

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL PROCESAMIENTO DE PULPA DE CAFÉ EN
EL CORREGIMIENTO DE SAN ADOLFO, MUNICIPIO ACEVEDO, DEPARTAMENTO
DEL HUILA**



**LAURA LILIANA PALENCIA NARANJO
DIANA GRISELL VERGARA CALDERÓN**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2018**

**DISEÑO DE UN BIODIGESTOR PARA EL PROCESAMIENTO DE PULPA DE CAFÉ EN
EL CORREGIMIENTO DE SAN ADOLFO, MUNICIPIO ACEVEDO, DEPARTAMENTO
DEL HUILA**

**LAURA LILIANA PALENCIA NARANJO
DIANA GRISSELL VERGARA CALDERÓN**

**Proyecto de trabajo de grado en modalidad de Seminario para optar al título de
Ingeniera Agroindustrial**

**Directora
Mg. LEADITH ALEXANDRA GUTIÉRREZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2018**

Nota de aceptación

Los Directores y Los Jurados han leído el presente documento, escucharon la sustentación del mismo por sus autores y lo encuentran satisfactorio.

Mg. LEADITH ALEXANDRA GUTIÉRREZ
Director

Mg. MÓNICA RISUEÑO
Presidente del Jurado

Mg. GUSTAVO ADOLFO ALEGRÍA F.
Jurado

Popayán, 16 de octubre de 2018.

CONTENIDO

	pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
2. JUSTIFICACIÓN	9
3. OBJETIVOS	10
3.1 OBJETIVO GENERAL	10
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
4. ANTECEDENTES	11
5. PROMOTORES DEL PROYECTO	12
6. POBLACIÓN OBJETIVA	13
6.1 SITUACIÓN ACTUAL	13
6.1.1 Población de acuerdo al plan de desarrollo municipal 2016-2019	13
6.1.2 Gas domiciliario	13
7. ZONA DE INFLUENCIA	14
7.1 MACROLOCALIZACIÓN	14
7.2 MICROLOCALIZACIÓN	14
8. CUANTIFICACIÓN DEL MERCADO	16
8.1 GAS NATURAL EN EL CORREGIMIENTO DE SAN ADOLFO	16
8.2 DEMANDA Y OFERTA DE GAS NATURAL	16
9. ACTIVIDADES DEL PROYECTO	17

	pág.
10. INSUMOS	18
11. RESULTADOS ESPERADOS	19
12. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS	21
13. PLAN OPERATIVO DE INVERSIÓN	22
14. EVALUACIÓN EX – ANTE DE LOS IMPACTOS	23
BIBLIOGRAFÍA	24

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Centro poblados del municipio de Acevedo (2015)	13
Cuadro 2. Mercado objetivo	16
Cuadro 3. Consumo aparente	16
Cuadro 4. Unidades a vender	16
Cuadro 5. Proyección de ventas	16
Cuadro 6. Cronograma de actividades	17
Cuadro 7. Insumos	18
Cuadro 8. Plan operativo de inversión	22

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Representación gráfica de un reactor flujo pistón-PFR para producción de biogás, efluentes con capacidad de 400L	23

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el corregimiento de San Adolfo, Municipio de Acevedo, Departamento del Huila, se cultiva café como fuente principal de ingresos del sector rural. En el año 2006 se tuvo una producción de 10.514,91 toneladas de cereza en 9.054 hectáreas cultivadas, cifras elevadas gracias a que las condiciones climáticas y de altura de la región resultan adecuadas para este cultivo (Alcaldía de Acevedo, 2017).

Existe, sin embargo, una forma inadecuada de disposición de las pulpas generadas en el beneficio, pues generalmente se arroja a las fuentes hídricas o simplemente se abandona a cielo abierto. Estas malas prácticas ocasionan graves daños al medio ambiente, pues contaminan las fuentes hídricas, el suelo y el aire en zonas productoras. El caficultor opta por hacer mala disposición de estos residuos en principio por desconocimiento de las consecuencias adversas para el medio ambiente, más tarde por indiferencia y falta de formación ecológica, ahora por falta de capacidad económica o por desconfianza a procesos comunitarios asociativos además de que se desperdician los nutrientes presentes en estos residuos, que pueden ser reutilizados por los caficultores para la nutrición de sus suelos, o bien explotarse en subproductos.

La zona que se ve afectada por esta contaminación corresponde al corregimiento de San Adolfo, desde la Cueva de Los Guácharos, en donde nacen cuatro ríos que son de importancia para la comunicación fluvial y para los intercambios solidarios en el Huila, Caquetá y el Cauca; dos de ellos, el Fragua Grande y el Pescador son afluentes del Amazonas, y los otros dos del Magdalena (Suaza y Guarapas). Las fincas cuentan con nacimientos de agua que confluyen en los ríos mencionados, y que también se ven afectados por los vertimientos. La afectación ocurre principalmente para los peces; especies como “el negro” y “la corunta”, cuyos ejemplares son pequeños, espinosos y sin escamas, son endémicos de la región (Escuela Superior de Administración Pública, s.f.). Además el corregimiento se caracteriza por su riqueza hídrica y de suelos, los cuales se encuentran seriamente amenazados por malas prácticas de algunas personas y comunidades, principalmente en épocas de cosecha de café, pues la mala disposición de la pulpa ocasiona daños irreversibles al medio ambiente.

Con base en estas apreciaciones y estudios generales del problema planteado, de acuerdo con Rodríguez y Zambrano (2010), la transformación de los residuos del café en biogás a través de biodigestores anaerobios, es un reto para el sector cafetero y para los gobiernos. En los sectores rurales, la implementación de nuevas tecnologías como un biodigestor, no tiene mayor acogida debido a la baja visibilidad de la relación costo/beneficio y a la inversión en mano de obra; ante esta situación, es conveniente apalancar los conocimientos en energías de origen renovable haciendo énfasis en su perdurabilidad a través del tiempo, con el fin de que se acepte la premisa de que la solución específica que se plantea en este trabajo, es realizar la producción de biogás y fertilizante en un biodigestor alimentado con pulpa de café. Es importante tener en cuenta que sólo se dispone de pulpa en épocas de cosecha, que en Colombia y particularmente en San Adolfo se presentan en los meses de octubre a diciembre y la llamada travesía

que se da en los meses de marzo y abril. No obstante, un biodigestor alimentado con pulpa de café tiene todas las posibilidades de funcionar eficientemente con otros materiales como tallos, hojas, frutos y en general con materia orgánica.

2. JUSTIFICACIÓN

La producción cafetera no es una actividad únicamente agrícola, como lo señala la Federación Nacional de Cafeteros (2014), pues existe un proceso industrial conocido como beneficio que se encarga de eliminar la pulpa y el mucílago para obtener el grano de café. El beneficio del café genera unos residuos, entre ellos la pulpa, que por su mala utilización y disposición es altamente contaminante de agua, suelo y aire, cuyo alto contenido de azúcares es susceptible de fermentación; por esta razón, el aprovechamiento de las pulpas y su implementación tecnológica, permitirá no sólo disminuir la carga contaminante a las fuentes hídricas, sino obtener un beneficio económico para los habitantes del corregimiento.

La contaminación ambiental se encuentra presente a nivel mundial y sus efectos se hacen sentir notablemente en la sociedad. Abordando el caso específico de las zonas rurales y Cafetaleras en Colombia que generalmente vierten las aguas mieles y pulpa de café, en las corrientes fluviales adyacentes, con el propósito de deshacerse de las mismas, es necesario destacar qué, este método rudimentario utilizado para eliminar los residuos del café, es altamente contaminante, ya que produce daños a la salud de las mismas, debido a que se abastece y consume de las aguas de estos ríos contaminados. Es por esto qué, aquí entra el importante uso de los Biodigestores, que tienen como función primordial la erradicación de la contaminación producida.

Desde el punto vista ambiental se conseguirá dar una adecuada disposición final a los residuos generados durante el proceso tanto orgánicos como vertimientos. De la mano de esto van los beneficios de tipo socio-económico, ya que los residuos resultantes de la fermentación anaeróbica fuera del biogás, serán empleados como biofertilizantes, y como uso de gas doméstico lo que representa disminución de gastos en disposición y un ingreso adicional ya que estos biofertilizantes pueden ser vendidos al sector agrícola.

A pesar de que las fincas en las cuales se realiza el beneficio del café utilizan las pulpas como abono para los suelos, se busca como alternativa la producción de gas a partir de su biodigestión, con lo que podrán sustituirse fuentes combustibles como la leña y el carbón, e incluso el consumo de energía eléctrica, además de que se disminuirán las emisiones de compuestos aromáticos generados por la descomposición de la pulpa y cualquier tipo de consumo considerable en la que incurre el beneficio.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Generar biogás de uso doméstico por medio de la biodigestión de pulpa de café en el corregimiento de San Adolfo, Municipio de Acevedo, Departamento del Huila.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la cantidad de pulpa de café necesaria para la producción de 70 libras de gas propano.

Capacitar al personal de la asociación de caficultores, en prácticas de manejo de residuos orgánicos del corregimiento de San Adolfo Huila.

Implementar la construcción de un biodigestor en el corregimiento de San Adolfo Huila para la producción de biogás alimentado a partir de la pulpa de café

4. ANTECEDENTES

En Nicaragua se desarrolló el proyecto “Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos”, en el cual realizaron tres tipos de mezclas para la alimentación; aunque dicho estudio no incluyó un seguimiento de la acidez sin interrumpir la biodigestión, sí se observó que se necesitaba mucho tiempo de retención para producir una pequeña cantidad de biogás, posiblemente a la cantidad de azúcares presentes en estos residuos, por lo que el autor recomienda producir bioetanol en lugar de biogás. Uno de los factores que no se pudo controlar en este estudio fue la temperatura del proceso (Bautista, 2010).

En Guatemala, Pineda y Estrada (2011) realizaron un estudio denominado “Caracterización de Biogás proveniente de la Fermentación de la mezcla de agua de lavado de café y glicerina Residual de Biodiesel por medio de cromatografía de gases”, obteniendo que la biodegradación del agua de lavado de pulpa de café, presenta una alta concentración de metano en el biogás producido; sin embargo, dado que el patrón del gas era de concentración desconocida, no se logró una determinación cuantitativa. Al interior de biodigestor, las bacterias metanogénicas se alimentan de los nutrientes presentes en el agua de lavado de pulpa de café.

En el año 2013 en Perú, Romero y Mamani investigaron sobre la obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café, encontrando que la composición de este gas (65.224% metano, 29.776% dióxido de carbono y 5% otros gases), permite generar energía en el sector cafetalero, utilizando los subproductos del proceso del beneficio del grano; observaron además, que el lodo residual orgánico obtenido puede ser usado como fuente de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, cuando se ha realizado la biodigestión entre los 20°C y los 34,2°C, rango en el cual las bacterias metanogénicas digieren la materia orgánica en forma más eficiente, logrando un aprovechamiento integral de los subproductos de café que permite reducir la contaminación del agua, atmósfera y suelo.

5. PROMOTORES DEL PROYECTO

Asociación de productores de café del corregimiento de San Adolfo, departamento del Huila, con el apoyo de Laura Liliana Palencia y Diana Grissell Vergara, estudiantes de Ingeniería Agroindustrial, Universidad del Cauca.

6. POBLACIÓN OBJETIVA

6.1 SITUACIÓN ACTUAL

El corregimiento de San Adolfo es una región donde gran parte de los terrenos están dedicados al cultivo de café, de cuyo beneficio se generan dos tipos de residuos: la pulpa y las aguas mieles; estas últimas tienen un pH entre 4 y 4.5, y presentan una Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 27.400 mg/L (Bruzi & Navas, s.f.), lo cual significa que acidifican las aguas donde son vertidas, reducen los nutrientes naturales, cambian su aspecto y olor, generan enfermedades para la población y atentan contra la fauna acuática. La cosecha: de acuerdo con los caficultores de la región, se da en los meses de octubre, noviembre y diciembre, con una mitaca que en mayo y junio.

6.1.1 Población de acuerdo al plan de desarrollo municipal 2016-2019. De acuerdo a las proyecciones del DANE, para el año 2015 el municipio de Acevedo contaba con una población de 32.911 habitantes, de los cuales 6.343 se ubicaban en la zona urbana y 26.568 en la zona rural. Según las encuestas SISBEN_ BDUA de octubre del mismo año, en los centros poblados de San Adolfo y San Marcos se registran 1.883 Habitantes, distribuidos como se muestra en el cuadro 1 (Bautista, 2010):

Cuadro 1. Centros poblados del municipio de Acevedo (2015)

Centro poblado	Población SISBEN y BDUA	%
San Adolfo	1.120	59.48%
San Marcos	763	40.52%
Total	1.883	100.00%

Fuente: SISBEN-BDUA, Octubre de 2015.

6.1.2 Gas Domiciliario. En la zona urbana del municipio de Acevedo se encuentra construido un sistema de distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) operado por la Empresa Sur colombiana de Gas (SURGAS) E.S.P., el cual está conformado por una planta almacenamiento y una red de distribución domiciliaria, que son abastecidas periódicamente desde la ciudad de Neiva.

De acuerdo con la información suministrada por la empresa operadora SURGAS Surcolombiana de Gas S.A., para el año 2015 el sistema tenía una cobertura efectiva de 94,79%, correspondiente a 2.115 usuarios conectados a la red. El Municipio cuenta con 7776 viviendas, por lo cual la cobertura del servicio estimada en la zona urbana es del 15,91% y en la zona rural de 11,29% (Nancy Calderón, comerciante Corregimiento San Adolfo, observación inédita, Municipio de Acevedo, Huila, 2018).

7. ZONA DE INFLUENCIA

7.1 MACROLOCALIZACIÓN

Colombia está situado en la esquina del noreste de América del Sur, cubre tanto el hemisferio norte como el hemisferio sur, se encuentra con una latitud de 04 ° 00 N y una longitud de 72 ° 00 W, tiene límites con cinco países latinoamericanos los cuales son: Brasil, Ecuador, Panamá, Perú y Venezuela (Infobase, 2018a).

El departamento de Huila es uno de 32 departamentos de Colombia, Se encuentra en las coordenadas geográficas de 2°59' 55" de latitud norte y 75° 18' 16" de longitud oeste. Localizado al sureste de la nación, en la cuenca del alto Magdalena, está limitado con los departamentos de Tolima y Cundinamarca, al este con Meta y Caquetá, los departamentos Caquetá y Cauca quedan en el sur, y los departamentos de Cauca y Tolima hacia el oeste (Infobase, 2018b).

Uno de los municipios del Huila es Acevedo, el cual se encuentra localizado en una latitud de 1.80283° y una longitud de -75.8902°. Al norte se encuentra ubicado en 1° 48' 10" y al Oeste a 75° 53' 25" en el sur del Huila. Este se encuentra rodeado por el departamento del Caquetá, y los municipios de Palestina, Pitalito, Timaná y Suaza (DB-City, 2018).

7.2 MICROLOCALIZACIÓN

La inspección de San Adolfo está situada al sur del Municipio de Acevedo, con una latitud de 1.6227626 y una longitud de -76.09280189999998, a la inspección la conforman más de 100 veredas, dentro de las cuales se encuentran El Jardín, La Colonia, Siberia, Berlín, el Salado y Los Laureles, situadas cerca de la vía central que comunica a los municipios de Acevedo y Pitalito, que conforman la zona de estudio (Scribd, 2012).

En el corregimiento de San Adolfo se cuenta con varios nacimientos de agua que desembocan en los tres ríos principales de la zona: Riecitos, Suaza y Guarapas, que a su vez son aportantes del Río Magdalena (Scribd, 2012). En general, el río Suaza recibe los residuos de la pulpa de café que llegan desde los afluentes más cercanos, que a su vez son vehículos de la contaminación recogida a su paso por Guadalupe y Suaza, dos asentamientos humanos destacados por su dedicación a los cultivos. Esta carga contaminante ocasiona daños de salud, pérdida de flora y fauna y malos olores, entre otros (Diario del Huila, 2017).

Con la instalación de los biodigestores en el corregimiento de San Adolfo se busca controlar el daño ambiental que hasta el momento se está generando, donde se puede observar que no trae a corto, mediano o largo plazo ningún tipo de afectación ambiental,

ya que este biodigestor es pequeño, cerrado, ocupa poco espacio y su ubicación puede ser en cualquier sitio.

El medio ambiente será impactado positivamente, pues las fuentes de agua recibirán menos descargas que las actuales a causa del proceso del beneficio del café; igual sucederá con el aire ya que disminuirán las emisiones de gases generados por la fermentación de la pulpa en descomposición y mermarán los malos olores. Los suelos serán mejorados por el uso de lodo estabilizado, el cual será obtenido como subproducto del reactor PFR.

Entre los beneficios que se cuentan con la construcción del biodigestor se pueden mencionar: contribuye a la reducción de los problemas de contaminación de pulpa de café en los ríos, mantiene el equilibrio ambiental, mejora la estructura del suelo aportando pulpa de café seco luego de la digestión, enmiendas para el suelo, incremento de la producción de forrajes cultivados, reducción de los niveles de deforestación por el menor uso de leña con fines energéticos, mejoramiento del nivel de ingresos por el incremento de la productividad agrícola y pecuaria, promoción del desarrollo sustentable por disminución de la emisión de gases de efecto invernadero (Universo porcino, 2011; Ávila, 2011).

8. CUANTIFICACIÓN DEL MERCADO

8.1 GAS NATURAL EN EL CORREGIMIENTO DE SAN ADOLFO

El Corregimiento de San Adolfo cuenta con el servicio de gas natural en el centro poblado; dado que las veredas no cuentan con este servicio, se cuenta con ocho expendedores quienes expenden aproximadamente 85 pipas de gas de 33Lb cada semana, aunque en temporada de cosecha el consumo se duplica. Los vendedores coinciden en un precio promedio de \$56.125/pipa.

8.2 DEMANDA Y OFERTA DE GAS NATURAL

De acuerdo a los datos recolectados en el municipio de Acevedo respecto al consumo de gas, se requieren mensualmente alrededor de 85 pipas de gas en la zona rural, de manera que, como se muestra en el cuadro 2, el consumo aparente anual es de 612 unidades. Se espera una participación en el mercado del 60% (ver cuadro 3), para un total de 333 unidades vendidas por año (ver cuadro 4).

Cuadro 2. Mercado objetivo

Producto / servicio	FAMILIAS SAN ADOLFO				
	No.	% objetivo	No. Demandantes	Consumo Percápita Anual	Consumo aparente anual
PIPA 33LB/PLG2	85	60%	51	12	612

Cuadro 3. Consumo aparente

Producto / servicio	Consumo Aparente Total	Participación (%) mcdo aparente	Mercado Potencial Total	Participación (%) mcdo potencial
PIPA 33LB/PLG2	612	60,00%	1.020	55,000%

Cuadro 4. Unidades a vender

Producto / servicio	Mercado Potencial	Participación	Unidades vendidas
PIPA 33LB/PLG2	1.020	55,00%	333

La proyección de ventas calculadas al año 5 muestra que la asociación puede tener un ingresos por ventas de \$36.236.583 (ver cuadro 5).

Cuadro 5. Proyección de ventas

PERIODOS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cant. Sem. 1	47	292	304	316	329
Cant. Sem. 2	286	298	310	322	335
Total año	333	590	613	638	664
Precio	44.900	47.145	49.502	51.977	54.576
Ventas Esperadas	14.945.414	27.792.027	30.360.412	33.166.258	36.231.583

9. ACTIVIDADES DEL PROYECTO

Cuadro 6. Cronograma de actividades

Actividad	Mes 1				Mes 2				Mes 3				Mes 4				Mes 4			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Recolección de Información primaria y secundaria																			
Determinación de la cantidad de pulpa de café necesaria para producción 70 libras de biogás.																				
Sesiones de capacitación al personal de la asociación, en prácticas de manejo de residuos orgánicos.																				
Construcción del biodigestor en el corregimiento de San Adolfo Huila.																				
Elaboración de propuestas de mejora a los procedimientos documentados																				
Proyección																				
Cálculos y estudios financieros																				
Socialización de los resultados del trabajo																				
Informe final																				

Determinación de la cantidad de pulpa de café necesaria para producción 70 libras de biogás.

Para el desarrollo de esta actividad se recopilará información secundaria sobre ensayos similares, tales como los realizados por Londoño (2017), que muestran que en 30 días de funcionamiento se pueden obtener 370,8 L, es decir 111,2 L/día en promedio. En este

ensayo, el autor alimentó el reactor con una cantidad inicial de pulpa de 196 L y diariamente adicionó 2,4 L durante 30 días. La cuantificación de metano arrojó un 61%, un 36% de CO₂ y 3% de otros gases. Lo cual fue una información primordial para replicar de igual forma en la asociación.

Realizar prácticas para poder extrapolar los datos obtenidos anteriormente, y verificar que la cantidad de pulpa de café sea la correcta y adecuada, lo cual permitirá estandarizar la cantidad adecuada y el proceso.

Sesiones de capacitación al personal de la asociación, en prácticas de manejo de residuos orgánicos.

- Por medio de charlas dictadas en la casa campesina para los asociados, se busca promover la conciencia de la separación de los desechos orgánicos en la fuente.
- Se les obsequiará un instructivo que incluya como norma general, la manera de separar los desechos orgánicos; este documento deberá ser visible para los empleados, para que estos apropien lo que se debe hacer al momento de la recolección.
- Se realizarán varias prácticas y charlas, donde el asociado tendrá la oportunidad de experimentar por medio del trabajo, las labores que debe hacer en su finca, la forma en que se deben realizar, los beneficios que estas prácticas traerán, etc.
- Se le dará al caficultor un instructivo en forma de libro, que incluya los temas Aprendidos durante los procesos, de manera que perduren en el tiempo.

Construcción del biodigestor en el corregimiento de San Adolfo Huila.

Para el desarrollo de esta actividad, se requiere la realización previa de reuniones, como se detalla a continuación.

- Reunión con los asociados para definir el sitio donde se instalará el biodigestor piloto.
- Reunión para comprar los materiales necesarios para la construcción del biodigestor.
- Una vez se haya definido sitio de instalación del biodigestor y se tengan los materiales se procederá a la construcción del mismo.

- Se harán varios ensayos con los caficultores para verificar que el servicio de gas esté funcionando.
- Se dejarán advertencias específicas de los riesgos del uso inadecuado del gas.

10. INSUMOS

Cuadro 7. Insumos

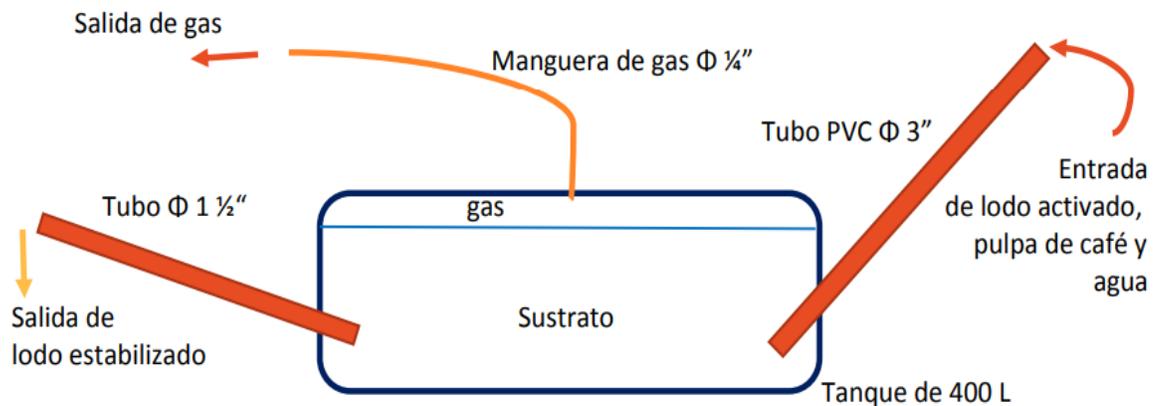
Descripción	Vr. Total	Fondo de inversión		
		Cantidad	Vr. Unit.	Vr. Total
Inversiones Fijas				
Maquinaria, equipos y herramientas				
Canecas de aluminio	60.000	2	30.000	60.000
Caneca plástica	80.000	1	80.000	80.000
Llaves de paso 1" metálica	92.000	4	23.000	92.000
Adaptador 1"	4.800	4	1.200	4.800
Tapón rosca 1"	4.000	4	1.000	4.000
Tubo presión PVC 1"	5.250	2	3.500	5.250
Llave de paso 1/2"	22.000	2	11.000	22.000
Soldadura PVC tubo	15.000	3	5.000	15.000
Tapón galvanizado	4.500	1	4.500	4.500
Tubo galvanizado 1"	20.000	1	20.000	20.000
Tubo galvanizado 1/2"	15.000	1	15.000	15.000
Grasa por lb	6.000	1	6.000	6.000
Cemento gris kg	4.000	5	800	4.000
Embudo	15.000	1	15.000	15.000
Abrazadera metálica 3/8"	3.200	4	800	3.200
Cinta teflón industrial	40.000	10	4.000	40.000
Soldadura pvc 1/64	7.000	1	7.000	7.000
Manguera amarilla gas	8.000	4	2.000	8.000
Subtotal Maquinaria y Equipo	405.750			405.750
Equipos de oficina				
Escritorio	2.500.000	1	2.500.000	2.500.000
Archivador metálico	600.000	1	600.000	600.000
Equipo de cómputo	800.000	1	800.000	800.000
Adecuaciones				
Arreglo bodega	250.000	1	250.000	250.000
Mano de obra	2.000.000	1	2.000.000	2.000.000
Subtotal construcciones	2.250.000			2.250.000

11. RESULTADOS ESPERADOS

Como se mencionó anteriormente, la producción de gas a partir de pulpa de café y aguas mieles es un proceso lento. Sin embargo, la construcción del biodigestor conocido como un Reactor Flujo Pistón (PFR) con capacidad de 400 L es un proyecto de corto plazo, sostenible en el tiempo tanto por los materiales como por su alimentación.

El biodigestor es un reactor donde se introducen desechos orgánicos que, mediante la digestión anaerobia (fermentación) y la falta de oxígeno, produce biogás y fertilizante orgánico, llamado biol, en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, en las cuales los compuestos orgánicos complejos (lípidos, proteínas y carbohidratos), tales como los azúcares existentes, se despolimerizan en moléculas solubles, fácilmente degradables (azúcares, ácidos grasos de cadena larga, aminoácidos y alcoholes) y se convierten en ácidos grasos de cadena corta (ácido acético, propiónico, butírico, etc.). Como productos intermedios se tiene ácido acético, H_2 y CO_2 , que finalmente se transforman en CH_4 y CO_2 , como se puede observar en la figura 1.

Figura 1. Representación gráfica de un reactor flujo pistón-PFR para producción de biogás, efluentes con capacidad de 400L



Fuente: Londoño (2017)

En el Reactor Flujo Pistón- PFR propuesto, el sistema de alimentación es discontinuo o por lotes y la capacidad de producción es de 400 L de biogás con pulpa de café como sustrato. La composición de un batch de 350 L es la siguiente:

70 L de lodo activado, que puede ser recogido de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad o municipio. También se puede tomar de algún pozo séptico en funcionamiento o puede reemplazarse con estiércol, de manera que se asegure la existencia de bacterias productoras de biogás.

84 L de agua limpia, proveniente del acueducto o de cualquier fuente de agua.

196 L de pulpa de café, preferiblemente de no más de cinco días de despulpado.

Los 50 L restantes de capacidad del PFR, se dejan para el almacenamiento del biogás generado.

La obtención de biogás a partir de la pulpa de café es un proceso anaerobio, en el cual las bacterias presentes en el lodo activado, en ausencia de oxígeno, transforman la materia orgánica en gas metano y lodo fertilizante. El Reactor Flujo Pistón PFR, puede procesar alrededor de 2,5 litros diarios de pulpa de café; es un tanque dispuesto de forma longitudinal con tres orificios, a través de los cuales ingresan los materiales a utilizar por uno y salen el gas producido y el lodo fertilizante por los otros, como se observa en la figura 1.

Por aproximación, la dosis diaria para alimentar el reactor PFR es de 1,0 L de agua y 2,4 L de pulpa de café. Ensayos similares realizados por Londoño (2017), muestran que en 30 días de funcionamiento, se pueden obtener 370,8 L, es decir 111,2 L/día en promedio. En este ensayo, el autor alimentó el reactor con una cantidad inicial de pulpa de 196 L y diariamente adicionó 2,4 L durante 30 días. La cuantificación de metano arrojó un 61%, un 36% de CO₂ y 3% de otros gases.

La temperatura es un factor importante en el proceso de digestión anaerobia, pues se convierte en un acelerante de la velocidad de reacción, debido a la influencia que ejerce sobre el desarrollo y multiplicación de los microorganismos presentes en el medio después de ciertos valores. Los microorganismos mesofílicos tienen desarrollos óptimos entre los 20 y 45°C y los termofílicos entre 45 y 60°C (Lorenzo y Obaya, 2005; citados por Londoño, 2017). Estos autores afirman que en climas subtropicales y tropicales, se puede trabajar a temperatura ambiente en gran parte del año, porque las fluctuaciones son pocas.

12. ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Dado que en el corregimiento de San Adolfo se tiene como cultivo preponderante el café, se busca el aprovechamiento integral del fruto, por lo cual a continuación se presentan algunas opciones a tener en cuenta, simultáneamente a la producción de biogás.

Moreno y Romero (2016) evaluaron la transformación de la pulpa de café en abono orgánico; determinaron métodos, tiempo, rendimiento del proceso y calidad nutricional del subproducto como fertilizante final, en cinco tratamientos de compostaje y uno con lombricompostaje empleando lombriz roja (*Eisenia foetida*), con adición de microorganismos eficientes, levaduras y fuentes de carbono como miel de purga y primeros enjuagues del lavado del café (aguas mieles). Los mejores rendimientos se obtuvieron en el tratamiento que incluyó aguas mieles, con valores finales de la relación C/N cercanos al 10%, que es un valor óptimo para la estabilización del compostaje.

Rodríguez (s.f.), en el Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFÉ, utilizó hongos de los géneros *Pleurotus*, *Lentinula*, *Ganoderma* e *Hipsizygus*, lombricultura, ensilaje y producción de pectinas en la adición de valor a los productos intermedios del beneficio seco del café, evitando de esta manera su vertimiento a las fuentes hídricas.

Noriega, Silva y García (2008) realizaron una investigación sobre el uso de pulpa de café en ensilaje para alimentación animal, encontrando que en vacas lecheras puede incluirse entre el 20 y el 40% del concentrado; en ceba de bovinos, podía ser incorporada entre el 20 y el 30% de las raciones, en ovinos machos una inclusión del 15% hace que presenten un mejor desempeño; en tilapias mostró un mayor aumento de peso, aunque no debe ser usada en fresco.

Otros estudios como el de González, Díaz y Alegecira (2016), quienes obtuvieron snacks a partir de subproductos de café; Moya, Durán y Sibaja (1990) que obtuvieron derivados celulósicos a partir de desechos de café; Abarca et al. (2010) quienes verificaron la presencia y uso de la fibra dietaria presente en la pulpa del café, entre otros, dan cuenta de aplicaciones agroindustriales más específicas del uso de la pulpa. Sin embargo, dada la visión local y social de la presente propuesta, se optará por una aplicación más básica que ofrezca al menos una solución ambiental y económica a la problemática presentada.

13. PLAN OPERATIVO DE INVERSIÓN

Para empezar la producción se requiere formalizar la asociación de manera que con los aportes sociales se realicen obras de adecuación compra maquinaria, materia prima, e insumos, pagos de mano de obra directa, pagos de personal y administrativos, lo cual suman \$14.859.096 (ver cuadro 8).

Cuadro 8. Plan operativo de inversión

No.	Concepto	No. meses	Valor Total	Valor Mes
1	Formalización de la empresa		2.895.000	
2	Adecuaciones locativas		2.250.000	
3	Compra de maquinaria y equipos		4.305.750	
4	Compra de materia prima e insumos	3	1.979.760	659.920
5	Pago de mano de obra directa	3		
6	Pago de gastos de personal	3	3.158.586	1.052.862
7	Pago de gastos administrativos	3	270.000	90.000
Total			14.859.096	

De acuerdo a la formalización de la empresa se realiza un registro en la cama de comercio, registro mercantil, un estudio de perfectibilidad, escrituras y gastos notariales. lo cual arrojan un gasto total de \$ 2.895.000; en cuanto a las adecuaciones locativas se realizara un arreglo de bodega y de acuerdo a ello el pago de la mano de obra contratada, sus costos totales (ver cuadro 7). De igual forma la compra de maquinaria, equipos y herramientas registradas son todas las inversiones de compra para la construcción y montaje del biodigestor con una totalidad de \$4.305.750, incluyendo algunos equipos de oficina como un escritorio, un computador y un archivador metálico. De modo tal que en la asociación se tendrá un colaborador administrativo lo cual su nómina en 3 meses será de \$3.158.586, finalizando con los gastos administrativos se hace una inversión en publicidad de perifoneo, gastos en algunos suministros de oficina y servicios públicos arrojando un valor por mes de \$90.000

14. EVALUACIÓN EX - ANTE DE LOS IMPACTOS

El desarrollo del proyecto en el corregimiento de San Adolfo, aportará al mejoramiento de la calidad de vida de sus habitantes y a la conservación medio-ambiental, dado que además del beneficio económico por el aprovechamiento de los subproductos que, hasta el momento, no son utilizados.

El uso de materiales combustibles tales como la leña y el carbón, es causal de enfermedades de tipo EPOC (Enfermedad Pulmonar de Origen Común), que a largo plazo genera severas complicaciones de salud. El uso de gas natural, a pesar de tener un peso molecular mayor que el gas propano, se volatiliza rápidamente, hace combustión completa y puede ser generado a nivel local.

A nivel de familias caficultoras, la observación directa del aprovechamiento y de la generación de nuevos ingresos, es un aliciente para dar continuidad a este tipo de proyectos en la región. Sin embargo, el costo de la construcción del biodigestor puede ser problemático, en la medida en que la asociación no cuenta con un fondo de base para inversiones que no mostrarán resultados inmediatos, pues como se mencionó anteriormente, la generación de gas a partir de la pulpa de café, es un proceso lento.

El proyecto está concebido como una parcela demostrativa, en el sentido en que es generalizado el aprendizaje de “ver y replicar”. Se espera que ante la expectativa que ha creado en el corregimiento de San Adolfo la construcción del biodigestor, las veredas aledañas se interesen en el proceso y repliquen en sus regiones la experiencia positiva que se alcance con el proyecto, de manera que el beneficio social, económico y ambiental sea creciente.

Labores a corto y mediano plazo: construir un biodigestor artesanal en la finca de uno de los productores asociados en el corregimiento de San Adolfo, para ser considerada como parcela demostrativa, de manera que la experiencia pueda replicarse.

Labores a largo plazo: se espera la asociación de fincas productoras de café en espacios comunales de producción de biogás a partir de pulpa y subproductos del café, como fuente de generación de ingresos y mejoramiento ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

ABARCA, D.; MARTÍNEZ, R.; MUÑOZ, J.; TORRES, M. y VARGAS, G. Residuos de café, cacao y cladodio de tuna: Fuentes promisorias de fibra dietaria. En: Revista Tecnológica ESPOL-RTE, 2010, vol.23, no. 2.

ALCALDÍA DE ACEVEDO – HUILA. Mi municipio. Economía [en línea]. Gobierno en línea: 25, enero, 2017 [citado 20, agosto, 2018]. Disponible en internet en: <http://www.acevedo-huila.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>

ÁVILA S., E. Biodigestores, aprovechar residuos para generar energía [en línea]. Energía a debate ©: 31, diciembre, 2011 [citado 25, agosto, 2018]. Disponible en internet en: <https://www.energiaadebate.com/biodigestores-aprovechar-residuos-para-generar-energia/>

BAUTISTA B., Alejandro. Sistema biodigestor para el tratamiento de desechos orgánicos. Tesis Ingeniería Química. Universidad Carlos III de Madrid. Leganés: 2010.

BRUZI, E.R. & NAVAZ, M. Biodigestores, Biofiltros y Pulperos. Economía Solidaria y Sostenibilidad Ambiental para el desarrollo económico local en el norte de Cajamarca, Perú. Lima: s.f.

DB-City. Acevedo [en línea]. DB-City.com © Copyright: 2018 [citado julio, 2018]. Disponible en internet en: <http://es.db-city.com/Colombia--Huila--Acevedo>

DIARIO DEL HUILA. Redacción. Plan de Ordenamiento y manejo para el río suaza [en línea]. DH®: 4, enero, 2017 [citado 25, agosto, 2018]. Disponible en internet en: <https://www.diariodelhuila.com/regional/plan-de-ordenamiento-y-manejo-para-el-rio-suaza-cdgint20170104141126190>

ESCUELA SUPERIOR DE ADMINISTRACIÓN PÚBLICA ESAP. EOT Acevedo – Huila. Diagnóstico concertado 2001-2009 [en línea]. Banco de medios ESAP: s.f. [citado 25, agosto, 2018]. Disponible en internet en: [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot%20-%20acevedo%20-%20huila%20-%20diagnostico%20concertado%202001%20-%202009%20\(133%20pag%20-%20481%20kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/eot%20-%20acevedo%20-%20huila%20-%20diagnostico%20concertado%202001%20-%202009%20(133%20pag%20-%20481%20kb).pdf)

GONZÁLEZ J., Erica; DÍAZ C., Wilson y ALGECIRA E., Néstor. Evaluación del desarrollo de un snack a partir de la piel y la pulpa de café. En: Agronomía Colombiana, 2016, vol. 34, no. 1.

INFOBASE. Mapas del mundo [en línea]. © Copyright 2002-2018a [citado julio, 2018]. Disponible en internet en: <https://espanol.mapsofworld.com/continentes/sur-america/colombia/latitud-y-longitud-de-colombia.html>

_____. Mapas del mundo [en línea]. © Copyright 2002-2018b [citado julio, 2018]. Disponible en internet en: <https://espanol.mapsofworld.com/continentes/mapa-de-sur-america/colombia/huila.html>

LONDOÑO E., H. Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogás en un reactor flujo pistón. Tesis Maestría en Ciencias Naturales - Química. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería. Medellín: 2017.

LORENZO, Y. y OBAYA, M. La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar. Cuba: 2005. Citados por: LONDOÑO E., H. Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogás en un reactor flujo pistón. Tesis Maestría en Ciencias Naturales - Química. Universidad Pontificia Bolivariana. Facultad de Ingeniería. Medellín: 2017.

MORENO C., Nidia y ROMERO J., Ariel. Evaluación de diferentes métodos para la transformación de la pulpa de café en abono orgánico en fincas cafeteras.

MOYA P., Manuel; DURÁN, Marlen y SIBAJA, María. Obtención de derivados celulósicos a partir de desechos de café. En: Agronomía Costarricense, 1990, vol. 14, no. 2.

NORIEGA S. Adrianyela; SILVA A., Ramón y GARCÍA DE S., Moraima. Utilización de la pulpa de café en la alimentación animal. En: Zootecnia Tropical, 2008, vol. 26, no. 4.

PINEDA, G. y ESTRADA, E. Caracterización de biogás proveniente de la fermentación de la mezcla de agua de lavado de café y glicerina residual de biodiesel por medio de cromatografía de gases. En: Revistas científica, 2011, vol. 20, no. 1.

RODRÍGUEZ V., Nelson. Manejo de residuos en la agroindustria cafetera. En: Seminario Internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos, Siglo XXI. S.f.

ROMERO L., Ricardo y MAMANI P., Renzo. Obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café. En: Revista Investigaciones Altoandinas, 2011, vol. 15, no. 2.

SCRIBD. Socialización de la propuesta San Adolfo: Municipio ecológico del Huila [en línea]. © Copyright: Scribd. Neiva: 9, marzo, 2012 [citado: julio, 2018]. Disponible en

internet en: <https://es.scribd.com/document/85110369/MUNICIPALIZACION-DE-SAN-ADOLFO-HUILA>

UNIVERSO PORCINO. Beneficios en el uso de biodigestores [en línea]. Estudio de Performance ambiental desarrollado para el FAC. Universo porcino ©: enero, 2011 [citado 25, agosto, 2018]. Disponible en internet en: http://www.aacporcinos.com.ar/articulos/internacionales_porcinas_01-2011_beneficios_en_el_uso_de_biodigestores.html