado húmedo de café realizado es para una altitud de 1433 m.s.n.m., para variedad de café mondologo, el resultado obtenido es el promedio de experiencias realizadas y son valores representativos para el ámbito en estudio.

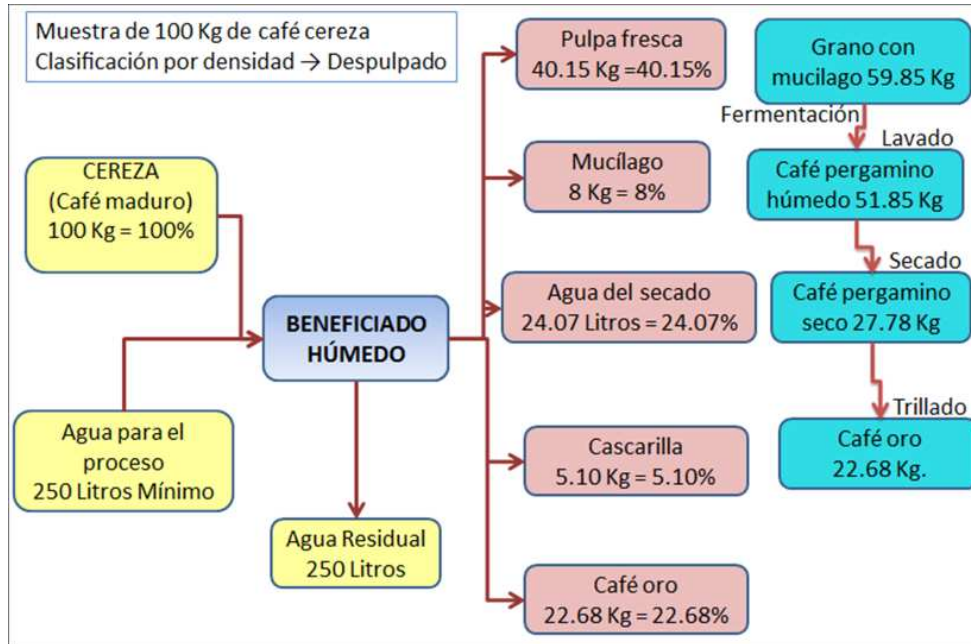


Grafico 2: Balance de masa en beneficiado húmedo de café

El balance de masa a permitido encontrar del café cereza la cantidad de subproductos que se generan en el proceso beneficiado vía húmeda, compuesto por (pulpa fresca 40.15 %, Mucílago 8 %, contenido del agua 24.07 %, cascarilla 5.10 %), para el proceso de muestra de 100 kg de café cereza se utilizó 250 litros de agua convertidos en aguas residuales, al final se obtiene 22.6 % de café oro.

ANÁLISIS DE ESTIMACIÓN DE CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS EN EL BENEFICIADO HÚMEDO DE CAFÉ:

Utilizando el resultado del balance de masa en el proceso beneficio húmedo de café, se estima cantidad de residuos orgánicos en la siguiente tabla:

Tabla 3: Cantidad de residuos generados en el beneficiado húmedo de café.

COMERCIALIZADO 2011	RESIDUOS GENERADOS PERIODO 2011		
Café pergamino (TM)	Pulpa (TM)	Mucilago (TM)	Agua residual (m ³)
4,025.48	5,817.96	1,159.25	217,358.55

De la tabla 3, se concluye, que para obtener 4,025.48 TM de café pergamino seco, se usó aproximadamente 217,358.55 m³ de agua, convertidos en: agua residual de despulpado más agua residual de lavado; como residuos sólidos quedan la cantidad de pulpa y mucílago. A la vez sin ningún tratamiento adecuado se convierten en potenciales contaminantes del agua, suelo y atmosfera.

ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE METANIZACIÓN DE LA PULPA Y AGUAS RESIDUALES:

De la tabla 3, se realizan estimaciones para determinar cuál es el potencial energético que se tiene, tomando en cuenta estudios de marco teórico, que la densidad del gas metano se asume 0.7169 kg/m³, se tiene:

Tabla 4a: Potencial de Metanización de la pulpa.

Pulpa (TM)	Metano (m ³)	Metano (TM)	CO ₂ (TM)
1	360	0.258	5.418
5,817.96	2,094,465.60	1,501.03	31,521.71

Tabla 4b: Potencial de Metanización de aguas residuales.

Café cerezo procesadas (TM)	Metano (m ³)	Metano (TM)	CO ₂ (TM)
1	121.74	0.087	1.827
14,490.57	1,764,081.99	1,260.68	26,474.27

Resumiendo los resultados de las tablas 4a y 4b, se tiene:

Cantidad de CO₂ = 57,995.98 TM.

De la misma forma sumando cantidad de metano:

Cantidad de CH₄ = 2,761.71 TM. Equivalente a: 3,858,547.59 m³.

Además para estimación potencial de producción de biogás se toma en cuenta estudios de la composición del biogás, se asume que el biogás está compuesto por 60 % de metano.

Tabla 4c: Potencial de producción de biogás.

Gas Metano (m ³)	Biogás (m ³)
3,858,547.59	6,430,912.65

La tabla 4c, demuestra que en la cuenca del Valle de Yanatile se dispone de 6,430,912.65 m³ de biogás, oportunidad para generar energía en

el sector cafetalero utilizando los subproductos del proceso beneficiado de café.

ANÁLISIS DE LOS COMPONENTES FISICOQUÍMICOS DE LA PULPA DE CAFÉ:

Tabla 5: Resumen de componentes fisicoquímicos de la pulpa de café

Muestra	Sólidos totales (ST)	Sólidos Volátiles (SV)	Sólidos fijos (SF)
Pulpa de café	18.80%	12.60%	6.20%

Sólidos volátiles (SV), los que teóricamente deben ser convertidos a biogás, es decir durante el proceso de digestión anaeróbica que el 12.6 % de (ST) de la pulpa de café se convierte

en biogás. Sólidos fijos (SF) es la parte que queda en cenizas 6.2 % de sólidos totales (ST), los que teóricamente en el proceso de digestión anaeróbica se convierten en bioabono.

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE FERMENTACIÓN ANAERÓBICA DE LOS SUBPRODUCTOS DE CAFÉ EN EL BIODIGESTOR TIPO TAIWÁN

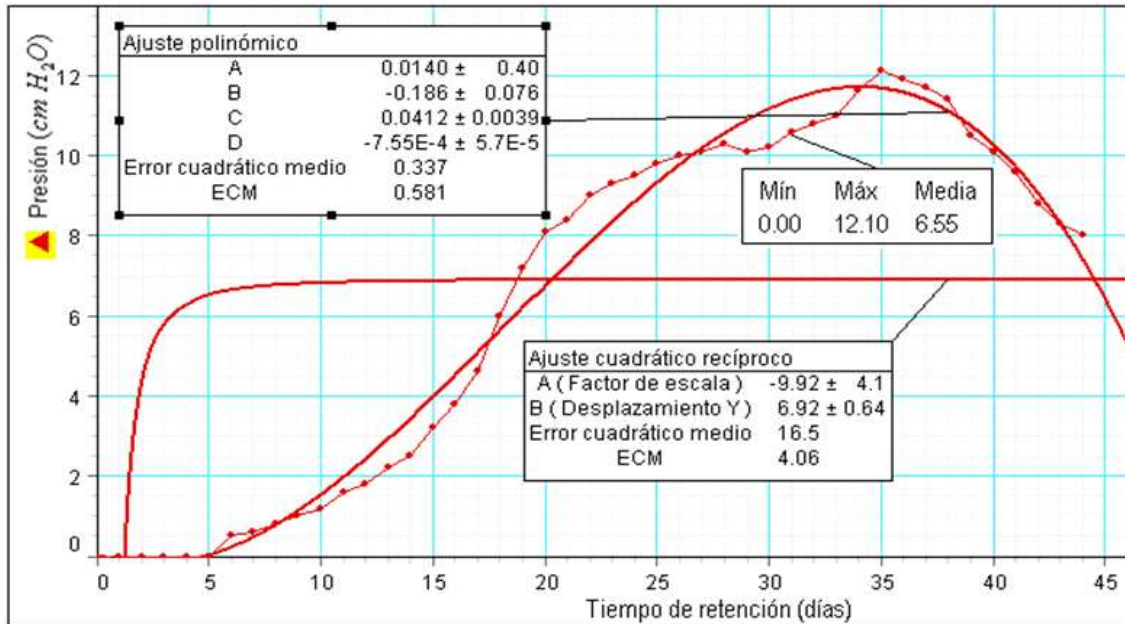


Gráfico 3: Presión de carga de biogás diaria.

Presión (cmH₂O): El gráfico 3 muestra el comportamiento de la presión a lo largo del tiempo de retención de 44 días, se da un rápido ascenso de producción de biogás que comienza del día 6 al día 20, a partir del día 19 parece estabilizarse pero no fue así, más bien se observa que la presión es un parámetro de funcionamiento muy variable que depende directamente de la temperatura interna de la mezcla dentro del biodigestor, además se observa mayor presión a mayor temperatura interna del biodigestor, es notorio que la temperatura interna del invernadero influyó directamente al proceso digestión anaeróbica, en dicho proceso llegándose a una máxima de 12.1 cm de columna de agua el día 35 TR (tiempo de retención) y el promedio 6.55 cmH₂O (cm de columna de agua).

El ajuste polinómico de orden 3, describe el comportamiento típico del biodigestor discontinuo. Se puede pronosticar cuál va a ser la producción de biogás en un periodo de tiempo determinado. En este caso la producción tuvo

su máximo valor entre los días 30 y 38, para luego disminuir rápidamente entre los días 39 y 44.

Ajuste cuadrático recíproco de la forma ($Y = A/X + B$), permite observar que la presión llega a estabilizarse aproximadamente en el décimo día, a partir de este punto el valor de la presión se mantiene estable en 6.92 cmH₂O.

Durante la etapa de producción de biogás, el **pH** permaneció variable entre los valores de 6.79 a 8.19, garantizándose de esta forma que un buen número de bacterias formadoras de metano pudieran realizar su labor y producir la máxima cantidad de biogás.

La temperatura en el interior del biodigestor, funciona dentro del gamma mesofílica entre 20 °C a 34.2 °C y esto optimiza con el uso de un invernadero. En este rango la mayoría de las bacterias metanogénicas digieren la materia orgánica más eficientemente.

CONCENTRACIÓN DE DIÓXIDO DE CARBONO EN EL BIODIGESTOR:

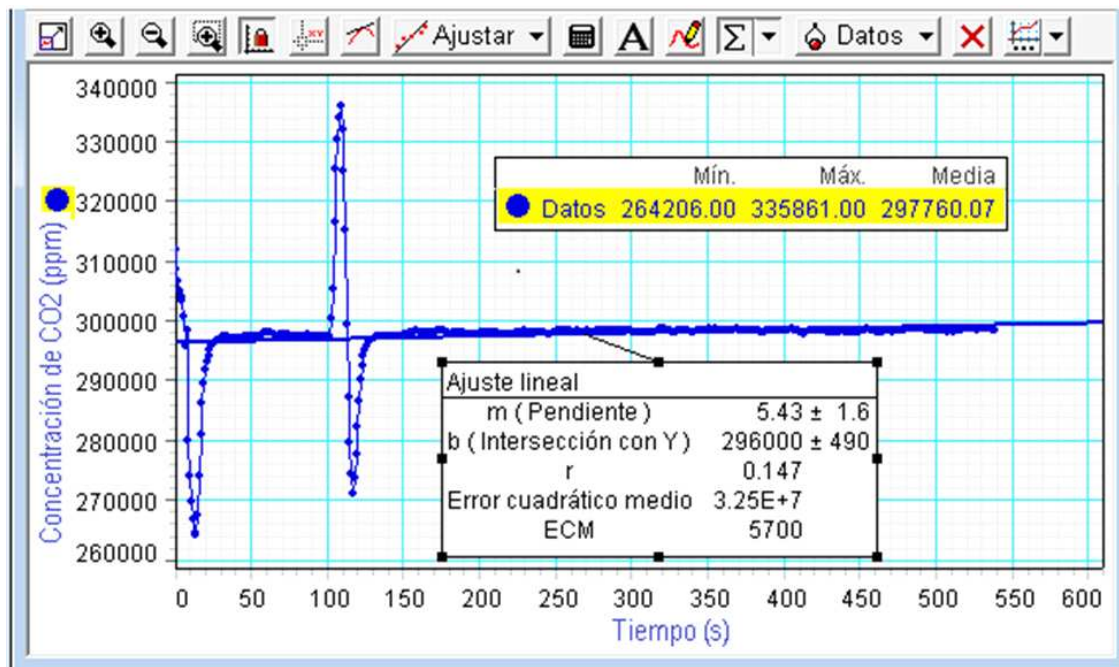


Gráfico 4: Concentración de CO₂ en el biodigestor.

Del resultado de ajuste lineal, se afirma que el biogás obtenido de los subproductos del café está compuesto por:

Metano (CH₄) %: 65.224
 Dióxido de carbono (CO₂) %: 29.776
 Otros gases %: 5

ANÁLISIS REALIZADO AL SUBPRODUCTO ORGÁNICO DESPUÉS DE SU CONVERSIÓN EN ABONO ORGANICO

Tabla 6: Componentes Físico Químicas del lodo residual

Parámetro	Modulo
Materia orgánica (M.O) %	25.70
pH	8.02
Carbono total (CT) %	19.126
Nitrógeno total Kjeldakl (NTK) %	1.942
Potasio (K) %	1.83
Fósforo (P) %	1.373

Los componentes analizados cumplen con elementos de base para ser considerados como abono orgánico, que es el nitrógeno (símbolo químico N), fósforo (P), potasio (K). Son abonos de tipo NPK.

DISCUSIÓN

El resultado de balance de masa, indica si se puede realizar despulpado en seco, y para lavado de 1kg de café cereza se puede utilizar 2.5 litros de agua. En el proceso de beneficiado húmedo resultan los contaminantes que son

aguas mieles y aguas residuales, lo que provoca la contaminación conocida como Orgánica (Zúñiga, Tardencilla, 2013); Según investigación (FIAGRO, 2006) por cada kilogramo de café cereza se usa aproximadamente 15 litros de agua en su procesamiento. Como resultado de la confrontación se plantea que en esta parte del proceso debe realizarse despulpado en seco y sustancial ahorro de agua en el lavado para poder reducir contaminación del agua.

Los resultados obtenidos en balance de masa son valores aproximados con los investigadores (Zúñiga, Tardencilla, 2013) y (Rodríguez, 2011), habiendo una diferencia considerable en el contenido de mucílago con ambos autores, esta diferencia en contenido de mucílago se debe a los siguientes factores: variedad del café, cantidad y variedad de sombra que se tiene en el cultivo de café, localización si es café de altura o de playa. El resultado de balance de masa es muy importante permite estimar volúmenes de subproductos de café como materia prima para biodegradar.

En la cuenca del valle de Yanatile se genera 6,430,912.65 m³ de biogás como energía útil en el proceso de beneficiado vía húmeda de 14,490.57 TM de café cereza, oportunidad para generar energía en el sector cafetalero, para cocción de alimentos. El resultado se obtiene realizando proceso de metanización de la pulpa y aguas residuales de café, asumiendo confiables los resultados de investigación de (FIAGRO, 2006).

Los resultados obtenidos de sólidos totales (18.8 %), sólidos volátiles (12.60 %), sólidos fijos (6.20 %), Comparados con el investigador (Rodríguez, 2011) son valores aproximadamente iguales lo cual valida el resultado encontrado, el resultado 12.60 % garantiza teóricamente que si se puede obtener biogás de la pulpa de café, además el 6.20% de cenizas indica que teóricamente en el proceso de digestión anaeróbica se convierte en bioabono. El resul-

tado de parámetros encontrados ha permitido el diseño de los biodigestores para el proceso de digestión anaeróbica de los subproductos de café y a la vez estimar cantidad de bioabono a obtener.

El resultado indica que el promedio de producción de gas es 6.55 *cmH₂O* (cm de columna de agua) y el tiempo de retención es de 35 días, a una temperatura del biodigestor entre 20 °C a 34.2 °C, el ajuste cuadrático recíproco realizado permite pronosticar para el futuro que el valor de la estabilidad sea aproximadamente el valor máximo de 12 *cmH₂O*, esto es posible cuando el biodigestor tenga alimentación continua, y garantiza el uso de gas diario con un producción aproximado de 0.057 m³/día. El resultado pronosticado de 12 *cmH₂O* para el futuro falta validar utilizando biodigestores de carga continua, para afirmar el valor de gas obtenido de 12 *cmH₂O* sea constante se tiene limitaciones, ya que se trabajó solo con biodigestor discontinuo modelo Taiwán.

El porcentaje obtenido de metano (CH₄) 65.224 %, se encuentra dentro de los rangos del biogás sustentado por (ROSROCA. España, 2010), este resultado indica es posible usar el biogás como producción energía calorífica al ser quemado, ya que el biogás como combustible se puede usar sólo cuando el metano se encuentra en concentraciones mayores o iguales a 50 %.

Los resultados obtenidos de componentes Físico Químicas del lodo residual al ser confrontado con los investigadores (Asociación nacional del café, Guatemala, 2011) y (Rodríguez, 2011), se encuentra dentro de los rangos establecidos para ser considerados como abono orgánico NPK (nitrógeno N, fosforo P, potasio K), esto indica que los resultados hallados cumplen con elementos de base para ser considerados como abono orgánico NPK.

CONCLUSIONES

1. Los resultados encontrados responde al objetivo general planteado ya que se encontró 6,430,912.65 m³ de biogás, oportunidad para generar energía en el sector cafetalero utilizando los subproductos del proceso beneficiado de café.
2. Se ha obtenido biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café en el valle de Yanatile – Cusco, lo cual demuestra los resultados experimentales, donde se puede observar que el biogás obtenido está compuesto por: 65.224 % de metano, 29.776 % de dióxido de carbono y 5 % de otros gases. El lodo residual orgánico obtenido debe ser usado como abono NPK (Nitrógeno, Fosforo, Potasio), en la misma propiedad del cafetalero.
3. Los componentes fisicoquímicos de la pulpa de café es el parámetro determinante para la cantidad de producción de biogás y bioabono.
4. La mayor eficiencia de conversión de la mezcla de la pulpa se obtiene en los rangos de temperatura de 20 °C a 34.2 °C, en la cual las bacterias metanogénicas digieren la materia orgánica en forma más eficiente.
5. El uso del biodigestor en la cuenca del valle de Yanatile es una alternativa sostenible, ecológica y económica para miles de familias caficultoras.
6. El aprovechamiento de los subproductos de café en la producción de biogás permite reducir la contaminación del agua, atmósfera y suelo, además mejora las condiciones de higiene.

AGRADECIMIENTO

De nuestra gratitud ante todo a la Universidad Nacional del Altiplano por el apoyo a la investigación realizada financiada con FEDU, al mismo tiempo agradecer a los miembros de Oficina Universitaria de Investigación.

Mg. Martin Choque Yucra y a su personal especializado en Megalaboratorio de la UNA – Puno, por la colaboración y marco brindado para su desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Escuela Profesional de Ciencias Físico Matemáticas de la UNA – PUNO, por apoyar con los equipos de investigación de su laboratorio de Física Experimental.

BIBLIOGRAFÍA

- [1]. MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE YANATILE (2011) Plan estratégico de desarrollo del distrito de Yanatile al 2021. Yanatile: Municipalidad Distrital de Yanatile. Consulta: 10 de febrero de 2012. <<http://www.muniyanatile.gob.pe/pdf>>
- [2]. FIAGRO (2006) Estudio sobre la reconversión energética para beneficiadores de café en el Salvador. s/l: Conversión energética. Consulta: 3 de enero 2012. <<http://www.cnpml.org.sv/UCATEE/ee/docs/pdf>>
- [3]. ROSROCA (2010) Tratamiento de Biogás: IX Jornadas sobre Biometanización de Residuos Sólidos Urbanos. Barcelona: Ros Roca Environment. Consulta: 20 de Abril de 2012. <<http://www.rosrocaenvironment.com>>

- [4]. RODRIGUEZ VALENCIA, Nelson (2011) Procesamiento del café en Colombia y uso actual de los subproductos. Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café. Consulta: 20 de febrero de 2012.
<http://www.ebp.ch/files/projekte/rk_kaffeabfaelle_12_coffeewaste-use_rodriguez_cenicafe.pdf>
- [5]. ASOCIACIÓN NACIONAL DE CAFÉ (2012) Conversión de la pulpa del café en abono orgánico. Guatemala: Anacafe. Consulta 10 de Marzo de 2011 <https://www.anacafe.org/glifos/index.php?title=AbonosOrganicos_ConversiondePulpa>
- [6]. ZUÑIGA PERALTA, Pedro Pablo y Carlos TARDENCILLA CASTILLO (2013) Beneficiado Húmedo de Café. Boaco – Nicaragua: Cooperativa de Servicios Múltiples RL. Consulta: 15 de Junio de 2013
< <http://www.engormix.com/MA-agricultura/cultivos-tropicales/articulos/beneficiado-humedo-cafe-t4906/078-p0.htm>>iul