



Universidad **Mariana**

Implementación de biodigestor piloto a partir de desechos orgánicos de granja en el municipio
del Peñol, Nariño

Iván Andrés Coral Coral

Cristian Andrés Enríques Riascos

Universidad Mariana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Ambiental

San Juan de Pasto

2024

Implementación de biodigestor piloto a partir de desechos orgánicos de granja en el municipio
del Peñol, Nariño

Iván Andrés Coral Coral
Cristian Andrés Enríques Riascos

Informe de investigación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Juan Carlos Narváez Burgos
Asesor

Universidad Mariana
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Ambiental
San Juan de Pasto
2024

Artículo 71: los conceptos, afirmaciones y opiniones emitidos en el Trabajo de Grado son responsabilidad única y exclusiva del (los) Educando (s)

Reglamento de Investigaciones y Publicaciones, 2007

Universidad Mariana

Contenido

	Pág.
1. Resumen del proyecto.....	9
1.1. Descripción del problema.....	10
1.1.1. Formulación del problema	11
1.2. Justificación.....	12
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo general	14
1.3.2. Objetivos específicos.....	14
1.4. Marco referencial	14
1.4.1. Marco contextual.....	14
1.4.1.1. Localización geográfica	15
1.4.1.2. El agro del municipio	16
1.4.1.3. La ecología en el municipio	16
1.4.1.4. Zonificación hidrográfica.....	18
1.4.2. Marco teórico	18
1.5. Estado del arte	21
1.5.1. Biomasa.....	21
1.5.2. Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos	22
1.5.3. Biodigestores familiares, guía de diseño y manual de instalación	23
1.5.4. Biodigestor lote o discontinuo (Batch).....	24
1.5.5. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino	25
1.6. Metodología	26
1.6.1. Campo y línea de investigación	26
1.6.2. Tipo y enfoque de la investigación	26
1.6.3. Población y muestra / Unidad de trabajo y unidad de análisis.....	26
1.6.4. Diseño metodológico de la investigación.....	27
2. Presentación de resultados	30

2.1. Estandarizar el consumo de energía para los procesos de preparación de alimentos en la vivienda rural.....	30
2.1.1. Ajuste del modelo.....	37
2.1.2. Significancia global del modelo.....	37
2.1.3. Significancia individual del modelo.....	37
2.2. Estabilizar un reactor de biodigestión anaerobia piloto con una relación teórica adecuada para la carga de sustratos e inóculo.....	41
2.2.1. Primera carga: Estiércol bovino en estado natural	43
2.2.2. Segunda carga: Estiércol homogenizado con agua residual 3/1	45
2.2.3. Tercera carga: Estiércol homogenizado con agua residual 1/3	48
2.3. Cuantificar la producción de biogás para satisfacer los procesos de preparación de alimentos en la vivienda.....	52
2.3.1. Determinación de la cantidad de biogás generado	52
2.3.2. Concentraciones obtenidas del tratamiento 1	55
2.3.3. Concentraciones obtenidas del tratamiento 2.....	56
2.3.4. Concentraciones obtenidas del tratamiento 3.....	57
2.3.5. Determinación de masa generada según el muestreo de cromatografía.....	58
3. Conclusiones	62
4. Recomendaciones	64
Referencias bibliográficas	65
Anexos.....	70

Índice de figuras

Figura 1 Mapa Municipio del Peñol Localizado en Peñol Viejo	15
Figura 2 Diseño del Prototipo Biodigestor casero bidón	25
Figura 3 Registro de Energía Vs día	32
Figura 4 Consumo de Gas GPL y Leña en función de los días.....	35
Figura 5 Relación entre los consumos del mes	38
Figura 6 Consumo de leña per-cápita.....	40
Figura 7 Biodigestor en Montaje.....	42
Figura 8 Días de tratamiento vs PH, días de tratamiento vs Presión	43
Figura 9 Días de tratamiento vs Temperatura	44
Figura 10 Matriz de correlación de variables en el primer tratamiento	45
Figura 11 Días de tratamiento vs PH, días de tratamiento vs Presión	46
Figura 12 Días de tratamiento vs Temperatura	47
Figura 13 Días de tratamiento vs PH, días de tratamiento vs Presión	49
Figura 14 Días de tratamiento vs Temperatura	50
Figura 15 Resultados de Cromatografía aplicada a cada tratamiento	52
Figura 16 Gas Detector Leaker	54

Índice de tablas

Tabla 1 Diseño metodológico de la investigación.....	27
Tabla 2 prueba Análisis de datos para una serie de datos de una sola variable de KWh/d.....	31
Tabla 3 Análisis del seguimiento mensual de la vivienda.....	34
Tabla 4 Análisis estadístico de regresión entre los resultados de consumo GLP kg/día y Leña kg/día	36
Tabla 5 Análisis de varianza	36
Tabla 6 Intercepción leña [kg/día].....	36
Tabla 7 Consumo de fuentes de energía mensual	39
Tabla 8 Matriz de correlación de variables en el segundo tratamiento	47
Tabla 9 Matriz de correlación de variables en el tercer tratamiento	50
Tabla 10 Comparación de pH, Temperatura y presión	51
Tabla 11 Datos recolectados por la herramienta Gas Detector Leaker (Tratamiento 1)	54
Tabla 12 Datos recolectados por la herramienta Gas Detector Leaker (Tratamiento 2)	55
Tabla 13 Datos recolectados por la herramienta Gas Detector Leaker (Tratamiento 3)	55
Tabla 14 Concentraciones tratamiento 1 [g/m ³].....	56
Tabla 15 Concentraciones tratamiento 2 [g/m ³].....	57
Tabla 16 Concentraciones tratamiento 3 [g/m ³]	57
Tabla 17 Primer carga	58
Tabla 18 Segunda carga	59
Tabla 19 Tercer carga.....	59

Anexos

Anexo A. Cronograma de la Investigación	70
Anexo B. Presupuesto General de la Investigación	71
Anexo C. Diseño de consumo energético en la preparación de alimentos	72
Anexo D. Diseño de consumo energético en vivienda y resultados estadísticos	73
Anexo E. Grafica Q-Q.....	74
Anexo F. Variables Estadísticas Kwh/día	75
Anexo G. Estadísticas de regresión.....	77
Anexo H. Análisis de varianza.....	78
Anexo I. Análisis de Intercepción kWh/día	79
Anexo J. Análisis de consumo GPL y leña mes.....	80
Anexo K. Análisis y recolección en el proceso de producción de Biogás	81
Anexo L. Segunda recolección de datos en el proceso de producción de Biogás.....	82
Anexo M. Tercera recolección de datos en el proceso de producción de Biogás	83
Anexo N. Muestras de Cromatografía aplicadas - Muestra y tratamiento	84
Anexo O. Cálculos para determinar las cantidades de gas y residuos necesarios para satisfacer las necesidades de la hipótesis	92

1. Resumen del proyecto

Este estudio examina la generación de biogás a partir de distintas mezclas de estiércol bobino y aguas residuales domésticas dentro de un biodigestor. Se llevó a cabo una investigación ubicada en el Peñol, Nariño, en una casa del sector rural, de la cual se obtuvieron distintos valores de consumo energético, a partir de la red eléctrica, leña y GLP (gas licuado de petróleo). Luego se determinó la mejor mezcla de estiércol y ARD (agua residual domestica) para así, hallar la masa de CH_4 generada y la energía liberada en la combustión. La energía del biogás fue evaluada para determinar la viabilidad de reemplazar los consumos de GLP de la vivienda y obtener valores comparables. Los resultados mostraron mayor correlación positiva significativa en la segunda mezcla (tratamiento dos); en esta mezcla hubo mayor generación de CH_4 . Se tuvo en cuenta variables como Temperatura, Presión, pH, etc. El rendimiento de la producción de biogás fue de $3,56 \times 10^{-7} kg$ de CH_4 por cada $45kg$ de *estiercol bovino* y $15kg$ de *ARD*, supliendo en un 0.0045% a la energía consumida de GLP. La investigación respalda la importancia de la utilización de estiércol para la generación de biogás, ahorro de energía, y disminución de la contaminación.

Palabras clave: biogás, biodigestor, energía, estiércol bovino.

1.1. Descripción del problema

El auge en la demanda del consumo energético en todo el planeta y la dependencia de fuentes de energía no renovable, así como los problemas ambientales asociados nos exigen la búsqueda de nuevas tecnologías y fuentes energéticas (Cordero, 2017). En algunos lugares del planeta se emplea como una herramienta contra la lucha de la problemática ambiental en la actualidad, la tecnología del biogás contribuye a la generación de ingresos económicos y ahorro de costes de la producción (Artur et al., 2011). Las zonas rurales, tiene unas características sociales, económicas y culturales muy diferentes a las comunidades urbanas, por ejemplo, los programas de gestión de residuos sólidos su manejo e implementación se realiza de manera diferente para ambos sectores; adicionalmente, los pobladores del sector rural no realizan una adecuada disposición de sus desechos debido al desconocimiento del tema o porque no se encuentra dentro de las prioridades del municipio (Pita et al., 2016).

Según Suárez (2000), los desechos orgánicos “Son aquellos que provienen de organismos vivos como plantas, animales, residuos de cosechas, quienes contienen compuestos orgánicos producidos por la naturaleza y que se descomponen biológicamente por la acción de microorganismos o agentes fisicoquímicos a condiciones normal” por ejemplo, desechos de comida, desechos agrícolas y estiércol.

En la finca ubicada en el Peñol Nariño que es objeto de estudio se evidencia esta realidad, es por ello que se aplica la tecnología de los biodigestores, realizando el diseño ingenieril para el aprovechamiento del estiércol de ganado vacuno, que a través de la digestión anaerobia y en condiciones óptimas de temperatura, tiempos de retenciones, logran la estabilización completa del material orgánico disponible, descomponiéndolo en compuestos asimilables para el ambiente, y dando solución amigable con nuestro entorno al aprovechar estos residuos orgánicos (Tóala, 2013).

La materia orgánica manejada mediante descomposición anaerobia puede provenir de diferentes actividades, pues una gran variedad de residuos es apta como sustrato para ser tratados mediante esta tecnología (Kwietniewska & Tys, 2014). Uno de los sustratos más utilizados es el estiércol, por lo que la *digestión anaerobia* es considerada una alternativa promisoriosa para mitigar las

emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de este residuo (Hristov et al., 2013).

Particularmente, Según el Atlas de Biomasa Residual Colombia (2010), en Colombia se generan 99.168.608 [t/año] de EB, las cuales, mediante digestión anaerobia, representan un potencial de 84.256 TJ/año, dicho potencial no solo no es aprovechado, sino que tales residuos incrementan la problemática mundial de emisiones.

A continuación, se presentan de forma desagregada los componentes de la presente investigación.

1.1.1. Formulación del problema

Paralelamente en muchas zonas rurales del mundo se emplean tradicionalmente fuentes de energía como la leña, lo cual contribuye a la deforestación y otros problemas sociales, surge entonces la necesidad de emplear alternativas más amigables con el ambiente. (Rodríguez, 2017). Es por esta problemática que se hace necesario utilizar métodos y técnicas que permitan aprovechar los residuos orgánicos con el fin de minimizar el impacto de los residuos en el ambiente y evitar la generación de gases efecto invernadero, reintegrar los nutrientes y la fertilidad al suelo, entre otros. (Garita & Rojas, 2013). Por ejemplo, a nivel municipal, es claro que las problemáticas ambientales se expresan de forma concreta y adoptan niveles de especificidad que demandan estrategias técnicas y administrativas particulares; a esta escala las problemáticas ambientales ocurren cuando el estado del ambiente biofísico genera consecuencias adversas sobre "cosas" que las personas valoran (Frey, 2001).

De aquí la necesidad de realizar no sólo estudios técnicos sino también investigaciones que consideren el punto de vista (percepción) de los habitantes del lugar sobre los problemas ambientales que les aquejan. ya que en los últimos años han surgido diferentes estudios oficiales que dan cuenta del estado actual del ambiente y de los recursos naturales del país (Torres, 2009). Pese a estos importantes esfuerzos, dichos informes, sumados a otros de orden nacional y regional, evidencian una de las principales debilidades en la gestión ambiental: la ausencia de información ambiental actualizada, esto genera el desconocimiento de las problemáticas ambientales (a

diferentes escalas, pero especialmente a nivel local) que se están viviendo en diferentes regiones de Colombia (Torres, 2009).

1.2. Justificación

La práctica de las actividades ganaderas es responsable de una buena parte del deterioro del ambiente, es así que debido a las múltiples acciones que se efectúan en el sector agropecuario en el país, se resalta el incremento de la contaminación de los recursos suelo y agua, debido a la gran cantidad de desechos orgánicos que se producen en este sector, el cual constituye un factor de riesgo para los recursos naturales (Tóala, 2013). En la actualidad estos son algunos de los problemas que aquejan a Colombia debido a la fuerte actividad agropecuaria que el país tiene, esto ha llevado a que el 40% del suelo esté presentando erosión debido a la sobrecarga de cultivos y la actividad ganadera sin control (IGAC, 2016).

Según Bustillos (2017), las áreas rurales se caracterizan por disponer de grandes cantidades de desechos provenientes de las actividades agrícolas y pecuarias que ahí se desarrollan; el estiércol de los animales, las cáscaras de las frutas, las hojas, los residuos de la cocina y los demás materiales orgánicos similares pueden, teóricamente, ser convertidos en energía y en abono que retorna al suelo de donde provienen.

El aprovechamiento de estos desechos se lleva a cabo mediante la implementación de un Biodigestor tipo Batch para tratar los residuos orgánicos de origen vacuno que se encuentran dispersos en los terrenos de la familia beneficiaria, con el cual se obtendrá beneficios como la generación de biogás el cual puede tener un uso similar al GLP y el cual será sustituido en gran parte por una fuente de energía renovable, la obtención de bioabono rico en nutrientes que al ser dispuestos en el suelo es fácilmente asimilable ayudando a propagar cultivos de mejor calidad, con una disminución del uso de fertilizantes. (Criollo & Guzmán, 2014). Ante estos hechos, y frente a las perspectivas de crecimiento de la demanda de productos agro-ganaderos, es imperioso el conocimiento en detalle sobre la real magnitud de este fenómeno para luego buscar alternativas tendientes a disminuir estas emisiones y así reducir los efectos negativos en el ambiente (Nieto et al, 2014). No se trata entonces de restringir la producción ganadera debido a las emisiones de GEI que produce, sino de buscar las mejores alternativas de producción para que, ganadería y ambiente,

convivan armoniosamente por el bien nutricional, económico y ambiental de las generaciones futuras. (Nieto, et al, 2014).

Los biodigestores (contenedores cerrados herméticamente) aprovechan los desechos orgánicos para generar biogás, energía limpia y renovable, que pueden utilizar más del 90% de las poblaciones rurales que aún utilizan leña para cubrir hasta el 70% de sus necesidades domésticas, esto se traduce en un problema crónico de salud para las familias, pero en especial para las mujeres y niños, quienes se encuentran expuestos al humo en cocinas confinadas, según la OMS cada año fallecen 4 millones de personas, derivadas directamente por el aire contaminado en casas por el uso de leña (Sistema Bio, 2018).

El biogás, es un gas combustible que se genera artificialmente, en dispositivos específicos, mediante la acción de unos seres vivos (bacterias metanogénicas), en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico); cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás; en este caso la alternativa consta en la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, entre los cuales se encuentra los residuos vegetales y estiércol bovino, por consiguiente se entienden como la materia prima del sistema de aprovechamiento; además de esto se tiene en cuenta que dentro de este se requiere balancear las cargas de nutrientes y relaciones tan importantes como la de carbono/nitrógeno (Arenas. 2019).

Sin embargo, los biodigestores no sólo producen energía renovable, uno de los productos es un potente fertilizante orgánico que nutre el suelo de manera natural, regresándole las propiedades que los animales tomaron de ella para poder producir alimentos sanos y abundantes que mejoran la salud de la familia al consumirlos y también de quienes los compran en los mercados locales. (Sistema Bio, 2018).

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar el porcentaje con el cual el biogás suple el consumo de energía, para la preparación de alimentos, en una vivienda rural del municipio de El Peñol (N).

1.3.2. Objetivos específicos

- Estandarizar el consumo de energía para los procesos de preparación de alimentos en la vivienda rural.
- Estabilizar un reactor de biodigestión anaerobia piloto con una relación teórica adecuada para la carga de sustratos e inóculo.
- Cuantificar la producción de biogás para satisfacer los procesos de preparación de alimentos en la vivienda.

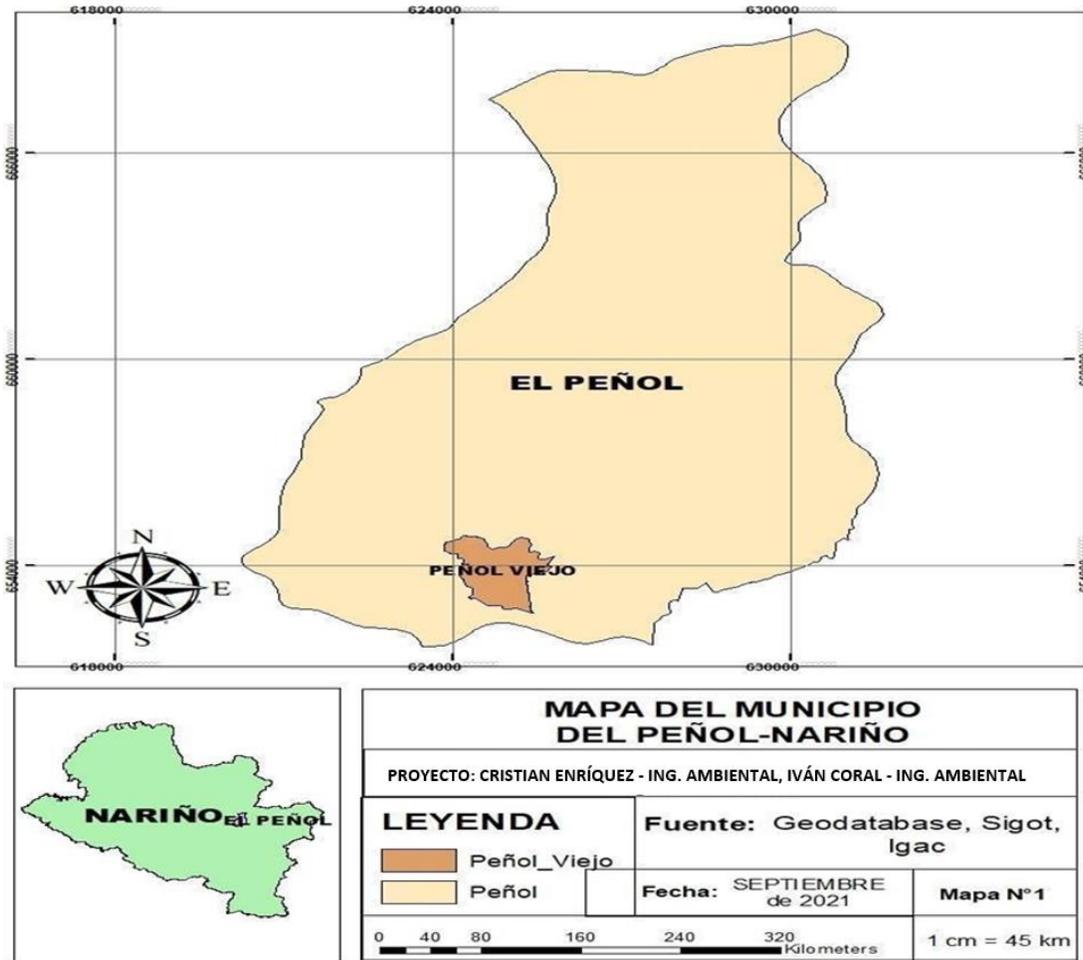
1.4. Marco referencial

1.4.1. Marco contextual

La implementación del biodigestor piloto se llevará a cabo en el municipio de El Peñol vereda peñol viejo ubicado en el departamento de Nariño, como se indica en el siguiente Mapa:

Figura 1

Mapa Municipio del Peñol Localizado en Peñol Viejo



1.4.1.1. Localización geográfica. El Peñol está ubicado entre los rangos: $1^{\circ} 26' 38''$ y $1^{\circ} 36' 26''$ de latitud norte y $77^{\circ} 23' 21''$ y $77^{\circ} 29' 21''$ de latitud oeste, comprende una superficie de 11.895 Ha. Se encuentra a una altura que va desde los 480 a 2.200 msnm, la temperatura media es de 18°C y el clima es tropical de montaña (Plan de Desarrollo Municipal, 2017).

Topografía: La mayor parte del territorio es montañoso con pendientes entre 25% y 50% o 11.5° a 22.5° a muy fuertes (mayor de 59% o 22.5°) lo cual favorece los procesos de desplazamiento (Plan de Ordenamiento Municipal, 2017).

1.4.1.2. El agro del municipio. El Peñol es un municipio con amplia vocación agrícola, la estructura económica se fundamenta en la producción de maíz, frijol, fique, café, caña panelera, cebolla, yuca y plátano principalmente. Entre las actividades pecuarias sobresale la cría de ganado menor motivado principalmente por la alta demanda de este producto (Gómez, et al., 2019). La política para el sector agropecuario estará encaminada a asesorar técnicamente a los productores en los diferentes sistemas de producción para que se desarrollen de acuerdo con la potencialidad del suelo buscando obtener mayores rendimientos por unidades de área, sin causar deterioro al medio ambiente (Gómez, et al., 2019). La política también promoverá y fomentará la implementación de tecnologías limpias – agroecológicas, con prácticas de conservación de suelos con el fin de evitar la erosión de los suelos y capacitar en forma permanente a los agricultores en técnicas mejoradas de producción.

1.4.1.3. La ecología en el municipio. El municipio de El Peñol se encuentra ubicado en la región Andina, al Noroccidente del Departamento, caracterizado por tener sus suelos quebrados. presenta una superficie de 11.895 Hectáreas, con una variación de altura que va desde 400 msnm hasta 2200 msnm, que a su vez permite tener una variedad de climas que va desde el clima templado al clima cálido; presenta una temperatura promedio de 18°C y posee un clima tropical de montaña; se encuentra delimitado por los ríos Patía, Juanambú, Guáitara y la quebrada Molino yaco (Gómez, et al., 2019). En cuanto a sus fuentes de agua cuenta con siete (7) fuentes importantes, las cuales surten a los diferentes corregimientos y veredas entre ellas: San Pablo, El salado, La burrera, Las Palmas, Los arrayanes, Las lajas y San Francisco; la mayoría de estos se encuentra en eminente riesgo de desaparecer por el mal uso de los pobladores y principalmente cuando se atraviesa la época de verano. Con respecto al balance hídrico y de acuerdo con un estudio técnico, el municipio presenta un déficit promedio de agua de 392.5 m³ año, siendo la más crítica falta de agua en las zonas bajas del municipio. Es de anotar también que en un alto porcentaje que sustenta la provisión de agua en el municipio, proviene de fuentes que nacen en los municipios de El Tambo y La Florida.

Frente a estos problemas de déficit de agua, el deterioro de las fuentes de agua que nacen en su territorio y a que el municipio las principales fuentes de abastecimiento de agua, nacen por fuera de su territorio; se hace indispensable y prioritario tomar como tarea principal, por parte de la administración municipal, políticas de reforestación, tendientes a la recuperación de las micro

cuencas y segunda instancia, la firma de convenios interinstitucionales con los municipios de El Tambo y La Florida, también con el objetivo de recuperar y preservar dichas microcuencas. Esto debido a que la gran tala de bosques protectores ha generado la desestabilización de gran parte de las cuencas hidrográficas, lo que se refleja en la pérdida del recurso hídrico y sedimentación de los cuerpos de agua; igualmente pone en peligro de extinción a muchas especies faunísticas (Plan de Desarrollo Municipal, 2007). Es por eso por lo que se afirma que el agua como recurso natural está en crisis, se prevé que en los próximos años habrá disputa a nivel de familias y de localidades. Como en el resto del Departamento en el municipio de El Peñol, el aprovechamiento inadecuado y el uso irracional de los recursos, ha deteriorado gravemente los ecosistemas, con la consecuente disminución y pérdida de la biodiversidad y disminución de los caudales hídricos, etc. (Plan de Desarrollo Municipal, 2007).

El municipio de El Peñol se encuentra drenado por una extensa red hídrica que tributan sus aguas a la vertiente del Océano Pacífico, a través del río Patía que es la principal corriente a la cual desembocan todas las aguas que nacen o pasan por El Peñol; es de fundamental importancia la caracterización hidrográfica del municipio, ya que su conocimiento permite identificar el estado actual, planificar el manejo, administración, conservación y recuperación del recurso hídrico, indispensable para el consumo humano y las actividades agropecuarias entre otras (Plan de Desarrollo Municipal, 2007).

1.4.1.4. Zonificación hidrográfica. La cuenca del río Patía identificada como la gran cuenca y los ríos Guáitara y Juanambú, como los principales afluentes que recolectan todas las aguas de El Peñol (Plan de Desarrollo Municipal, 2007). Se puede tomar como relevante la subcuenca del río Charguayaco en el ámbito municipal por el área que cubre los servicios ambientales que presta y por ser la única subcuenca donde nace un río importante para el municipio; por tal razón es considerada como la principal de las cuencas, ya que en ella se asienta el casco urbano de El Peñol y las veredas del corregimiento especialmente Charguayaco y Perejil, al igual que las veredas del corregimiento de San Francisco como: Banao, Pindo Pamba, San Clemente, Guambanga, El Rincón y del corregimiento de Las Cochas las veredas de La Toma, nuevo peñol, Papao y Cajabamba (Plan de Desarrollo Municipal, 2007).

En lo concerniente a los recursos naturales específicamente los bosques o cobertizos vegetales, en esta cuenca no existen coberturas boscosas, ya que la totalidad ha sido destruida; dentro de las políticas de la administración municipal en el tema ambiental es de suma importancia el manejo que se le dé a esta subcuenca, en razón a que en esta es donde se presentan problemas ambientales, como que se vierten las aguas residuales que se generan en el casco urbano de El Peñol y que causan gran contaminación de las corrientes que pertenecen a dicha subcuenca principalmente la quebrada Don Juan que recibe toda clase de emanaciones líquidas y sólidas (Alcaldía del Peñol, 2017).

1.4.2. Marco teórico

La digestión anaerobia, es una forma de generar energía de gran aprovechamiento y fácil implementación en especial para las zonas rurales o sectores que cuenten con disponibilidad de residuos orgánicos, puesto que no sólo se hace uso del gas producido, sino que el biofertilizante que se obtiene como subproducto en la degradación de la materia orgánica mejora la disponibilidad de nutrientes para los cultivos, permitiendo una producción a bajo costo sin sobrecarga de sustancias químicas para el suelo (Bernal & Suarez, 2018).

Después de la fermentación queda la materia procesada, concentrada en nutrientes, y compuesta básicamente de bacterias anaeróbicas. Este efluente o "bio abono" es un fertilizante de gran calidad,

particularmente eficaz en los terrenos arenosos y ácidos que son los que más requieren abonamiento orgánico (Conil, 2014). Es balanceado en macro y micronutrientes, rico en Materia Orgánica (bacterias) y ligeramente alcalino. En consecuencia, se puede decir que el efecto de la fermentación es triple: descontaminación (reducción de la D.B.O. en 90%), producción de energía (biogás) y producción de fertilizante (bio abono) (Conil, 2014).

Generalmente, en la mayoría de los países latinoamericanos, el biogás ha tenido un uso limitado a la cocción de alimentos y calefacción de animales de granja; a pesar de esto, el uso del biogás en la sustitución de combustibles fósiles ha cobrado importancia en los últimos años. (IRENA, 2017). El biogás producido por la digestión anaerobia de residuos pecuarios es una solución para la sustitución de la biomasa tradicional usada en iluminación y calor, su uso presenta ventajas como la mejora en la productividad de las fincas, la reducción del impacto ambiental y el rompimiento de la dependencia a los combustibles fósiles y agroquímicos. (Parra et. al, 2018).

Sin embargo, aún se tiene poca difusión en las zonas rurales de Colombia, principalmente por el desconocimiento de las potencialidades y los beneficios. Por tal motivo, la presente revisión propone brindar una perspectiva de la digestión anaerobia desde los aspectos técnicos más relevantes, la importancia del sustrato y los tipos de biodigestores de bajo costo más comunes. (Parra et al, 2018). A medida que la población va en aumento, también aumentan las necesidades básicas para satisfacerse, una de ellas es la demanda de energía; debido a que existen muchas formas de generación, unas más sostenibles que otras, pero que aún no se ha logrado un equilibrio donde se den buen porcentaje a las energías renovables en la matriz energética mundial, solo en la última década y hasta la fecha las energías renovables han tomado una fuerza importante para combatir el cambio climático debido a gran parte por la explotación de combustibles fósiles (Red Colombiana de Información Científica, 2018). Colombia debe buscar implementar más proyectos de energías renovables, en donde se puedan aprovechar todos los recursos disponibles en nuestro territorio para poder transformarlos en energía y poder brindarles este servicio a las personas menos favorecidas en las ZNI (Zonas No Interconectadas) (Moyano & Rowlands, 2020).

El biogás es un excelente combustible ecológico para cocinar los alimentos, arde con llama azul, y no tizna ni humea los utensilios de cocina; el biodigestor produce biogás todos los días y de forma

continua, ya no se emplea leña, que contribuye a la conservación de la vegetación; además, cada molécula de metano producido por la descomposición del estiércol, al ser empleado como combustible se convierte en una molécula de CO, con lo que se reduce su poder como 2 GEI en 25 veces. (Barrena et al, 2017).

A escala comunitaria, pueden emplearse biodigestores de mayores capacidades como suministro de biogás para poblaciones compuestas por varias viviendas agrupadas, para edificios comunitarios como colegios o comedores, para suministro de servicios públicos como iluminación urbana, o para comercios como los restaurantes (Acosta, et al., 2014).

Los biodigestores normalmente utilizados tanto a nivel doméstico como comunitario son de tipo manga tubular o semienterrados de domo flotante o fijo. Las características de cada uno de ellos los diferencian en función de los materiales de los que están contruidos (cemento, plástico, acero inoxidable, etc.), su ubicación (enterrados o elevados), orientación (horizontales o verticales), y tipo de carga (continua o discontinua) (Pinzón, 2004).

En el sector pecuario se tomaron como fuentes el estiércol bovino, porcino y avícola. Para el sector agrícola la biomasa está representada por los subproductos que se generan en los procesos de recolección, transformación de las cosechas, además de los relacionados con labores culturales dentro de los cultivos, como las diferentes podas y manejo mecánico de malezas dentro del área de cultivo. (Núñez, 2012).

La digestión anaeróbica es la degradación de materiales orgánicos por las arqueas en ausencia de oxígeno, produciendo CH₄, CO₂ y otros gases como subproductos; esta mezcla se conoce como biogás que es una fuente de energía renovable, constituido por 60 a 80 % de CH₄, dependiendo del sustrato y de las condiciones de operación (Roos, et al., 2004); esta digestión es una práctica promisoría para mitigar las emisiones de los GEI del estiércol recolectado. Los digestores anaeróbicos también reducen los patógenos y el olor del estiércol. En el biogás hay trazas de sulfuro de hidrógeno (SH₂) que le da olor a desagüe, por lo que debe eliminarse del flujo de biogás antes de emplearlo como combustible. (Barrera, 2017).

1.5. Estado del arte

1.5.1. Biomasa

La biomasa se caracteriza por ser una energía renovable que no presenta características ilimitadas. En la actualidad la biomasa ha sido considerada como base para la producción de biocombustibles con lo que se ha generado un alza en los precios de su producción y generación (Daena, 2015).

En las aldeas de América, Asia y Europa, era común alojar a los animales bajo las casas; esto tenía la función de mantener los animales dentro del hogar ya que los mantenía un poco más calientes por medio del calor corporal de los animales y también por el calor producido por los microorganismos durante el proceso de descomposición del estiércol, ambos son ejemplos de biomasa. Aunque el uso de la biomasa de forma tradicional es un indicador de pobreza, se reconoce que las nuevas tecnologías de conversión de la biomasa en calor, frío, electricidad y combustibles para el transporte pueden hacer de este recurso renovable una alternativa interesante frente a los combustibles convencionales (Daena, 2015).

La ventaja de la biomasa frente a otras fuentes renovables es que tiene la capacidad intrínseca de almacenar energía, ya que en realidad la biomasa es energía solar sintetizada y almacenada en forma de enlaces químicos a través de la fotosíntesis, ya que viene a ser el conjunto de materiales biológicos, no utilizables para alimentación y que no han sufrido cambios profundos en su composición tales como los ocurridos en la formación de los combustibles fósiles (Delgado, 2017). La biomasa se produce básicamente en el medio rural, de ahí que el desarrollo de esta fuente energética pueda ayudar a potenciar el desarrollo económico y la creación de empleo en zonas deprimidas y evitar así la presión demográfica sobre las grandes ciudades (Delgado, 2017).

Las tecnologías de conversión de la biomasa en energía útil son muy variadas y dependientes del tipo de materia prima utilizada. Podemos citar, sin ánimo de ser exhaustivos, la combustión, gasificación, pirólisis, digestión anaeróbica, hidrólisis, fermentación y transesterificación (Delgado, 2017). La combustión de biomasa, que es la tecnología más utilizada, puede producir emisiones de gases contaminantes que es preciso tener en cuenta a la hora de diseñar las plantas de producción. En la actualidad, el 98% del mercado del transporte depende del petróleo, por lo que

es urgente buscar alternativas para la diversificación energética de este sector (Delgado, 2017). La transformación de biomasa en biocombustibles líquidos aptos para su utilización en motores de combustión interna se desarrolló intensamente en Brasil, generando etanol a partir de caña de azúcar, que posteriormente se quema directamente en los vehículos (Delgado, 2017).

Actualmente, España ocupa una posición de liderazgo en Europa en la producción de bioetanol con cereales, sin embargo, el reto pendiente es la producción comercial de biocombustibles con materiales lignocelulósicos, que supondría un notable abaratamiento de los costes de producción a la vez que contribuiría a resolver el importante problema ambiental de los residuos agrícolas y forestales (Oviedo. et al, 2015). El desarrollo a gran escala de la biomasa como fuente primaria de energía, pasa por la intensificación de los cultivos energéticos específicos en base a la fisiografía de los terrenos, propuesta compleja que requeriría la coordinación de un buen número de agentes como lo son las administraciones de energía, agricultura y medio ambiente de las entidades locales, regionales, estatales (Oviedo. et al, 2015).

1.5.2. Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos

Los biodigestores son sistemas naturales que aprovechan residuos orgánicos, procedentes de actividades agropecuarias, principalmente estiércol, para producir biogás (combustible) y biol (fertilizante natural) mediante el proceso de digestión anaerobia (IDEASS, 2019). Los biodigestores de bajo costo no necesitan un monitoreo sofisticado ya que no requieren de mecanismos de mezcla interna, ni sistemas de calefacción. Están hechos de materiales locales, por lo general con bolsas de plástico para el tanque principal y tubos de PVC que transportan el biogás. Esta tecnología funciona, con adaptación adecuada, en los climas tropicales, continentales, y fríos (IDEASS, 2019). Los biodigestores de bajo costo se han implementado en países en desarrollo desde la década de los 80, debido a su diseño simple y construcción con materiales fácilmente disponibles, se considera una tecnología apropiada (IDEASS, 2019).

Según Martí (2011), El "*red mud PVC*" una bolsa diseñada en Taiwán, fue la semilla para el desarrollo de esta técnica. Un mayor desarrollo se llevó a cabo principalmente por Preston en

Etiopía, por Botero en Colombia y por Bui Xuan An en Vietnam. En todos los casos los digestores fueron adaptados para el clima tropical. En el altiplano de Bolivia en el 2003, se adaptó el diseño de Botero a los climas fríos.

Poggio (2011), en Perú, propuso que se agregue al modelo de Bolivia un sencillo sistema de calefacción solar, para aprovechar los biodigestores en climas fríos. La tecnología ha sido promovida en varios países en desarrollo como Colombia, Etiopía, Tanzania, Vietnam, Camboya, China, Costa Rica, Bolivia, Perú, Ecuador, Argentina, Chile y México (Martí, 2011).

1.5.3. Biodigestores familiares, guía de diseño y manual de instalación

Un biodigestor es un sistema natural que aprovecha la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de las bacterias que ya habitan en el estiércol, para transformar éste en biogás y fertilizante. El biogás puede ser empleado como combustible en las cocinas, calefacción o iluminación, y en grandes instalaciones se puede utilizar para alimentar un motor que genere electricidad (Potschka, 2012). El fertilizante llamado biol, inicialmente se ha considerado un producto secundario, pero actualmente se está tratando con la misma importancia, o mayor, que el biogás ya que provee a las familias de un fertilizante natural que mejora fuertemente el rendimiento de las cosechas (Potschka, 2012).

Las familias dedicadas a la agricultura, suelen ser propietarias de pequeñas cantidades de ganado (2 o 3 vacas, por ejemplo) y pueden, por tanto, aprovechar el estiércol para producir su propio combustible y fertilizante natural mejorado. Se debe considerar que el estiércol acumulado cerca de las viviendas supone un foco de infección, olores y moscas que desaparecerán al ser introducido el estiércol directamente en el biodigestor (Martí, 2008). También es importante recordar la cantidad de enfermedades respiratorias que sufren, principalmente las mujeres por la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña o bosta seca. 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 (Martí, 2008).

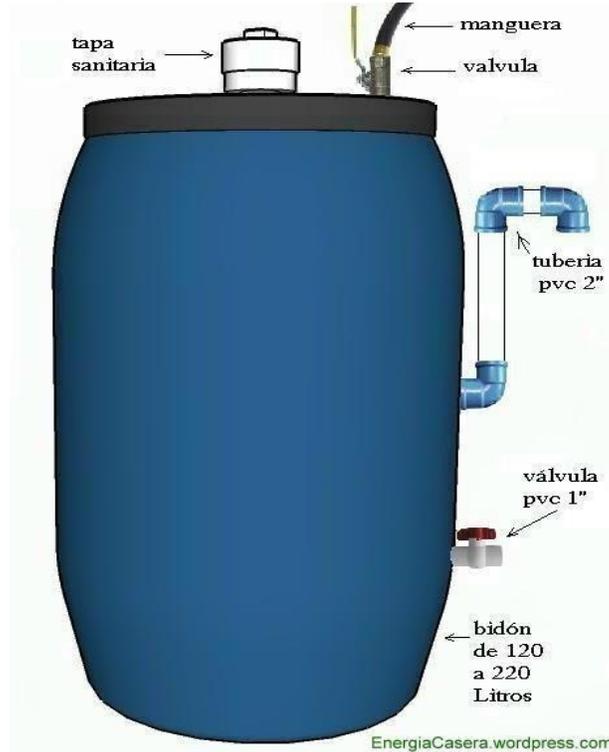
1.5.4. Biodigestor lote o discontinuo (Batch)

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada directamente a una estufa que va ser la encargada de consumir el biogás producido (Solari, 2004). Este tipo de digestor es también ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas. Este biodigestor se compone de tanques herméticos los cuales están conectados a un gasómetro en el cual se almacena el gas, es apropiado en procesos en que la materia orgánica se produzca de forma intermitente (Zúñiga, 2007).

De los sistemas Batch, el más usado es el OLADE-GUATEMALA, por la facilidad de construcción del sistema, la sencillez en el proceso de digestión, la alimentación del digestor puede ser con residuos vegetales o también mezclando residuos vegetales con pecuarios y por su mayor producción de biogás, en comparación con el modelo chino e hindú. Se carga una única vez en su totalidad, hasta que se produzca la totalidad de biogás, y la materia se encuentre completamente degradada, este se compone de tanques herméticos los cuales están conectados a un gasómetro en el cual se almacena el gas, es apropiado en procesos en que la materia orgánica se produzca de forma intermitente (Zúñiga, 2007).

Figura 2

Diseño del Prototipo Biodigestor casero bidón



Fuente: Web. Biodigestor casero bidón, (2022).

1.5.5. Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino

La producción de ganado trae como resultado emisiones de metano (CH_4) resultante de la fermentación entérica y emisiones de CH_4 de los sistemas de gestión del estiércol del ganado (Gil, 1983). Los vacunos constituyen una fuente importante de CH_4 debido a su gran población y a la alta tasa de emisión de CH_4 provocada por su sistema digestivo rumiante, las emisiones de metano producidas por la gestión del estiércol tienden a ser menores que las entéricas; las emisiones más significativas se asocian con operaciones de gestión, en las que el estiércol se maneja por medio de sistemas basados en líquidos y su acumulación en estanques o lagunas. (Campos, 2011).

El agua es un elemento esencial para la vida y uno de los recursos naturales más valiosos, es por ello, que hoy día, la utilización racional del agua es una preocupación a nivel mundial; a pesar de ello, este recurso, es cada vez más escaso, ya que tanto a nivel de las comunidades rurales como

de las urbanas se consume en grandes cantidades y solo un bajo porcentaje es tratado (Vargas, 2018). Los biodigestores son sistemas naturales que aprovechan la digestión anaeróbica para la generación de biogás y fertilizantes; su utilización no sólo está limitado al tratamiento de aguas residuales, sino también, puede ser alimentado con el estiércol generado por los animales, con esto se elimina estas pilas de estiércol reduciendo los focos de infección, malos olores y moscas, además de disminuir la contaminación de los recursos hídricos (Vargas, 2018). Esta investigación tiene por objeto **diseñar un biodigestor que permita el tratamiento de generación de biogás en la vivienda rural**, siguiendo la metodología sugerida por Martí (2008).

1.6. Metodología

1.6.1. Campo y línea de investigación

La investigación tiene un direccionamiento medioambiental, la cual va encaminada a disminuir la contaminación en el medio ambiente, y por medio de este, el aprovechamiento de desechos orgánicos y de animales con los cuales se quiere generar energía. Esta línea tiene una estrecha relación hacia el mejoramiento del ecosistema, del ambiente y sobre todo de la calidad de vida de las personas que se encuentran en el lugar del proyecto. Es así que además se requiere un estudio minucioso del proceso del proyecto para que esté sea satisfactorio tanto a sus realizadores, asesores como también a las personas que se van a beneficiar.

1.6.2. Tipo y enfoque de la investigación

Es analítico-cualitativo porque esta investigación busca realizar un estudio de factibilidad para la implementación de un biodigestor que aproveche las excretas de animales. Este estudio evaluará la producción de biogás, basándose en indicadores ecológicos, sociales y económicos, con el propósito de promover un uso sostenible en la finca.

1.6.3. Población y muestra / Unidad de trabajo y unidad de análisis

La población: Residuos orgánicos de la finca El Edén (Estiércol bovino, y ARD)

La muestra: Proporciones de los residuos según la mezcla (1, 3/1, 1/3)

1.6.4. Diseño metodológico de la investigación

Tabla 1

Diseño metodológico de la investigación

Título	Implementación de biodigestor piloto a partir de desechos orgánicos de granja en el municipio de El Peñol Nariño.		
Objetivo general	Evaluar el porcentaje con el cual un biodigestor piloto supe el consumo de energía, para la preparación de alimentos, en una vivienda rural del municipio de El Peñol (N).		
Objetivos específicos	Metas	Actividad	Producto
1. Estandarizar el consumo de energía para los procesos de preparación de alimentos en la vivienda rural.	Reemplazar el consumo de energía en la vivienda por el porcentaje de gas obtenido del biodigestor.	<ol style="list-style-type: none"> Cuantificar la cantidad de energía que consume cada elemento asociado a la preparación de alimentos y/o otras actividades en la vivienda. Estandarizar el consumo de energía eléctrica en la vivienda. Determinar el consumo de energía en un periodo de 30 días en la vivienda. 	<ol style="list-style-type: none"> Registro del consumo total de energía que consume la vivienda y organizarlo en tablas. tenencia un orden adecuado por medio de datos estadísticos, artículos científicos o tablas. Análisis estadísticamente los datos obtenidos.
2. Estabilizar un reactor de biodigestión anaerobia piloto con una relación teórica adecuada para la carga de sustratos e	Ubicar el biodigestor en un lugar adecuado para llevar a cabo la carga y producción de gas cerca de la vivienda la cual hará	<ol style="list-style-type: none"> Conocer la finca y sus características y todo su material orgánico como objeto de estudio. Construir el biodigestor más 	<ol style="list-style-type: none"> Recolección de los productos orgánicos presentes en la finca (estiércol bovino). Balance los

<p>inóculo.</p>	<p>uso de sus derivados.</p>	<p>apropiado y de conocimiento por parte de los estudiantes.</p> <p>3. Agregar el sustrato recolectado hacia el biodigestor con una óptima relación C/N.</p> <p>4. Monitorear constantemente variables en el proceso de biodigestión como lo son: presión, temperatura, PH.</p>	<p>subproductos que se le van a agregar para su óptima eficiencia.</p> <p>3. tenencia del biodigestor totalmente elaborado.</p> <p>4. Recolectar datos a diario e irlos organizando en tablas.</p>
<p>3. Cuantificar la producción de biogás para satisfacer los procesos de preparación de alimentos en la vivienda.</p>	<p>Alcanzar o superar el 70% de consumo de GLP en la vivienda caso de estudio.</p>	<p>1. Determinar la cantidad de biogás generado y en cuanto este mismo suple en % al GLP.</p> <p>2. Llevar a cabo la distribución del biogás hacia la vivienda.</p> <p>3. Repetir el proceso nuevamente, si fue de gran ayuda.</p>	<p>1. cantidad de gas a partir de la ley de los gases ideales.</p> <p>2. Red de distribución para hacer uso de este tipo de energías renovables para la preparación de alimentos.</p> <p>3. Aprovechamiento de esta alternativa mejorando la calidad del medio ambiente y calidad de vida de las personas</p>

1.6.4.1. Hipótesis y variables. El biogás generado en una vivienda rural del municipio del peñol suple en un 70% el consumo regular de energía a partir del GLP; evaluando las condiciones fisicoquímicas del entorno y el óptimo diseño del biodigestor

- *Variables Dependientes:* Porcentaje del biogás que suple el consumo de energía de GLP
- *Variables Independientes:* Materia Orgánica, Humedad, pH Temperatura, Tiempo de retención.

1.6.4.2. Aspectos administrativos. A continuación, se presenta el presupuesto para el desarrollo de la presente investigación con su cronograma de actividades.

Cronograma de actividades. El estudio se desarrolló en 13 meses como se puede observar en el anexo A.

Presupuesto de la investigación. La investigación se desarrolló en un costo total de 2.000.000, estos rubros se pueden observar en el anexo B.

2. Presentación de resultados

2.1. Estandarizar el consumo de energía para los procesos de preparación de alimentos en la vivienda rural

Inicialmente se identifica la necesidad de remplazar por otras fuentes de energía renovable el consumo de energía para preparación de alimentos implementando cotidianamente el uso de gas licuado del petróleo (GLP), leña natural por medio de la combustión, energía eléctrica potenciada por artículos de cocina esenciales para la cocción de alimentos presente en la vivienda rural del municipio del Peñol Nariño.

Teniendo en cuenta lo mencionado se llega a la conclusión de proyectar y construir un biodigestor de tipo Batch discontinuo en el cual se aprovechará toda la materia orgánica disponible en la zona rural donde se encuentra ubicada la vivienda, los recursos orgánicos más presentes en la zona son los generados por el ganado bovino que en su abundancia se sabe lo nocivos que son en su proceso de descomposición para el medio ambiente.

Cumpliendo con el primer objetivo que es la estandarización de energía se lleva a cabo dos procesos de recolección de datos reales. El primero hace referencia al consumo de energía exclusivamente de artículos para la preparación de alimentos potenciados por energía en unidades de kWh/día, aquí se lleva a cabo un proceso bien detallado de los datos suministrados durante 30 días marcando una lectura real en el medidor de energía estos datos fueron recolectados día a día con el fin de aplicar una estadística descriptiva a este proceso que presenta unos valores como se puede observar en la tabla 2, cabe resaltar que en la vivienda también existen otros elementos que generan consumo de energía eléctrica los cuales en el proceso de preparación de alimentos fueron totalmente desconectados para que no altere el dato al final del día.

Continuando con el proceso de estandarizar y cuantificar el consumo de energía, se realizó una tabla (Anexo D) que hace referencia al consumo de energía general de artículos presentes en la vivienda rural ajenos a la preparación de alimentos; en este proceso se tomó una lectura en el medidor de energía al iniciar el día uno a las 7 a.m. y se retomó la misma lectura al día siguiente durante los 30 días que duró la prueba de estudio. Una vez obtenidos estos resultados se aplicó la

estadística descriptiva como en el proceso anterior y se obtuvo los respectivos resultados (Anexo D).

Teniendo en cuenta la anterior información, se identificó el consumo de energía en la vivienda rural evaluando el consumo en general y luego, específicamente en el área de preparación de alimentos, área en la cual se enfocó el diseño del biodigestor, facilitando así el uso de residuos orgánicos residuos domésticos y promoviendo la disminución en el consumo energético específicamente del GLP y la combustión de leña vegetal.

En el anexo C se muestra el consumo de energía durante un mes en la vivienda rural que hará uso del biogás producido. El muestreo se inició el día 3 de marzo del año 2023 terminando el día 3 de abril del año 2023, con esto se trata de destacar el consumo total que presenta un hogar pequeño donde se implementara medidas para reducir la cantidad de energía eléctrica sin afectar la calidad de vida de sus ocupantes.

Con el estudio realizado, se comprobó que los valores obtenidos constan del gasto generado por los artículos eléctricos presentes en la vivienda durante los primeros 30 días para la preparación de alimentos; a partir de estos datos se generó un análisis estadístico que ayudo a entender el comportamiento de los datos. La tabla 2. presenta los resultados de la cuantificación en kWh/día según el consumo de los artículos de cocina utilizados diariamente durante el tiempo establecido (ver Anexo C).

Tabla 2

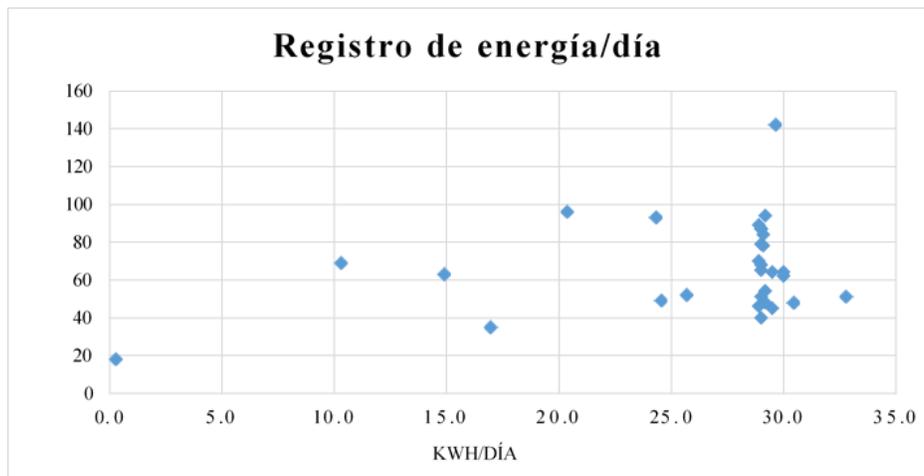
prueba Análisis de datos para una serie de datos de una sola variable de KWh/d

<i>Variable estadística</i>	<i>kWh/día</i>
Media	26,16
Error típico	1,28
Mediana	29,00
Moda	29,00
Desviación estándar	7,00
Varianza de la muestra	48,97
Curtosis	6,19
Coficiente de asimetría	-2,45
Rango	32,50
Mínimo	0,30

Máximo	32,80
Suma	784,70
Cuenta	30,00

La anterior matriz se obtuvo bajo la prueba de Análisis de datos para una serie de datos de una sola variable; es importante subrayar lo anterior, ya que se está realizando un análisis descriptivo para analizar la normalidad de los datos, así como también, los valores típicos o anormales, y según lo anterior poder comparar este consumo energético con el consumo de Leña y el GLP durante un periodo de tiempo establecido. En la tabla 2 el valor de Curtosis es positivo (6,19), por lo tanto, hay una distribución leptocúrtica entre los datos y se mantienen concentrados en torno a la Media (Jiménez & Melo, 2016). En cuanto al Coeficiente de asimetría, se infiere que es negativo (-2,45), esto indica que la mayoría de los datos están por encima de la Media y la cola de la distribución se alarga a la izquierda para valores inferiores a la Media (Jiménez & Melo, 2016).

Figura 3
Registro de Energía Vs día



La anterior grafica presenta una distribución de los datos de consumo en el eje “X” y registro en el eje “Y” a lo largo de los 30 días; para que se comporten directamente proporcional o inversamente proporcional deberían cumplir una tendencia con un comportamiento vertical u horizontal de los datos lo cual indica nuevamente que no tienen ninguna relación.

A continuación, se presentan los datos de consumo del gas GLP y leña utilizada en la vivienda durante el mes en cuestión.

Análisis del consumo de GLP y leña en el mes

Se realizó la medición y anotación de los datos de consumo del gas GLP y leña utilizada en la vivienda durante el mes en cuestión. Los valores más representativos corresponden al consumo de leña, con un valor de 285,26 kg/mes (Anexo D), el cual representa una cantidad apreciable de material vegetal deforestado, independientemente de la especie Arbórea que se perjudique y con ello alterando las funciones que cumple un ecosistema y la importancia de una gran cantidad de masa vegetal y la existencia y permanencia de biodiversidad de especies y servicios ambientales que proveen a la comunidad. En el mes en cuestión, la madera utilizada fue de las especies carbonero, arrayan y guamo, que representan un área deforestada de 0,00285 m², las cuales tienen un porcentaje de uso en el mes de 87% de carbonero, 10,3% arrayan y 95,5% de guamo respectivamente y deben apreciarse ya que aportan un servicio ecosistémico para la población, la fauna silvestre y los ciclos naturales en general.

Para contrastar estos resultados del consumo de leña con los estudios similares, se indaga en un estudio del año 2016, donde García describió que “la tala de árboles se considera uno de los diez problemas del medio ambiente, clasificado así por el IPCC (Panel Intergubernamental de Cambio Climático). Y contrastan las dificultades derivadas de no preservar los bosques y potenciar sus múltiples beneficios, entre ellas: la captura de CO₂, la contribución al ciclo del agua, la asistencia que proporcionan a las diferentes especies, permitiendo y ayudando al aumento de la biodiversidad, protección de los suelos, de los cauces de los ríos, evitando otros dos problemas ambientales como son las inundaciones y la deforestación”.

Así mismo, también se afirma que la tala de árboles comienza a deteriorar la presencia de la biodiversidad en el planeta, porque estos son el hábitat de las casas donde viven muchas de las especies que encuentran en ellos las condiciones para hacer sus nidos, esperar el nacimiento de sus crías, realizar la polinización de las flores, actividad microbiana y así obtener el alimento y el refugio necesario para seguir cumpliendo sus funciones dentro de los ecosistemas. (García, 2016).

En cuanto a la salud, dentro de la quema de leña y generación de humo, la mayor amenaza proviene de las partículas finas de humo, también llamadas material particulado o PM_{2,5} (EPA, 2021). Estas partículas microscópicas pueden entrar en los ojos o sistema respiratorio, y provocar

ardor en los ojos, goteo nasal, y enfermedades respiratorias como bronquitis enfermedades epidérmicas que derivan de estas lo que se conoce como el cáncer de piel (EPA, 2021).

Las partículas finas pueden empeorar los síntomas del asma y desencadenar ataques de asma. Las partículas finas también pueden desencadenar infartos de miocardio, ritmo cardíaco irregular e insuficiencia cardíaca, en especial en personas que ya están en riesgo por estas enfermedades. Y en paralelo a lo anterior, el viento transporta las partículas a través de largas distancias y luego, estas pueden instalarse en el suelo o el agua (EPA, 2021). Según la composición química, los efectos de esta sedimentación pueden provocar que los lagos y arroyos se vuelvan ácidos, cambio en el balance nutricional de las aguas costeras y de las grandes cuencas fluviales, reducción de los nutrientes del suelo, daño en los bosques sensibles y cultivos agrícolas, efectos perjudiciales sobre la diversidad de ecosistemas, contribución a los efectos de la lluvia ácida, y lo que globalmente está afectado y se da mucho de qué hablar que es el cambio climático (EPA, 2021).

Basado en el seguimiento mensual, el consumo promedio de la casa fue de 1,90 kg/cápita/día, el cual se ve expresado en la siguiente tabla.

Tabla 3

Análisis del seguimiento mensual de la vivienda

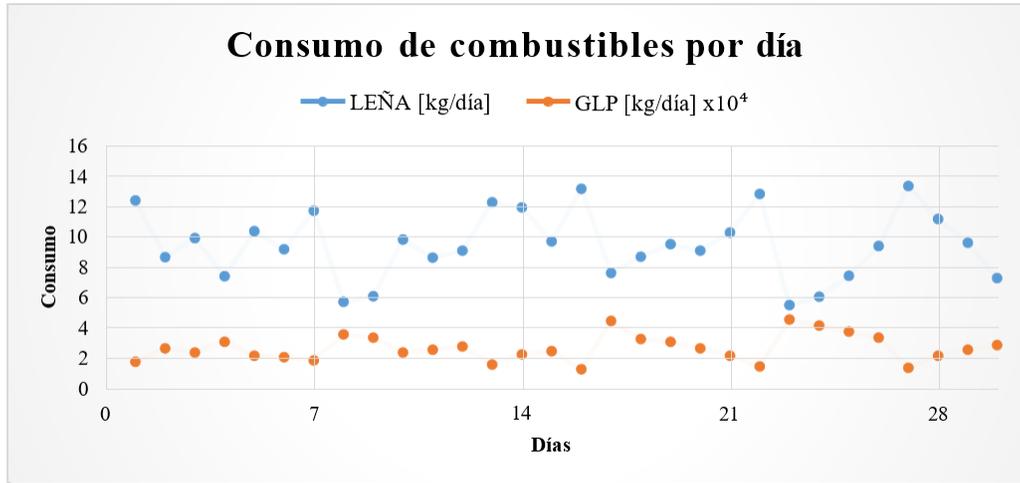
Miembros	Consumo de leña [kg/día]	Per cápita	Fogón
5	9,51	1,90	Abierto

La tabla 3 presenta el consumo de leña estimado en 1,90 kg/cápita/día es sustancialmente menor a los reportados en comunidades como el noreste de la India (3.1-10.4 kg/cápita/día: Maikhuri 1991 y Shankar 2000, en: Bhatt & Sachan 2004) y una comunidad nacional en el departamento de Santander, San José de Suaita, que fue de 157.5 kg en una semana, y 4.8 kg/cápita/día (Valderrama & Linares, 2008).

En Cuanto al gas, la cantidad consumida de GLP es de 0.00811 kg/mes, valor que no es representativo en el daño al medio ambiente comparado al anterior, pero si tiene un gasto económico que asumen los habitantes de la casa. Este gasto económico equivale se a \$ 63,500 COP según el valor de la pipa comprada (40 L/u, 83 l).

Figura 4

Consumo de Gas GPL y Leña en función de los días



La figura 4 representa el comportamiento del consumo de ambos combustibles a lo largo del mes, cabe resaltar, que los valores de GPL se multiplicaron por un factor de 104 para facilitar la comparación de los datos-

Al hacer un análisis individual del consumo de leña, se observa que los mayores consumos se dan durante los fines de semana, es decir, sábados y domingos, esto debido a las costumbres que se viven, en cuanto a reuniones familiares, que por tradición prefieren un sancocho preparado a leña lo cual genera un valor más alto de consumo, etc. Sin embargo, se observa que, en los fines de semana, el consumo de gas GPL tiende a disminuir con respecto a los otros cinco días de la semana.

De esta manera, se puede inferir una hipótesis: existe una relación inversamente proporcional entre los combustibles, la cual se demostrará con el Análisis estadístico de regresión.

Tabla 4

Análisis estadístico de regresión entre los resultados de consumo GLP kg/día y Leña kg/día

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0,89
Coeficiente de determinación R ²	0,80
R ² ajustado	0,80
Error típico	0,40
Observaciones	30,00
Coeficiente de correlación múltiple	0,89
Coeficiente de determinación R ²	0,80
R ² ajustado	0,80
Error típico	0,40
Observaciones	30,0

Tabla 5

Análisis de varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>P_valor</i>
Regresión	1,00	17,52	17,52	107,49	4,31E-11
Residuos	28,00	4,56	0,16		
Total	29,00	22,09			

Tabla 6

Intercepción leña [kg/día]

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>
Intercepción	6,01	0,33	18,35	3,82E-17	5,34	6,68
<i>LEÑA [kg/día]</i>	-0,35	0,03	-10,37	4,31E-11	-0,42	-0,28

2.1.1. Ajuste del modelo

Según la tabla 4, el valor del Coeficiente de determinación R^2 , tiene un 80% de relación entre los dos resultados analizados, por lo tanto, existe una relación entre las variables. $R^2=1$ indica que el modelo de regresión explica toda la variación en la variable dependiente, esto sería un ajuste perfecto; mientras que $R^2=0$ indica que el modelo no explica ninguna de la variación en la variable dependiente, es decir, la variable independiente no ayuda a predecir la variable dependiente (Universidad de Panamá, 2016).

2.1.2. Significancia global del modelo

Las tablas 5 y 6 representan que el modelo realizado sí presenta significancia estadística, es decir, existe variabilidad en la variable GLP [kg/día] debido a la variabilidad de la variable LEÑA [kg/día]. El P valor también demuestra la relación buena entre las variables al ser menor a 0,05. Al analizar el Coeficiente de correlación de Pearson (0.3) para los resultados de KWh/día (Matriz 1) y Registro de energía/día (Matriz 2), se comprueba una relación Buena entre los resultados de KWh/día y Registro de energía/día dentro del mes en cuestión (Garson, 2008).

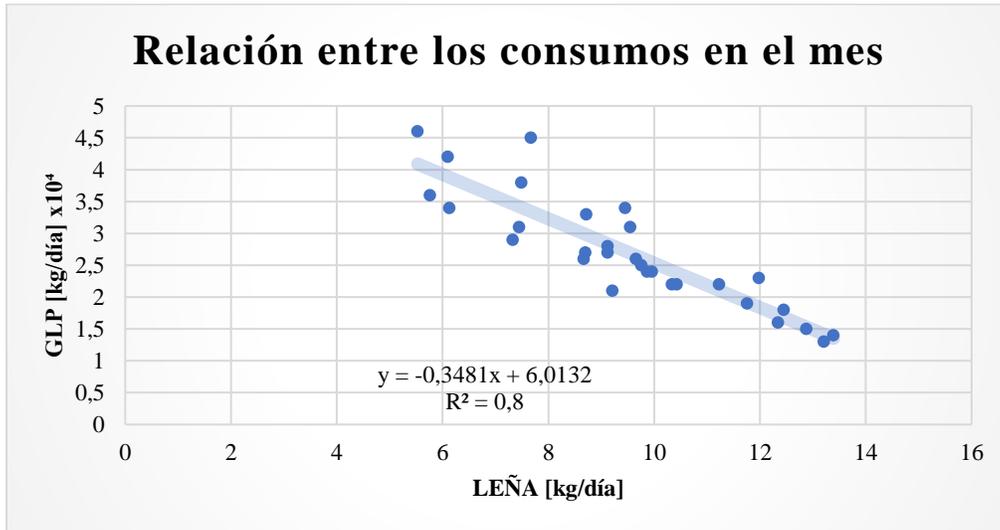
2.1.3. Significancia individual del modelo

Según la tabla 6, el valor del coeficiente en la intercepto 6,01 indica el punto de “y” cuando “x” es igual a 0, es decir que cuando hay 0 kg/día de consumo de Leña, el consumo de GLP es de 0,000601 kg/día, este anterior valor es significativo, ya que su probabilidad es menor a 0,05. El coeficiente de consumo de Leña en kg/día representa que, si el valor de este consumo aumenta en una unidad, el valor promedio del consumo de GLP disminuiría en promedio de -0,000035 kg/día y su probabilidad también es significativa, ya que es menor a 0,05.

A un 95% de confianza, el intervalo de consumo de Leña en kg/día varía entre -0,42 y -0,28 kg/día de consumo. Todo lo anterior reafirma la hipótesis de que existe una relación inversamente proporcional entre ambos consumos.

En la siguiente grafica se presenta la relación entre los dos tipos de consumo a lo largo del mes en cuestión.

Figura 5
Relación entre los consumos del mes



De la anterior figura 5 se deduce que hay una relación inversamente proporcional entre los datos analizados, es decir que los días en que aumenta el consumo de leña, disminuye el consumo de GLP y viceversa. El valor de $R^2 = 0,8$ indica una función lineal decreciente, que en cuanto más alto sea el consumo de leña, menor será el de GLP, y los días en que más se consumió combustible GLP se redujo la utilización y consumo de leña en la casa.

El anterior análisis apunta que la familia tiene la costumbre de no consumir en iguales proporciones a los combustibles, esto puede ser debido a que pretenden ahorrar dinero e insumos, son conscientes del desperdicio y la baja eficacia que pueden tener si cocinan los alimentos solamente en Leña o solamente en GLP. Para preparar el café en la tarde, hervir agua, cocinar sus alimentos, etc. la familia no utiliza Leña, sino GLP, así prepara estos alimentos en el tiempo adecuado y con mayor rapidez, debido a que simplemente se enciende la estufa. Para cocinar comidas más grandes como sopas, carnes, granos, etc. La familia utiliza Leña, de esta forma cocina alimentos más grandes en menor tiempo que con GLP y se tiene la certeza de que los alimentos están totalmente cocidos.

Finalmente, se puede obtener una tabla de los diferentes consumos de energía a lo largo del mes. Se utilizó los valores del poder calorífico de la madera y el GLP para convertir estos consumos a kWh/mes, basándose en los estudios de Scott y Alpízar (2017), y MIEM (2021).

Tabla 7

Consumo de fuentes de energía mensual

CONSUMO MENSUAL		[kWh/mes]	
Energía eléctrica (cocina) [kWh/mes]	29,00	29,00	
Leña [kg/mes]	285,26	894,97	
GLP [g/mes]	8,11	0,11	

De la anterior tabla, resalta significativamente el consumo de leña, que es de 285.26 kg/mes y en términos de energía es 894.97 kWh/mes, que resulta en 57 kg/mes per-cápita y 157,83 kWh/mes per-cápita, por lo tanto, cabe resaltar la necesidad de disminuir este consumo para conservar de la fauna y flora como también la salud de las personas que permanecen en la vivienda.

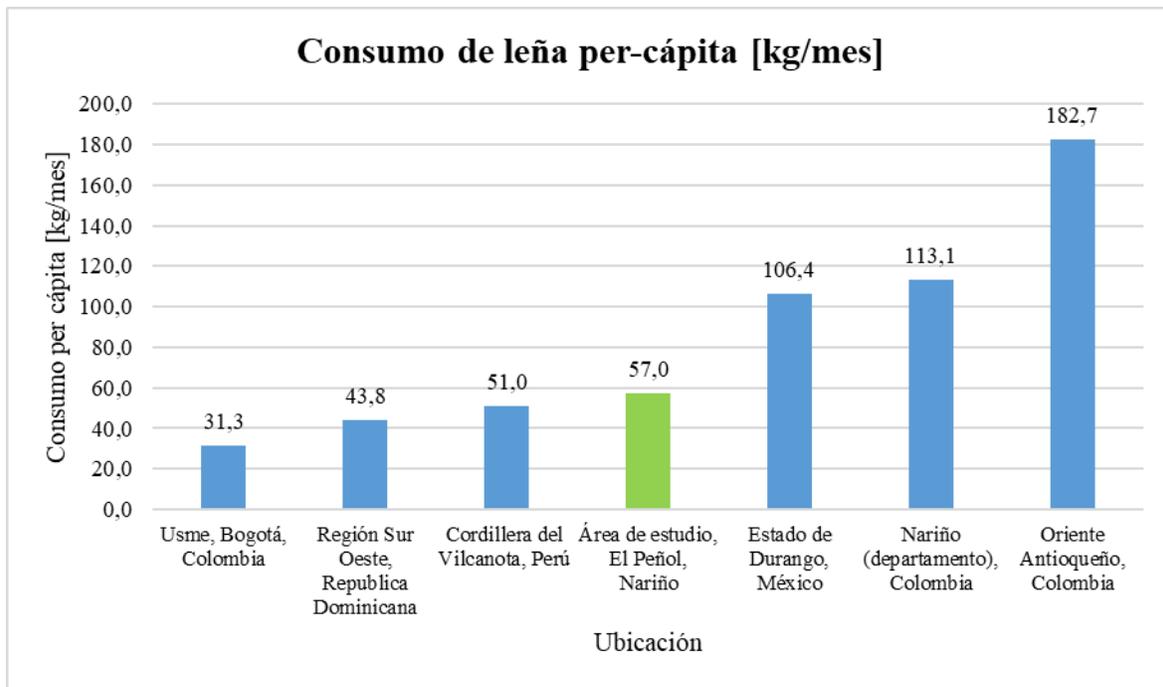
Al hacer la comparación del consumo de leña actual de este estudio, con otros consumos regionales, nacionales e internacionales, se compara que, para Nariño el consumo por persona es de 113,11 kg/mes (PERS, 2014), lo cual infiere que en la zona de estudio se consume únicamente la mitad de leña de lo que consume un nariñense promedio, esto debido a la accesibilidad de la familia cuenta con mayor acceso a la red eléctrica que otras familias de la región. Por otro lado, Ramírez y León (2015), determinaron que, en el oriente antioqueño, el consumo de leña per-cápita es de 182.7kg/mes, un valor 3,2 veces más que el determinado en la actual investigación. En cuanto a la comparación de estos resultados con el consumo de leña determinado por Vargas y Mejía (2011) en Usme, Bogotá, se obtuvo que en esta región el consumo por familia fue de 156,6 kg/mes, un valor que indica una diferencia de 128kg de leña utilizada por mes.

En comparación internacional, se puede hacer referencia al estudio realizado en la región Sur oeste de Republica Dominicana (May, 2013), donde se determinó que el consumo medio de leña por familia era de 7.3 kg/día o de 219 kg/mes, lo cual indica una diferencia de 66kg de leña consumida mensualmente. Igualmente cabe resaltar la investigación realizada en el año 2020 por

la Universidad Juárez y la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el estado de Durango, México, donde se concluyó que el consumo per-cápita de leña fue de 106.4kg/mes o 3.5kg/día. Finalmente es de resaltar la investigación hecha en la cordillera del Vilcanota, Perú (Gil, et, al., 2020); ahí se determinó que el consumo per-cápita de leña fue de 1.7 kg/día o 51kg/mes, este último consumo también es sustancialmente similar al de la presente investigación.

Las anteriores comparaciones con los distintos referentes, se pueden visualizar en la siguiente gráfica, donde se muestra la cantidad de leña consumida por persona en un mes.

Figura 6
Consumo de leña per-cápita



Los resultados de la anterior gráfica, definen una variación del consumo en los lugares analizados que dependen de las necesidades de cada región, de la disponibilidad de combustibles y fuentes de energía, etc. Algo notable es que el común denominador para la utilización de leña como fuente de energía en Colombia y Nariño, es el nivel económico que viven las familias, las tradiciones y la cultura. El elevado consumo de leña en Nariño, se define por las condiciones rurales del departamento, y porque está es la principal fuente de energía para la cocción de alimentos en

los hogares rurales. El consumo de leña en Nariño asciende a 64.167.507 kilogramos al mes (PERS, 2014).

2.2. Estabilizar un reactor de biodigestión anaerobia piloto con una relación teórica adecuada para la carga de sustratos e inóculo

Sistema digestor Batch o discontinuo

Este tipo de digestor se carga una sola vez en forma total y la descarga se efectúa una vez que ha dejado de producir gas combustible normalmente consiste en tanques herméticos con una salida de gas conectada directamente a una estufa que va ser la encargada de consumir el biogás producido. Este tipo de digestor es también ideal a nivel de laboratorio si se desean evaluar los parámetros del proceso o el comportamiento de un residuo orgánico o una mezcla de ellas (Solari, 2004).

De los sistemas Batch, el más usado es el OLADE-GUATEMALA, por la facilidad de construcción del sistema, la sencillez en el proceso de digestión, la alimentación del digestor puede ser con residuos vegetales o también mezclando residuos vegetales con pecuarios y por su mayor producción de biogás, en comparación con el modelo chino e hindú (Valencia, et al., 2011).

En este trabajo investigativo se llevó a cabo la elaboración de un biodigestor tipo Batch el cual cuenta con la mayoría de material reciclable para su construcción, de los digestores nombrados inicialmente se opta por este modelo debido a la economía para fabricarlo y ventajas como fácil manipulación y lo más importante que en relación con los demás sistemas es muy eficiente en cuanto a la producción de Biogás teniendo en cuenta las condiciones climáticas de la finca edén presente en el municipio del Peñol Nariño.

A continuación, una descripción del biodigestor elaborado, como se observa en la figura 86, el biodigestor cuenta con:

1. Entrada del sustrato principal por un tubo de diámetro de 3 pulgadas ubicado en la parte derecha del bidón.
2. Desagüe o salida del Bioabono o (Biol)
3. Tubo PVC ubicado en la parte superior izquierda.

4. Salida o limpieza del sustrato presente cuando ha cumplido el ciclo de producción de Biogás a través de un tubo de PVC de 3 pulgadas ubicado en la base del bidón.
5. Válvula metálica de salida de gas ubicada en la tapa del bidón.
6. Manómetro de presión que al momento de estabilizarse indica que hay presencia de gas disponible a ser distribuido.

Figura 7
Biodigestor en Montaje



La figura 7 presenta el biodigestor piloto diseñado y elaborado en su totalidad, listo para ser cargado con material orgánico proveniente del ganado bovino con una relación C/N adecuada para que no existan pérdidas o baja productividad de biogás.

Previo a este montaje, se procedió a realizar las 3 cargas o tratamientos con distintas mezclas para determinar así cual proceso genera mayor cantidad de biogás.

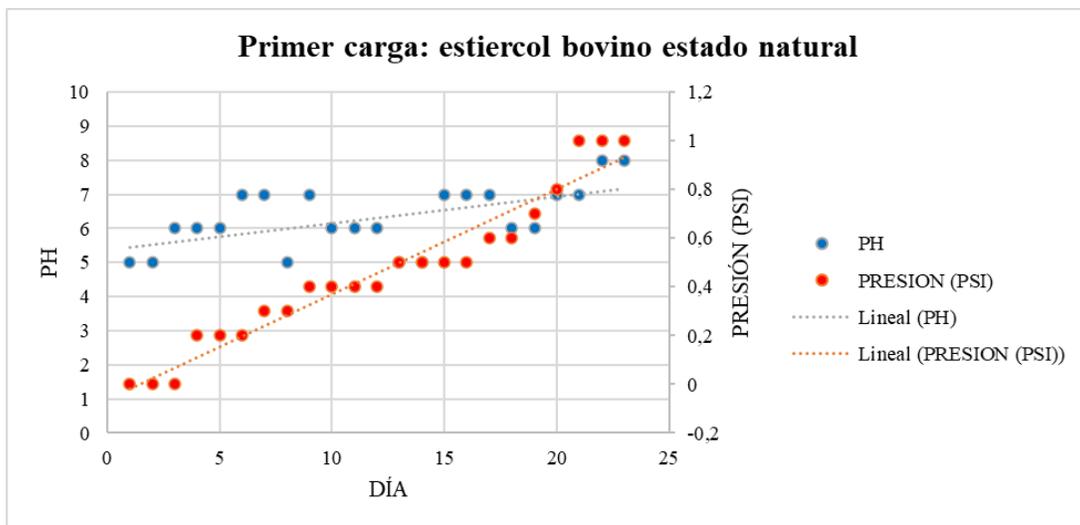
2.2.1. Primera carga: Estiércol bovino en estado natural

En el anexo E se recolectó toda la información en base al tiempo de retención que se estableció para la producción de biogás. Una vez cargado el biodigestor con una cantidad de masa de estiércol puro de ganado bovino de 60 kg, los datos mostrados de temperatura, presión y pH fueron tomados a diario con el fin de conocer cual tratamiento será el más indicado. Se estima que en el transcurso de los 23 días las bacterias llevaron a cabo 4 procesos importantes de degradación; hidrólisis, acidogénesis, acetanogénesis y metanogénesis. Estabilizándose la presión con un valor de 1 PSI desde el día 21, 22, 23 como se puede observar en el anexo E lo cual indica que el gas está disponible para ser utilizado como fuente de energía renovable para la preparación y cocción de alimentos en la vivienda rural del municipio del peñol (N).

De los anteriores resultados se elaboró una gráfica de cada variable en función de los días de tratamiento, por lo cual se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 8

Días de tratamiento vs PH, días de tratamiento vs Presión

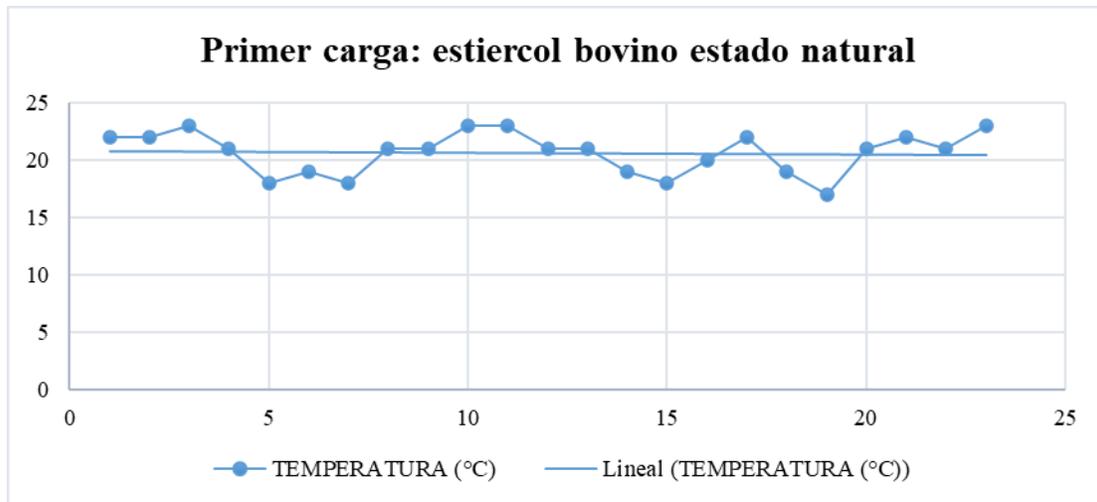


La anterior gráfica representa el comportamiento del pH y la presión a través del tiempo, se puede observar que ambas variables tienden a aumentar a medida en que pasan los días y se estabilizan llegando al día 23 lo cual significa que existe un volumen de biogás disponible para ser utilizado. En cuanto al pH, es determinante en el proceso de generación de biocombustible, por lo

cual los valores en un ambiente de producción pueden variar entre el 6.0 al 8.0, y 7.0 es el mejor valor para una digestión eficiente y posterior producción de biogás (Cromteck, 2021). La investigación determinó el pH se mantuvo entre valores de 6, 7 y 8 desde el día 15 hasta el día 23 de tratamiento, lo cual indica una estabilización con respecto a los días anteriores, también es importante mencionar que un pH superior se volvería alcalino y no es favorable a la producción del biogás (Merced, 2012).

La presión en aumento a través de los días es un indicativo de la reacción química dentro del biodigestor, ya que los elementos solidos reaccionan y generan biogás, por tal motivo aumenta la presión y esta se ve reflejada en el registro. Se puede observar que la presión máxima alcanzada fue de 1 PSI a partir del día 21, donde se infiere que la producción de biogás se estabilizó.

Figura 9
Días de tratamiento vs Temperatura



La anterior grafica representa las temperaturas internas del biodigestor registradas durante los días de tratamiento, se puede observar que el registro mínimo fue de 17°C y el máximo de 23°. La temperatura de operación del digestor, es importante, debido a la gran influencia de este factor en la velocidad de digestión anaeróbica (Manual del Biogás, 2011). Existen tres rangos de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos: psicrófilos (por debajo de 25°C), mesófilos (entre 25 y 45°C) y termófilos (entre 45 y 65°C), (Manual del Biogás, 2011). De esta forma se entiende que las temperaturas registradas no fueron las más ideales para acelerar la producción del biogás.

A continuación, se presenta una matriz de correlación entre los días de tratamiento, pH, Presión y Temperatura para determinar que variables se encuentran relacionadas entre sí, y comparar con los demás tratamientos.

Figura 10
Matriz de correlación de variables en el primer tratamiento

	<i>Días</i>	<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Presión (PSI)</i>	<i>PH</i>
<i>Días</i>	1			
<i>Temperatura (°C)</i>	-0,06612644	1		
<i>Presión (PSI)</i>	0,96997203	-0,003955676	1	
<i>PH</i>	0,5716838	-0,015206436	0,619815237	1

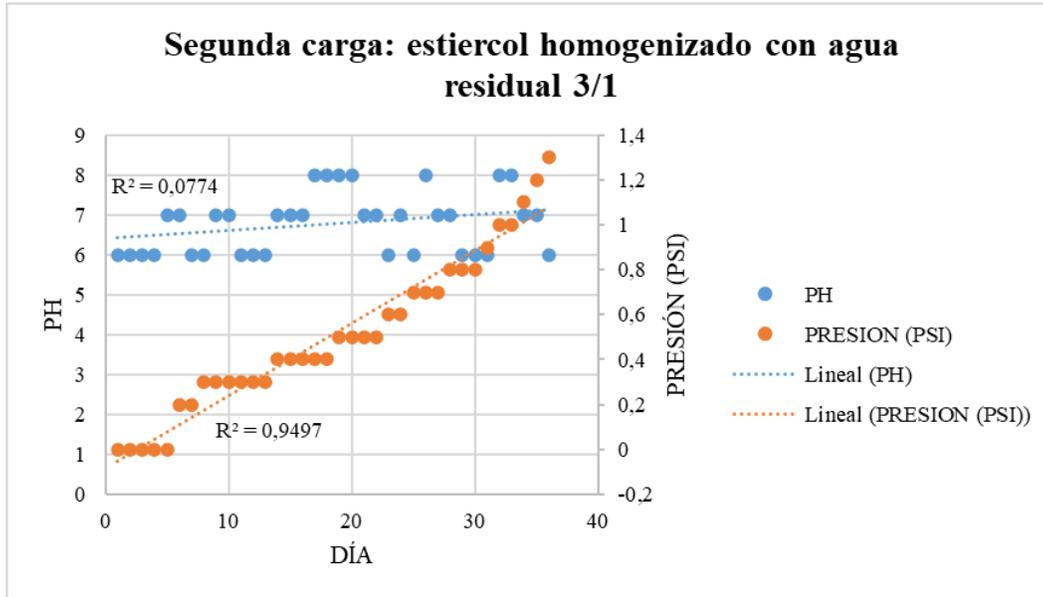
De los anteriores resultados se puede observar una correlación positiva fuerte entre los días de tratamiento y la presión registrada, y una correlación positiva débil entre los días de tratamiento y el PH registrado, así como hay una correlación positiva débil entre la presión y el PH registrados; los anteriores resultados indican una producción de biogás. Existe una correlación nula entre los cruces de Días vs Temperatura, Temperatura vs Presión y Temperatura vs PH, estos resultados indican que la temperatura no logró controlarse de acuerdo a los parámetros óptimos de producción, y por lo tanto no aportó en mayor medida a la producción de biogás.

2.2.2. Segunda carga: Estiércol homogenizado con agua residual 3/1

En el Apéndice G se recolectó toda la información en base al TRH que se llevó a cabo para la producción de biogás una vez cargado el biodigestor con una mezcla de estiércol de ganado bovino homogeneizado con agua en una relación 3/1, en la cual hubo una masa total de 60kg, 45kg de estiércol y 15kg de agua residual doméstica. El tratamiento se llevó a cabo durante 36 días donde se observa que la presión con un valor máximo fue alcanzada en el día 36 con un valor de 1,3 PSI, lo cual infiere una producción de biogás más alta que el primer tratamiento.

De los anteriores resultados se elaboró una gráfica de cada variable en función de los días de tratamiento con los siguientes resultados.

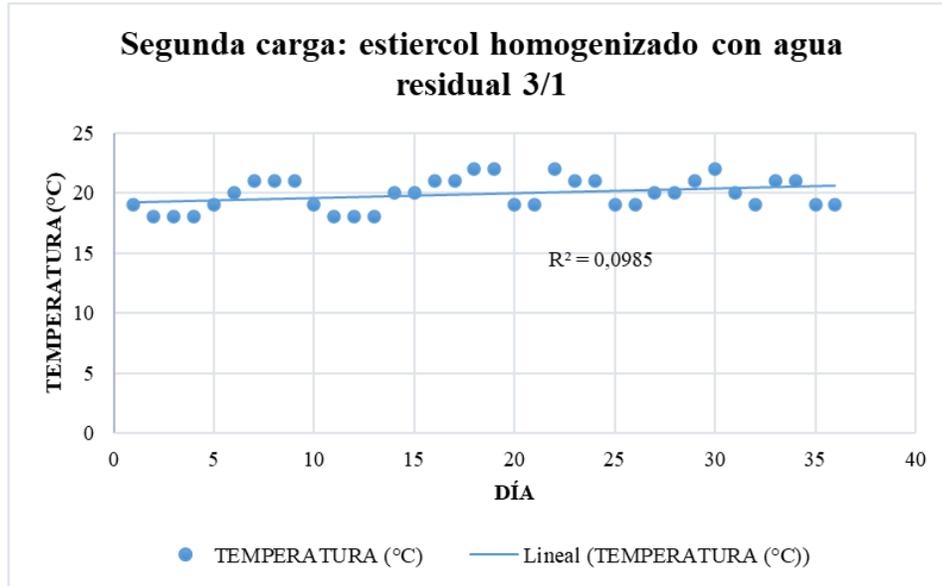
Figura 11
 Días de tratamiento vs PH, días de tratamiento vs Presión



La anterior grafica representa el comportamiento del pH y la presión a través del tiempo en el segundo tratamiento; se puede comprender que la presión fue aumentando proporcionalmente a medida en que pasaban los días; el pH en este tratamiento se mantuvo oscilando en valores de 6, 7 y 8, por lo cual se mantuvo en valores aptos para la generación de biogás, pero no se estabilizó al finalizar el tratamiento (Cromteck, 2021).

La presión en aumento a través de los días es un indicativo de la reacción química de la mezcla de estiércol y agua dentro del biodigestor, ya que los elementos solidos reaccionan con las moléculas de agua y la materia orgánica disuelta y generan un desprendimiento de metano, por tal motivo aumenta la presión y esta se ve reflejada en las mediciones registradas. Se puede observar que la presión máxima alcanzada fue de 1,3 PSI en el día 36, donde terminó el tratamiento.

Figura 12
Días de tratamiento vs Temperatura



La anterior grafica representa las temperaturas internas del biodigestor registradas durante los días transcurridos en el segundo tratamiento, se puede observar que el registro mínimo fue de 18°C y el máximo de 22°C, valores poco ideales para desarrollar el proceso de metanogénesis en el biodigestor y no favorable para el crecimiento bacteriano, existe la posibilidad de que hubo fugas en este tratamiento y por este motivo la temperatura interior del biodigestor fue similar a la temperatura ambiente de la zona de estudio.

En la siguiente tabla se presenta los resultados de correlación entre los días del segundo tratamiento, pH, Presión y Temperatura para determinar que variables se encuentran relacionadas entre sí, y comparar los resultados con el tratamiento 1 y 3.

Tabla 8
Matriz de correlación de variables en el segundo tratamiento

	Días	Temperatura (°C)	Presión (PSI)	PH
Días	1			
Temperatura (°C)	0,313920947	1		
Presión (PSI)	0,974535919	0,2597221	1	
PH	0,278281703	0,32017094	0,2246491	1

De los anteriores resultados se puede observar una correlación positiva fuerte entre los días de tratamiento y la presión registrada, y una correlación positiva débil entre los días de tratamiento y el pH registrado y entre los días de tratamiento y la temperatura; también se determina que hay una correlación positiva débil entre la temperatura y la presión, así como con el pH, finalmente hay una correlación positiva débil entre los valores de presión y pH. Estos resultados demuestran una mayor eficacia del tratamiento 2 frente al tratamiento 1, ya que no hay correlaciones negativas o nulas que afecten negativamente la producción del biogás.

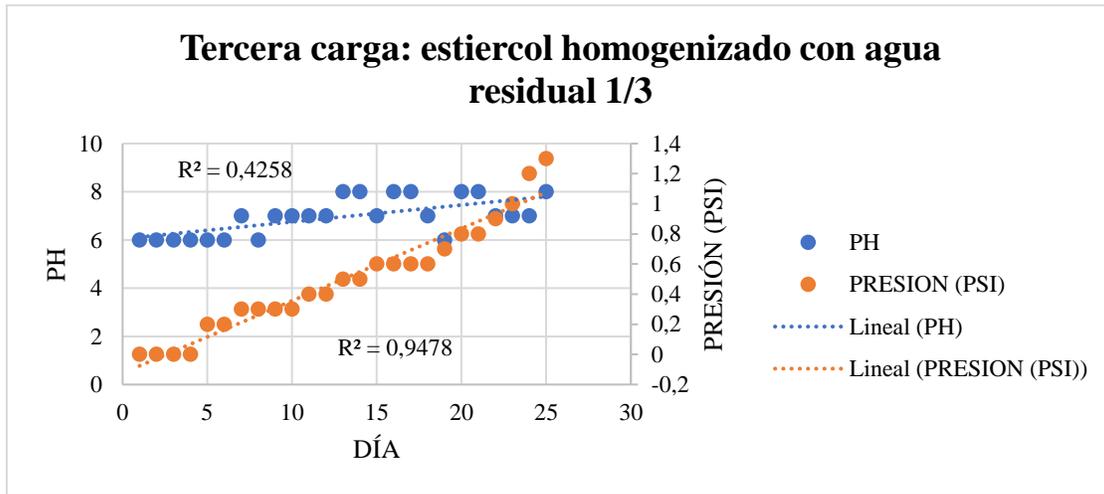
2.2.3. Tercera carga: Estiércol homogenizado con agua residual 1/3

En el anexo F se recolectó toda la información en base al TRH que se implementó para la producción de biogás una vez cargado el biodigestor con una mezcla de estiércol de ganado bovino homogeneizado con agua en una relación 1/3, en este tratamiento hubo un total de 60kg de mezcla, 15kg de estiércol y 45kg de agua residual doméstica. El tratamiento se llevó a cabo durante 25 días donde se observa que la presión máxima fue alcanzada en el día 25 con un valor de 1,3 PSI, lo cual infiere una producción de biogás más alta que el primer tratamiento e igual que el segundo tratamiento, por lo cual, se realizó un análisis de biogás generado y una comparación de correlaciones y masa para determinar el mejor tratamiento.

De los anteriores resultados se elaboró una gráfica de cada variable en función de los días de tratamiento con los siguientes resultados.

Figura 13

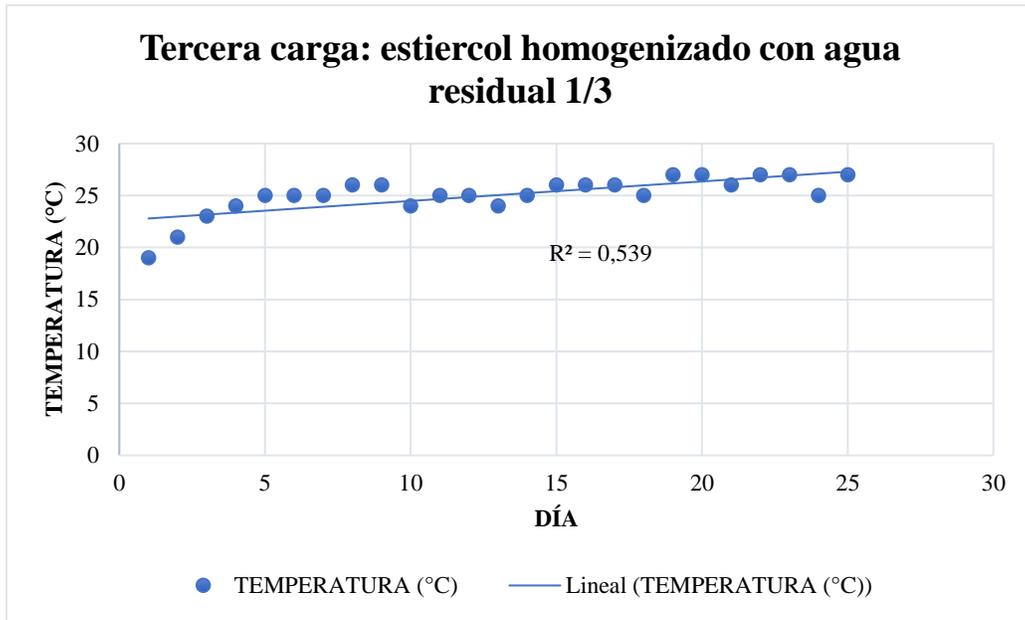
Días de tratamiento vs PH, días de tratamiento vs Presión



La anterior grafica representa el comportamiento del pH y la presión a través del tiempo en el tercer tratamiento; los resultados indican que la presión aumentó proporcionalmente con el paso de tiempo. El pH inició en 6 y tuvo una pequeña tendencia ascendente con un R^2 de 0.42, por lo cual en el último día se obtuvo una medición de $pH=8$, en conclusión, también se mantuvo en valores aptos para la generación de biogás (Cromteck, 2021).

En cuanto a la presión, se puede evidenciar un apreciable aumento a través de los días de tratamiento, un indicativo de la reacción química de la mezcla de estiércol y su proporción de agua residual y materia orgánica dentro del biodigestor, ya que los elementos solidos reaccionaron con las moléculas de agua y se generó un desprendimiento de metano, por tal motivo aumenta la presión registrada a partir del día 5. Se puede observar que la presión máxima alcanzada fue de $1,3 PSI$ en el último día de tratamiento, es decir el día 25.

Figura 14
Días de tratamiento vs Temperatura



La anterior grafica representa las temperaturas internas del biodigestor registradas durante los días del segundo tratamiento, se puede observar que el registro mínimo fue de 19°C y el máximo de 27°C, valores más ideales para la generación de metanogénesis en el biodigestor y favorable para el crecimiento bacteriano.

En la siguiente matriz se presenta los resultados de correlación entre los días del tercer tratamiento, PH, Presión y Temperatura para determinar que variables se encuentran relacionadas entre sí, y comparar con el tratamiento 1 y el tratamiento 2.

Tabla 9
Matriz de correlación de variables en el tercer tratamiento

	Días	Temperatura (°C)	Presión (PSI)	pH
Días	1			
Temperatura (°C)	0,73419411	1		
Presión (PSI)	0,97357491	0,689648269	1	
PH	0,65253516	0,449915873	0,610857559	1

Los resultados de la matriz afirman una correlación positiva fuerte entre los días de tratamiento y la presión registrada y entre los días de tratamiento y la temperatura, y una correlación positiva moderada entre los días de tratamiento y el pH registrado; también se determina que hay una correlación positiva moderada entre la temperatura y la presión, así como con el pH, finalmente hay una correlación positiva moderada entre los valores de presión y pH.

Los resultados de las tres matrices de correlación demuestran que las mayores correlaciones frente a la generación de fue el tratamiento 3, ya que frente al tratamiento 1 y frente al tratamiento 2, no hay correlaciones débiles, negativas o nulas, que entorpezcan la generación de biogás, además de esto, todas las relaciones entre variables dependientes e independientes fueron directamente proporcionales, es decir todas aumentaron conforme el paso de los días.

En la siguiente tabla se realizó la comparación de las variables resultantes del presente estudio con otras realizadas en el ámbito nacional e internacional.

Tabla 10
Comparación de pH, Temperatura y presión

Trabajo	Rango de Ph	Temperatura final [°C]	Presión final [PSI]
Este estudio (2023)	Tratamiento 1	6.0 – 8.0	23.0
	Tratamiento 2	6.0 – 8.0	22.0
	Tratamiento 3	6.0 – 8.0	27.0
Mariño et. Al (2021)	Tratamiento 1	5,59 – 6.8	17.62
	Tratamiento 2	5,96 – 6.9	16.60
	Tratamiento 3	6,30 – 7.07	15.30
Martina et. Al. (2007)	6.1 – 8.2	28.3	0,29
Ventura (2011)	9.3	20.0	–

De la anterior tabla se pudo determinar que todos los trabajos realizados obtuvieron valores resultantes de pH oscilando alrededor de 7, el cual es un valor neutral favorable para la proliferación y las bacterias capaces de generar el biogás. Se pudo observar que, en todos los trabajos, la temperatura es una variable muy importante para la generación del biogás, por lo cual en estos estudios también se intentó mantener valores de temperatura óptimos, es decir cercanos a los 20°C.

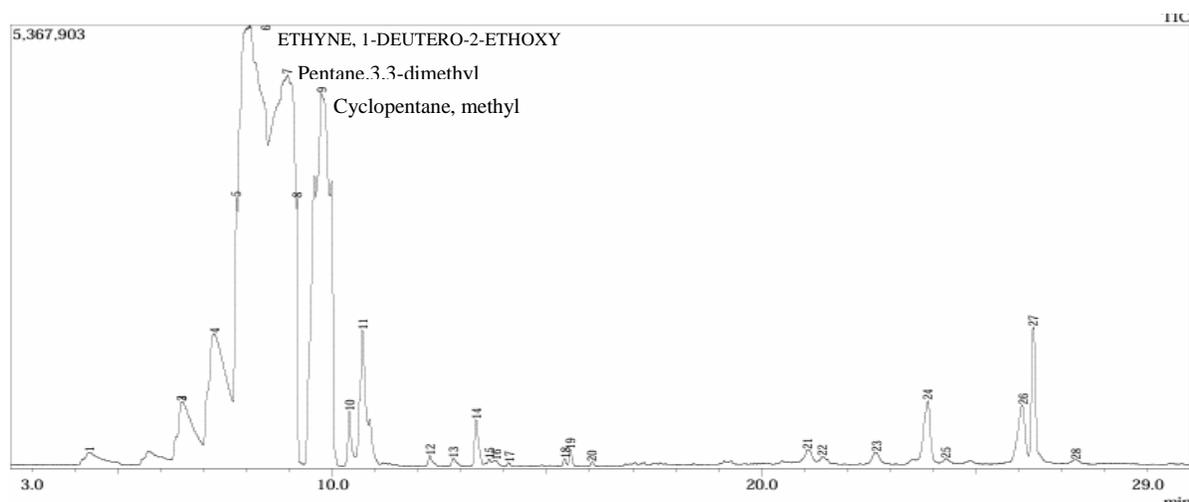
2.3. Cuantificar la producción de biogás para satisfacer los procesos de preparación de alimentos en la vivienda

2.3.1. Determinación de la cantidad de biogás generado

Para la ejecución de este objetivo, se realizó un muestreo con tres repeticiones distintas por tratamiento, con el fin de trasportar el biogás en un disolvente suministrado por el laboratorista encargado (Hexano). Este disolvente se transportó y almacenó de tal forma que tuviera una temperatura entre 3°C y 5°C en un recipiente herméticamente cerrado con el fin de que el gas no perdiese su calidad en el momento de ser trasladado desde el lugar de estudio hasta la sede Alvernia de la Universidad Mariana ubicada en la ciudad de Pasto, Nariño, donde se llevó cabo un análisis de cromatografía para así obtener los respectivos resultados 13 días después.

De los resultados obtenidos para los tres tratamientos, se determinó que en ninguno de los tres tratamientos con sus distintas repeticiones presentó un pico alto de una concentración de metano, se infiere que por ser un gas liviano no se evidenció la presencia de este mismo, pero si se alcanzó a evidenciar la presencia de otros tipos de gases dentro de cada tratamiento como se observa en la siguiente figura de ejemplo.

Figura 15
Resultados de Cromatografía aplicada a cada tratamiento



Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	4.332	4032391	1.33	152026	0.85	Carbon dioxide (CAS)
2	6.503	13582189	4.46	598589	3.36	Pentane (CAS)
3	6.503	6873206	2.26	405939	2.28	Pentane (CAS)
4	7.238	25784810	8.47	1158107	6.50	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
5	7.775	2420531	0.80	553333	3.10	Aziridine (CAS)
6	8.075	52947822	17.40	1929890	10.83	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
7	8.959	34150508	11.22	1384499	7.77	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
8	9.179	-3221147	-1.06	558762	3.13	Hexane (CAS)
9	9.736	115996040	38.13	4412709	24.75	Cyclopentane, methyl- (CAS)
10	10.396	2418906	0.80	581118	3.26	Pentane, 3,3-dimethyl- (CAS)
11	10.705	14326013	4.71	1515319	8.50	Cyclohexane
12	12.271	796071	0.26	121881	0.68	2-Pentanol, 2-methyl- (CAS)
13	12.819	721756	0.24	96777	0.54	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
14	13.351	3335701	1.10	550777	3.09	Benzene, methyl- (CAS)
15	13.653	179617	0.06	50736	0.28	2-Hexanone (CAS)
16	13.806	200803	0.07	34905	0.20	2-Hexanol (CAS)
17	14.114	206148	0.07	45248	0.25	Acetic acid, butyl ester
18	15.415	301489	0.10	80122	0.45	Ethylbenzene
19	15.549	611223	0.20	163578	0.92	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
20	16.063	223899	0.07	51653	0.29	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
21	21.072	1688705	0.56	152116	0.85	Acetic acid, 1-[2-(2,2,6-trimethyl-bicyclo[4.1.1]oct-5-en-2-yl)ethyl]- (CAS)
22	21.421	675818	0.22	72454	0.41	Acetic acid, 1-[2-(2,2,6-trimethyl-bicyclo[4.1.1]oct-5-en-2-yl)ethyl]- (CAS)
23	22.665	1621904	0.53	140042	0.79	9,19-Cyclolanostan-3-ol, acetate, (3.beta.)- (C.I. 15900)
24	23.874	7197253	2.37	727984	4.08	NEROLIDOL-EPOXYACETATE
25	24.297	470361	0.15	55187	0.31	4-(2,2-Dimethyl-6-methylenecyclohexylidene)acetic acid
26	26.081	7046312	2.32	637144	3.57	Cyclohexanol, 2-methyl-3-(1-methylethenyl)-, (1R,2R)- (CAS)
27	26.335	9104305	2.99	1550312	8.70	Diethyl Phthalate
28	27.318	556272	0.18	46107	0.26	3-Buten-2-one, 4-(3-hydroxy-6,6-dimethyl-2-oxocyclohexyl)- (CAS)

Debido a que no se determinó una concentración de metano en los resultados de cromatografía, siendo este un dato importante para dar fin al desenlace del objetivo tres, se utilizó una herramienta móvil llamada Gas Detector Leaker que permite medir el metano por medio de un sensor dando como resultado un dato en PPM, este fue transportado hasta el área de estudio para realizar las respectivas mediciones. Cada tratamiento se realizó en un periodo de tiempo de tres días, donde se tomó datos en tres rangos distintos alto, medio, bajo. La diferencia de valores por cada rango se debió al caudal de Biogás que se canalizó directamente al medidor de metano, lo que significa que para el rango alto se abre la válvula para que salga un caudal de gas durante 3 segundos y el medidor de metano suministró un dato al momento de estabilizarse numéricamente, para el rango medio se utiliza un tiempo de 2 segundos, para el rango bajo se utiliza un tiempo de 1 segundo por cada tratamiento, cumpliendo con las tres repeticiones eso infiere en la variación de los datos. Este proceso se llevó a cabo en cada tratamiento durante tres días; la temperatura que se observa es suministrada electrónicamente por esta misma herramienta, así como el valor de los datos en PPM.

Figura 16

Gas Detector Leaker



En las siguientes tablas se organizó los datos recolectados de cada tratamiento en el transcurso de los tres días suministrados por la herramienta Gas Detector Leaker. El equipo utilizado fue calibrado para las condiciones de trabajo necesarias en la investigación.

Tabla 11

Datos recolectados por la herramienta Gas Detector Leaker (Tratamiento 1)

PRIMER TRATAMIENTO (ESTIERCOL PURO)				
Día 1	PPM	19	272	4916
	T°	28,5		
Día 2	PPM	25	125	4483
	T°	28,7		
Día 3	PPM	18	267	4438
	T°	28,6		

Tabla 12

Datos recolectados por la herramienta Gas Detector Leaker (Tratamiento 2)

SEGUNDO TRATAMIENTO (3/1:AR/ESTIERCOL)				
Día 1	PPM	21	375	4422
	T°		28,0	
Día 2	PPM	32	443	4463
	T°		28,4	
Día 3	PPM	20	401	4917
	T°		28,3	

Tabla 13

Datos recolectados por la herramienta Gas Detector Leaker (Tratamiento 3)

TERCER TRATAMIENTO (1/3:AR/ESTIERCOL)				
Día 1	PPM	14	125	2479
	T°		28,9	
Día 2	PPM	9	437	4682
	T°		28,7	
Día 3	PPM	23	88	4945
	T°		28,7	

A continuación, se presentan resultados de temperatura y presión inicialmente en unidades de °C y psi que fueron registrados durante el tiempo de retención en el biodigestor. Cabe resaltar que la temperatura y la presión fueron convertidas a unidades de K y Pas, como también se utilizó la constante de los gases ideales “R” y el peso molecular del metano, con estos resultados se utilizó la ecuación de los gases ideales despejando el volumen molar, remplazando valores y obteniendo un resultado para determinar finalmente la concentración (g/m³) por cada una de las repeticiones de cada tratamiento.

2.3.2. Concentraciones obtenidas del tratamiento 1

$$\text{Temperatura (K)} = 301.15K$$

$$\text{Presion (Pas)} = 6894 \text{ Pas}$$

$$R \left(\text{Pas} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \text{K} \right) = 8.314472 \text{ Pas} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \text{K}$$

$$\text{Peso molecular} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\text{Vol molar} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \right) = 0.363 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

Tabla 14

Concentraciones tratamiento 1 [g/m³]

Tratamiento	Repetición	Caudal	PPM	Concentración (g/m ³)
1	Dia 1	Bajo	21	0,001
		Medio	375	0,017
		Alto	4422	0,195
	Dia 2	Bajo	32	0,001
		Medio	443	0,020
		Alto	4463	0,197
	Dia 3	Bajo	20	0,001
		Medio	401	0,018
		Alto	4917	0,217

2.3.3. Concentraciones obtenidas del tratamiento 2

$$\text{Temperatura (K)} = 301.15\text{K}$$

$$\text{Presion (Pas)} = 89631 \text{ Pas}$$

$$R \left(\text{Pas} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \text{K} \right) = 8.314472 \text{ Pas} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \text{K}$$

$$\text{Peso molecular} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\text{Vol molar} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \right) = 0.028 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

Tabla 15

Concentraciones tratamiento 2 [g/m³]

Tratamiento	Repetición	Caudal	PPM	Concentración (g/m ³)
2	Dia 1	Bajo	19	0,011
		Medio	272	0,156
		Alto	4916	2,816
	Dia 2	Bajo	25	0,014
		Medio	125	0,072
		Alto	4483	2,568
	Dia 3	Bajo	18	0,010
		Medio	267	0,153
		Alto	4438	2,542

2.3.4. Concentraciones obtenidas del tratamiento 3

$$\text{Temperatura (K)} = 301.15K$$

$$\text{Presion (Pas)} = 82737 \text{ Pas}$$

$$R \left(\text{Pas} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} K \right) = 8.314472 \text{ Pas} \frac{\text{m}^3}{\text{mol}} K$$

$$\text{Peso molecular} \left(\frac{\text{g}}{\text{mol}} \right) = 16 \frac{\text{g}}{\text{mol}}$$

$$\text{Vol molar} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{mol}} \right) = 0.030 \frac{\text{m}^3}{\text{mol}}$$

Tabla 16

Concentraciones tratamiento 3 [g/m³]

Tratamiento	Repetición	Caudal	PPM	Concentración (g/m ³)
3	Dia 1	Bajo	14	0,007
		Medio	125	0,066
		Alto	2479	1,311
	Dia 2	Bajo	9	0,005
		Medio	437	0,231
		Alto	4682	2,475
	Dia 3	Bajo	23	0,012
		Medio	88	0,047
		Alto	4945	2,614

Al hacer los respectivos cálculos, se determinó que la cantidad máxima de gas (de acuerdo a los valores de concentraciones de los tres tratamientos) se generó en el tratamiento 2, es decir, relación 3/1, entonces éste será el tratamiento usado para reemplazar el consumo de GLP de la vivienda.

2.3.5. Determinación de masa generada según el muestreo de cromatografía

Por cada tratamiento se tomó un muestreo de tres repeticiones, a las cuales se les realizó un análisis en cromatógrafo para identificar la cantidad de metano expuesto y otros compuestos presentes en los tratamientos. Una vez entregados los resultados de cromatografía, se observó que en ninguna de las nueve lecturas totales hay presencia de metano, esto se debe a que por ser un gas liviano no registra valores tales como se puede observar en el anexo N. Haciendo uso de la ley de los gases ideales se llegó a una aproximación teórica de la cantidad real de moles totales donde cada componente registró la respectiva masa en unidades de nanogramos (equivalente a los valores de Height) convirtiéndose luego a gramos y posteriormente dividida entre la masa molecular del mismo compuesto y obtener el valor de moles (n), se utilizó los datos anterior mente registrados de Temperatura (°C), Presión (PSI) los cuales fueron convertidos a unidades de (K) y (Pa), haciendo similitud con las unidades de la constante (R), posterior a esto se procedió a encontrar el volumen del gas producido en la muestra y finalmente multiplicarlo por los valores de concentración del día calculados, tres de cada repetición, lo que sirvió para hallar la masa total de biogás generada por tratamiento, como se puede observar en las tablas 17, 18 y 19.

Tabla 17
Primer carga

PRIMER CARGA: ESTIERCOL BOVINO ESTADO NATURAL						
Temperatura Promedio (K)	293,8		Moles totales (n)	Volumen Gas producido (m3)	Concentración g/m3	Masa de Metano obtenida (g)
Presión Promedio (Pas)	3147,6	M1.1	0,000241	0,000187278	0,195	3,65191E-05
R (Pas.m3/mol.K)	8,314472		Moles totales (n)	Volumen Gas producido (m3)	Concentración g/m3	Masa de Metano obtenida (g)
		M1.2	0,000198	0,000153797	0,197	03,0298E-05
		M1.3	0,000185	0,000143513	0,217	3,11424E-05
Masa de Metano Promedio: 0,000033 g CH4						

Tabla 18
Segunda carga

SEGUNDA CARGA: ESTIERCOL HOMOGENIZADO CON AGUA RESIDUAL 3/1						
Temperatura Promedio (K)	293,03		Moles totales (n)	Volumen Gas producido (m3)	Concentración g/m3(alta)	Peso de Metano obtenido (g)
Presión Promedio (Pas)	3516,3	M2.1	0,000179427	0,000124322	2,816	0,000350091
R (Pas.m3/mol.K)	8,314472		Moles totales (n)	Volumen Gas producido (m3)	Concentración g/m3(alta)	Peso de Metano obtenido (g)
		M2.2	0,00020189	0,000139886	2,568	0,000359228
		M2.3	0,000204057	0,000141388	2,542	0,000359408
Masa de Metano Promedio: 0,000356242g CH ₄						

Tabla 19
Tercer carga

TERCERA CARGA: ESTIERCOL HOMOGENIZADO CON AGUA RESIDUAL 1/3						
Temperatura Promedio (K)	298,19		Moles totales (n)	Volumen Gas producido (m3)	Concentración g/m3(alta)	Peso de Metano obtenido (gCH ₄)
Presión Promedio (Pas)	3477,3	M3.1	0,000179918	0,000129397	1,311	0,000169639
R (Pas.m3/mol.K)	8,314472		Moles totales (n)	Volumen Gas producido (m3)	Concentración g/m3(alta)	Peso de Metano obtenido (gCH ₄)
		M3.2	0,000136218	9,79678E-05	2,475	0,00024247
		M3.3	0,000192007	0,000138091	2,614	0,00036097
Masa de Metano Promedio: 0,000257693g CH ₄						

De acuerdo a los resultados obtenidos, se establece que, el biogás obtenido en los tres tratamientos mantiene niveles pobres en metano, por lo cual el biogás es ineficiente, como lo evidencia Malacatus et al. (2017) en un estudio acerca del potencial energético del biogás, este estudio infiere que la presencia de metano en el biogás debe estar entre 50% y 60% de la masa total del biogás para ser clasificado como un biogás con buena eficiencia.

A pesar de que se determinó que el tratamiento numero 2 fue el de mayor generación de metano, los valores de masa no son suficientes para transformar esta cantidad en energía eléctrica. La deficiencia de generación puede deberse una dilución errada del estiércol bobino con las ARD, alteraciones en el pH, fugas de gas, presión y entrada de aire externo y cambios de temperatura que

no permiten el desarrollo óptimo de los microorganismos para la descomposición de la mezcla y generación del gas (Cuenca, 2017).

No obstante, de los valores de masa de metano promedio obtenidos, se escogió el máximo para evaluar cuanta energía se podría generar, se escogió el valor de masa del Tratamiento numero 2 (relación 3/1). Teóricamente, la energía generada aproximada se calculó utilizando el Poder Calorífico Inferior del metano:

$$E (kWh) = \bar{m}(kg) \times PCI_{CH_4} \left(\frac{kWh}{kg} \right)$$

$$E (kWh) = 3,56242 \times 10^{-7} kg \times 13,89 kWh/kg$$

$$E (kWh) = 4,95 \times 10^{-6} kWh$$

Es importante destacar que la masa de gas obtenida se produjo en un mes aproximadamente (36 días) y la medición y cálculos de masa, volumen y energía provienen de la muestra que se llevó a cabo en el ensayo de cromatografía. Por otro lado, este resultado de energía obtenida de la muestra es el valor que se compara con el consumo de GLP de la vivienda, de forma que:

$$\frac{4,95 \times 10^{-6} kWh (CH_4)}{mes} \times \frac{100\%}{0,11kWh (GLP)} = 0,0045\%$$

En el año 2017, Moncayo habla sobre el biogás, expresando que éste es un combustible natural de alto poder calorífico dependiendo del contenido de metano; de esta forma, se concluye, al igual que en el estudio de Moposita (2022), que un biogás de esta concentración y masa no es suficiente para ser usado en usos domésticos, como estufas o calentadores o actividades en las que se pretenda llevar a cabo su combustión.

Este resultado indica que la energía generada en el reactor suple mínimamente las necesidades de consumo de GLP, por lo cual hay una necesidad de implementar un biodigestor más amplio con ello aumentando la cantidad de estiércol y ARD en la mezcla para obtener valores más altos de masa y, por ende, más energía mensual.

De esta manera, se define que la hipótesis no se cumple en las condiciones actuales, la cual infería que se supliría el 70% de consumo de GLP.

La cantidad de biogás que debería producirse para satisfacer el consumo de GLP estipulado en la hipótesis (0.077kWh/mes) corresponde a un valor aproximado de 5,5 g CH₄/mes, sin alterar las condiciones y factores que puedan intervenir en el proceso dentro del reactor (Anexo O). Así mismo, en el anterior anexo se especifican las cantidades teóricas necesarias de estiércol y ARD necesarias para satisfacer la demanda de energía.

En condiciones ideales, Moposita (2022) describe que: “la generación de biogás a partir de estiércol puede ser una fuente provechosa de energía y una estrategia para mitigar la contaminación de los afluentes cercanos por su mal tratamiento”. Por otra parte, Arrieta (2016) promueve la utilización de biodigestores, ya que surgirían beneficios económicos al reemplazar total o parcialmente el gas GLP y disminuiría el consumo de agroquímicos que pueden ser reemplazados con los subproductos de la biodigestión. Así mismo, los impactos ambientales de estos proyectos se traducen en la disminución de gases de efecto invernadero, llegando a niveles bajos o nulos de contaminación, disminución de acumulación de desechos y atracción de vectores, y generando una alternativa para suplir las necesidades energéticas en el sector rural del país.

3. Conclusiones

Este trabajo investigativo logró determinar los consumos energéticos que tuvo la vivienda de análisis, hablando de energía eléctrica, gas GLP y leña. Esos consumos son útiles para cuantificar las necesidades de una familia en zona rural.

La investigación logró desarrollar un reactor tipo Batch a partir de material reciclable, el cual fue de gran utilidad para la realización de los ensayos de generación de metano. Dando así cumplimiento a uno de los objetivos específicos.

Según los resultados obtenidos por este estudio, se determinó que es inviable el reemplazo de gas GLP por gas metano, esto debido a las condiciones de funcionamiento no aptas para alcanzar los valores de consumo requeridos.

La hipótesis planteada por esta investigación se rechaza, ya que no se logró suplir el consumo energético del 70% de energía del GLP a partir del biogás.

La investigación comprueba que la mezcla más sobresaliente para mayor obtención de biogás, es la de tres partes de estiércol bovino por 1 parte de agua residual doméstica (relación 3/1). En el futuro se puede mejorar las condiciones de diseño y operatividad del sistema para lograr una generación más eficiente, sin posibles fugas, ni grandes pérdidas de temperatura y presión.

Uno de los más grandes beneficios de la utilización de un biodigestor es el reemplazo de combustibles vegetales como el material vegetal (leña), de esta forma se evita la contaminación por gases GEI hacia la atmósfera y se pueden reducir costos en la cocción de alimentos y tiempo para su preparación.

El Biogás también es efectivo para generar calor y vapor. Este calor o vapor puede ser utilizado para diversas aplicaciones, como calefacción en edificios, procesos industriales, o incluso para la generación de electricidad mediante un generador de vapor conectado a un sistema de generación eléctrica.

En muchas zonas rurales del mundo se emplean tradicionalmente fuentes de energía convencionales como la leña, lo cual contribuye a la deforestación y otros problemas socio ambientales, surge entonces la importancia de emplear alternativas más amigables con el ambiente,

en este caso mediante el aprovechamiento de desechos ganaderos lo cual genera una fuente de biogás con un múltiple uso.

Así, según los parciales obtenidos al estabilizar el reactor piloto de biodigestión anaerobia, y en base a la información teórica adecuada para identificar la carga de sustratos e inóculo que se deben utilizar, se obtuvieron hallazgos positivos de acuerdo a diferentes tipos de análisis estadísticos aplicados en el desarrollo de la investigación.

El metano funciona de manera eficiente para reemplazar al gas GLP, por lo cual este estudio afirma que es una buena alternativa para aprovechar los gases generados a partir del estiércol bobino y disminuir la demanda del servicio de pipetas o gas domiciliario.

4. Recomendaciones

Los resultados obtenidos a partir de los tres tratamientos se pueden mejorar a partir de implementación de tecnologías adecuadas de diseño, instalación, funcionamiento y medición del sistema. De esta forma se puede obtener información más representativa en cada etapa del proceso de generación de biogás.

Se sugiere la utilización de materiales no corrosibles y ensamblajes precisos que eviten fugas o contaminación externa.

Determinar una buena ubicación del biodigestor para protegerlo de las condiciones climáticas y así llegar a la temperatura óptima de digestión.

Un inconveniente que se puede resolver en investigaciones futuras, es el de la digitalización en tiempo real de los parámetros determinantes (presión, pH, temperatura). Mediante sensores y sistemas de automatización se puede lograr un seguimiento de los parámetros en tiempo real y hacer ajustes o acciones necesarias en el menor tiempo posible.

Realizar una mezcla homogénea de la materia prima que será utilizada, ya que esto facilita el proceso de biodigestión.

Procurar la estabilidad del pH del biodigestor para mantener un ambiente propicio para los microorganismos metanogénicos.

Utilizar eficientemente los subproductos como el *digestato* para abonar tierras y cultivos.

Realizar mantenimientos programados a un sistema de biodigestión para evitar inconvenientes en el proceso de generación de gas y su utilización.

Realizar inspecciones periódicas para detectar cualquier signo de fugas. Examinar visualmente el biodigestor y las tuberías en busca de grietas, aberturas o cualquier indicio de escape.

Referencias bibliográficas

- Acosta, M., Pasqualino, J. (2014). Potencial de Uso de Biogás en Colombia. Fundación Universitaria Tecnológico Comfenalco (FUTCO). Cartagena-Colombia. Revista TEKNOS (2014) Vol. 14(2): pp 27-33 julio-diciembre 2014. ISSN 1900-7388. Obtenido de: <https://www.revistas-tecnologicocomfenalco.info/index.php/teknos/article/view/468/372>
- Arenas, B. (2019). Propuesta para el diseño de un biodigestor anaerobio como sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, generados en las viviendas del proyecto “La Villa Solar” ubicado en la ciudad de Buenaventura - Colombia. Obtenido de: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1128
- Arthur, R., Baído, F., & Antwi, E. (2011). Biogás as potential renewable energy source. *Renewable Energy*, 36, 1510-1516.
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. (2021). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. Obtenido en mayo 12, 2022, de: Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente | US EPA
- Arrieta, W.J.O. (2016) DISEÑO DE UN BIODIGESTOR DOMÉSTICO PARA EL APROVECHAMIENTO ENERGÉTICO DEL ESTIÉRCOL DE GANADO [Tesis para optar el Título de Ingeniero Mecánico - Eléctrico]
- Barrena, M., Julca, J., Hellenthal, M., Ordinola, C. (2017). Rendimiento del biogas como combustible para cocina e iluminación producido en biodigestor tubular en la Providencia, Luya – Amazonas
- Bath, B., Sachan, M. (2004). Firewood Consumption Pattern of Different Tribal Communities in Northeast India. *Energy Policy*: 1-6.
- Bernal, L., Suarez, L. (2018). Diseño conceptual de un biodigestor partiendo de estiércol vacuno y avícola, producido en la finca el Guarumal, para la obtención de biogás, 1-110
- Bustillos, Y. (2017). Evaluación de la eficiencia y funcionamiento del biodigestor anaeróbico de flujo continuo en la “Granja Porcina Carlitos”, 2, 1-488

- Campos, B. (2011). Metodología para determinar los parámetros de diseño y construcción de biodigestores para el sector cooperativo y campesino. 20(2)
- Criollo, E., Guzmán, A. (2014). Elaboración de un biodigestor piloto tubular para la producción de biogás a partir de estiércol de ganado vacuno, en una vivienda de la comunidad de tembo, 4 – 127
- Conil, P. (2014). Biodigestores para lodos de palma: la experiencia colombiana, 1-5
- Cordero, J (2017). Evaluación del potencial energético de las aguas residuales urbanas generadas en ciudades de altura, 1-93
- Delgado, M. (2017). Energías renovables, una alternativa racional. Obtenido de: https://cuentayrazon.es/archivo/Num135_003.pdf
- Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, (2021). El humo de la leña y su salud. Efectos del humo de leña sobre la salud. Obtenido de: <https://espanol.epa.gov/espanol/el-humo-de-la-lena-y-su-salud>
- García, M. (2016). La deforestación: una práctica que agota nuestra biodiversidad. Producción + Limpia, 11(2), 161-168
- Garita, N., Rojas, J. (2013). Guía práctica para el manejo de los residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost.
- Garzón, M., Valencia, S. (2011). Estudio de un biodigestor generador de gas metano mediante abono orgánico para prácticas de energías alternativas en el laboratorio de la facultad de ingeniería civil y mecánica de la universidad técnica de Ambato. Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Civil Y Mecánica Ingeniería Mecánica. Obtenido de: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/1344/1/Tesis%20I.%20M.%2095%20-%20Garz%c3%b3n%20Cuji%20Marco%20Fabricio.pdf>
- Gil, E. (1983) Energía y biofertilizantes, Manual de producción y utilización, Buenos Aires, Argentina.
- Gómez, R., Gómez, A. (2019). Plan de negocios para la creación de una empresa procesadora y comercializadora de productos derivados de la guayaba en el municipio de El Peñol

departamento de Nariño. Universidad nacional abierta y a distancia. Escuela de ciencias agrícolas pecuarias y del medio ambiente. Programa académico agronomía. San Juan de Pasto. Obtenido de: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/27407/jrgomezbu.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Hristov, A., Oh, J., Firkins, J., Dijkstra, J., Kebreab, E., Waghorn, G., Makkar, H., Adesogan, A., Yang, C.W., Lee, C., Gerber, P., Henderson, B., Tricarico, J. (2013). Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options, *Journal of Animal Science*, 91, 5045–5069

IDEASS, (2019). Innovación para el Desarrollo y la Cooperación Sur-Sur. America Latina. Obtenido de: <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Biodigestores-de-bajo-costo.pdf>

IGAC. (2016). Instituto geografico Agustin Codazzi. Obtenido de Instituto geográfico Agustín Codazzi: <http://noticias.igac.gov.co/las-6-plagas-causan-la-muerte-los-suelos-colombianos>

IRENA (2017) Biogas for road vehicles: Technology brief. Abu Dhabi, United Arab Emirates: International Renewable Energy Agency. <http://www.irena.org/publications/2017/Mar/Biogas-for-road-vehicles-Technology-brief>

Kwietniewska, E., Tys, J. (2014). Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation, 34, 491-500

Marti, J. (2008). Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación, 4, 755-08

Marti, J. (2011). Biodigestores de bajo costo para producir biogás y fertilizante natural a partir de residuos orgánicos, International Center of Numerical Methods in Engineering (CIMNE), Spain

Moposita A. & Agreda O. (2022). Análisis de la eficiencia del biogás generado por el biodigestor solar cities, en el campus ceasa, período 2021-2022. Universidad técnica de cotopaxi. Facultad de ciencias agropecuarias y recursos naturales. Carrera de ingeniería en medio ambiente. Latacunga – ecuador

- Moyano, J., Rowlands, N. (2020). Implementación de energías renovables a escala piloto para abastecimiento eléctrico con un sistema híbrido eólico – solar y de biogás en una vivienda rural ubicada en Zipaquirá, Cundinamarca
- Nieto, M., Guzman, M., Steinaker, D. (2014). Emisiones de gases de efecto invernadero: simulación de un sistema ganadero de carne típico de la región central Argentina, 40,1-10
- Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento de Meta, 16, 142-156
- Oviedo, J., Badii, M., Guillen, A., Lugo, O (2015). Historia y Uso de Energías Renovables, 10(1), 1-18
- Parra, D., Botero, M., Botero, J. (2019). Biomasa residual pecuaria: revisión sobre la digestión anaerobia como método de producción de energía y otros subproductos, 19, 149-160
- Pinzón, A. (2004). Biblioteca ilustrada del campo: Abonos orgánicos biodigestores-bio preparados-humus suelos. Editorial Enlace Cultura
- Pita, L., Páez, J. y Puerta, N. (2016). Proyecto comunitario Ambiente y Territorio: manejo y disposición de residuos sólidos en la vereda Pueblo Viejo, Moniquirá, Colombia. Cooperativismo & Desarrollo, 24(109), 1-8
- Plan de desarrollo municipal de El Peñol (2005 - 2007). ALCALDIA MUNICIPAL. Obtenido de: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/10994/5935-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Plan de desarrollo del municipio de el peñol, departamento de nariño. (2012). Obtenido de: <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/21811/26022-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Potschka, J., (2012). Biodigestores. Biodigestores plásticos. Sitio argentino de producción animal. Revista Producir XXI N°243, enero 2012, pag 20-24. Obtenido de: https://www.produccion-animal.com.ar/Biodigestores/59-Biodigestores_plasticos.pdf
- Rodríguez, C. (2017). Los biodigestores: fuente de desarrollo sostenible y calidad de vida en comunidades rurales de Colombia, 1-20

- Roos, K., Martin, J y Moser, M. (2004) “AgSTAR Handbook: A manual for developing biogas systems at commercial farms in the United States”. Second Edition. Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. United States.
- Sistema Bio (2018, abril 6). Transformar el desecho en beneficios para la salud con biodigestores, Sistema. Bio Blog
- Suarez, O (2000). Manual para el manejo de los residuos sólidos orgánicos e inorgánicos de la plaza minorista José María Villa del municipio de Medellín, 23
- Tóala, E (2013). Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho verónica, 21
- Torres, D., (2009). Desarrollo de un Sistema de Biodigestores y Energías Limpias. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. Obtenido de: <https://docplayer.es/29744112-Desarrollo-de-un-sistema-de-biodigestores-y-energias-limpias.html>
- UPME, IDEAM, COLCIENCIAS, U. (2014). Atlas del Potencial Energético de la Biomasa Residual en Colombia.
- Valderrama, E., Linares, É. (2008). Uso y manejo de leña por la comunidad campesina de San José de Suaita (Suaita, Santander, Colombia). Colombia Forestal, 11(1), 19-34
- Vargas Lehner, F. (2018). Potencial de biodigestores para el tratamiento de efluentes orgánicos en el ámbito rural. Revista De La Sociedad Científica Del Paraguay, 21(1), 111–124. Obtenido de: <https://sociedadcientifica.org.py/ojs/index.php/rscopy/article/view/32>
- Zuñiga, I. (2007). Biodigestores. Universidad Autonoma del estado de Hidalgo.

Anexos

Anexo A. Cronograma de la Investigación

Objetivos	Actividades	Mes												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Estandarizar el consumo de energía para los procesos de preparación de alimentos en la vivienda rural	Cuantificar la cantidad de energía que consume cada elemento asociado a la preparación de alimentos y/u otras actividades en la vivienda.													
	Estandarizar el consumo de energía eléctrica en la vivienda.													
	Determinar el consumo de energía en un periodo de 30 días en la vivienda.													
Estabilizar un reactor de biodigestión anaerobia piloto con una relación teórica adecuada para la carga de sustratos e inóculo.	Conocer la finca y sus características y todo su material orgánico como objeto de estudio.													
	Construir el biodigestor más apropiado y de conocimiento por parte de los estudiantes.													
	Agregar el sustrato recolectado hacia el biodigestor con una óptima relación C/N.													
	Monitorear constantemente variables en el proceso de biodigestión como lo son: presión, temperatura, PH.													
Cuantificar la producción de biogás para satisfacer los procesos de preparación de alimentos en la vivienda.	Determinar la cantidad de biogás generado y en cuanto este mismo suple en % al GLP.													
	Llevar a cabo la distribución del biogás hacia la vivienda.													
	Repetir el proceso nuevamente, si fue de gran ayuda.													

Anexo B. Presupuesto General de la Investigación

Rubro	Universidad Mariana		Otra		TOTAL	
	Especie	Dinero	Especie	Dinero	Especie	Dinero
Personal	500.000				600.000	
Equipos			100.000	100.000	100.000	100.000
Materiales e Insumos			200.000	100.000	200.000	100.000
Bibliografía	200.000		100.000		300.000	
Servicios técnicos	100.000		200.000		300.000	
Personal de apoyo	100.000	200.000			100.000	
Software						
Salidas de campo				200.000		200.000
Subtotal	800.000	200.000	600.000	400.000	1.600.000	400.000
Total	1.000.000		1.000.000		2.000.000	
Total, por participante			1.000.000			

Anexo C. Diseño de consumo energético en la preparación de alimentos

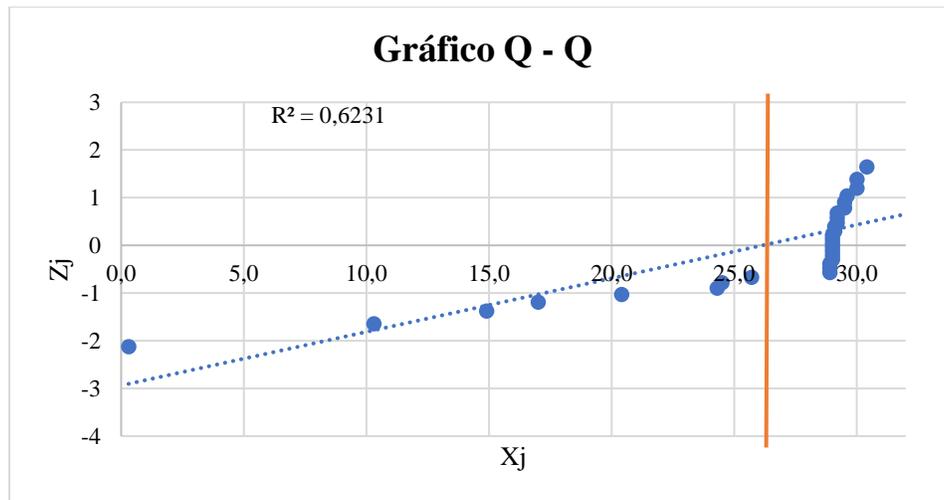
<i>Días</i>	<i>kWh/día</i>
1	30,0
2	29,2
3	29,2
4	29,2
5	29,5
6	24,5
7	29,1
8	30,0
9	29,0
10	29,0
11	0,3
12	29,6
13	17,0
14	29,0
15	30,4
16	32,8
17	28,9
18	29,0
19	10,3
20	24,3
21	29,0
22	20,4
23	29,0
24	29,1
25	29,0
26	14,9
27	28,9
28	28,9
29	29,5
30	25,7
Total	784,7

Anexo D. Diseño de consumo energético en vivienda y resultados estadísticos

<i>Días</i>	<i>Registro de kWh/día</i>
1	62
2	54
3	94
4	48
5	45
6	49
7	84
8	64
9	68
10	40
11	18
12	142
13	35
14	65
15	48
16	51
17	46
18	87
19	69
20	93
21	87
22	96
23	79
24	78
25	51
26	63
27	89
28	70
29	64
30	52
Total	1991,0

Según los datos presentados, Con los anteriores resultados se construyó un gráfico Q-Q (Gráfico Quantil – Quantil) para determinar un indicativo de normalidad de los datos obtenidos de los valores obtenidos para KWh/día, y se identificó un comportamiento anormal ya que los valores graficados no están alineados (Bliss, 20).

Anexo E. Gráfica Q-Q



Para el anterior gráfico, X_j son los valores de Kwh/día, organizados de mayor a menor presentes en el eje horizontal y Z_j son los valores de función de distribución normal presentes en el eje vertical calculados con el software Excel. Además de la inferencia de normalidad de los valores de consumo, también se puede comprobar la tendencia de los mismos a estar por encima de la media (26.2). evidenciando este caso en los resultados para los análisis estadísticos, como lo son el error típico, desviación estándar y varianza de la muestra, teniendo en cuenta que solo los días 11, 19 y 26 corresponden a datos que se distancian del valor de la media de la población. En la tabla 2 el valor de Curtosis es positivo (6,19), por lo tanto, hay una distribución leptocúrtica entre los datos y se mantienen concentrados en torno a la Media (Jiménez & Melo, 2016).

En cuanto al Coeficiente de asimetría, se infiere que es negativo (- 2,45), esto indica que la mayoría de los datos están por encima de la Media y la cola de la distribución se alarga a la izquierda para valores inferiores a la Media (Jiménez & Melo, 2016). En el apéndice D, se presenta valores reales obtenidos de medidor de energía de la vivienda que a diario registra el consumo energético en un tiempo real de 30 días anotados desde el día 1 a las 7 am de la mañana y retomando su lectura al día siguiente a la misma hora ejecutando una diferencia de valores inciden que existe un mayor consumo de acuerdo a los datos presentes en el apéndice D y apéndice C durante las 24 horas. Esta diferencia justifica que lo que resta de energía hace parte al gasto que producen diferentes tipos de artículos presentes en la vivienda que no tienen ninguna relación con la preparación de alimentos como lo son bombillos, televisores, cargador de celulares etc.

Anexo F. Variables Estadísticas Kwh/día

Resultados estadísticos de la Matriz 2. Consumo de energía artículos en general Variable dependiente.

<i>Variables estadísticas</i>	<i>Kwh/día</i>
Media	66,37
Error típico	4,40
Mediana	64,00
Moda	48,00
Desviación estándar	24,07
Varianza de la muestra	579,48
Curtosis	2,11
Coefficiente de asimetría	0,86
Rango	124,00
Mínimo	18,00
Máximo	142,00
Suma	1991,00
Cuenta	30,00

La anterior matriz también se obtuvo bajo la prueba de Análisis de datos para una serie de datos de una sola variable. Por otro lado, y los resultados obtenidos para el Registro de energía/día indican un comportamiento anormal en la población de datos, resaltando debido a que los valores de (4.40) para el error típico, (24.07) para la desviación estándar y (579.48) para la varianza de la muestra, indicando que los datos de la población fluctúan en gran medida con valores de Registro de energía/día que van desde 18 hasta 142 con respecto a la media, la cual tiene un valor de (66,37).

Para la tabla 3, el valor de Curtosis es positivo (2,11), por lo tanto, no presenta una distribución leptocúrtica entre los datos y se mantienen concentrados en torno a la Media. Sin embargo, el Coeficiente de asimetría es positivo (0,86), es decir, la mayoría de los datos están por debajo de la Media y la cola de la distribución se alarga a la derecha para valores superiores a la media. (Jiménez & Melo, 2016).

Anexo G. Estadísticas de regresión

Análisis estadístico de Regresión entre los resultados de la Matriz 1. Registro de energía artículos de cocina.1 y Matriz 2. Consumo de energía artículos en general

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,30
Coefficiente de determinación R ²	0,09
R ² ajustado	0,06
Error típico	23,39
Observaciones	30,00

La anterior tabla al análisis estadístico de Regresión de la Matriz 1. (Registro de energía artículos de cocina 1) y Matriz 2. (Consumo de energía artículos en general) presenta que, el coeficiente de correlación múltiple es el mismo coeficiente de correlación de Pearson que nos dice que un valor en cuanto más se acerque a 1 hay mayor correlación entre los datos analizados de los dos conjuntos que hacen parte de la matriz 1 y matriz 2, totalmente lo contrario cuando los valores se acercan a 0 significa que no presentan ninguna relación o dependencia de una variable y la otra.

Este resultado de coeficiente de correlación múltiple, al ser 0,30, indica que no hay relación o efecto de la variable independiente con la variable dependiente. El valor de R² ajustado indica que el valor se acerca a 1 esta mayormente ajustado o sigue una tendencia en este caso es un valor alejado por lo cual no cumple ninguna tendencia entre los datos.

Anexo H. Análisis de varianza

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>P_valor</i>
Regresión	1,00	1485,82	1485,82	2,72	0,11
Residuos	28,00	15319,15	547,11		
Total	29,00	16804,97			

En cuanto al análisis de varianza es importante tener en cuenta el P_valor, que indica si el valor obtenido en el anexo I es mayor a 0.05 significa que no existe ninguna relación entre las dos variables, a diferencia que si fuese el valor obtenido menor a 0.05 indica que si hay relación entre variables o una tendencia entre los datos.

Anexo I. Análisis de Intercepción kWh/día

	<i>Coeficiente</i> <i>s</i>	<i>Erro</i> <i>r típico</i>	<i>Estadístic</i> <i>o t</i>	<i>Probabilida</i> <i>d</i>	<i>Inferio</i> <i>r 95%</i>	<i>Superio</i> <i>r 95%</i>
Intercepción	39,61	16,7	2,36	0,03	5,23	74,00
n		9				
KWh/día	1,02	0,62	1,65	0,11	-0,25	2,29

Ajuste del modelo

La tabla infiere que debido al valor del Coeficiente de determinación R², hay una dependencia menor al 10% entre la variable dependiente y la independiente, por lo tanto, no hay una relación fuerte entre las variables mencionadas anteriormente en los análisis. Es recomendable que se haga un diagnóstico eléctrico en la vivienda para evitar los consumos dispares que se pueden presentar ya sea por fallas eléctricas que es una de las maneras de explicar la incoherencia de ciertos datos teniendo en cuenta que si la variable independiente cambia la variable dependiente también debería hacerlo.

Significancia global del modelo

El modelo realizado no tiene significancia estadística, por eso, la variabilidad no existe en la variable dependiente debido a la variabilidad de la variable independiente. El *P_valor* demuestra la baja relación entre las variables al ser mayor a 0,05. Finalmente, el Error típico del modelo realizado no presenta un buen ajuste entre la variable dependiente e independiente. Al analizar el Coeficiente de correlación de Pearson (0.3) para los resultados de KWh/día (Matriz 1) y Registro de energía/día (Matriz 2), se comprueba una relación Baja entre los resultados de KWh/día y Registro de energía/día dentro del mes en cuestión (Garzón, 2008).

Anexo J. Análisis de consumo GPL y leña mes

DÍA	GPL [g/día]	GPL [kg/día]	LEÑA [g/día]	LEÑA [kg/día]	Total [kg/día]
1	0,18	0,00018	12450	12,45	12,45018
2	0,27	0,00027	8700	8,7	8,70027
3	0,24	0,00024	9960	9,96	9,96024
4	0,31	0,00031	7450	7,45	7,45031
5	0,22	0,00022	10430	10,43	10,43022
6	0,21	0,00021	9210	9,21	9,21021
7	0,19	0,00019	11760	11,76	11,76019
8	0,36	0,00036	5760	5,76	5,76036
9	0,34	0,00034	6130	6,13	6,13034
10	0,24	0,00024	9870	9,87	9,87024
11	0,26	0,00026	8670	8,67	8,67026
12	0,28	0,00028	9120	9,12	9,12028
13	0,16	0,00016	12340	12,34	12,34016
14	0,23	0,00023	11980	11,98	11,98023
15	0,25	0,00025	9760	9,76	9,76025
16	0,13	0,00013	13210	13,21	13,21013
17	0,45	0,00045	7670	7,67	7,67045
18	0,33	0,00033	8720	8,72	8,72033
19	0,31	0,00031	9550	9,55	9,55031
20	0,27	0,00027	9120	9,12	9,12027
21	0,22	0,00022	10340	10,34	10,34022
22	0,15	0,00015	12880	12,88	12,88015
23	0,46	0,00046	5530	5,53	5,53046
24	0,42	0,00042	6100	6,1	6,10042
25	0,38	0,00038	7490	7,49	7,49038
26	0,34	0,00034	9450	9,45	9,45034
27	0,14	0,00014	13390	13,39	13,39014
28	0,22	0,00022	11230	11,23	11,23022
29	0,26	0,00026	9660	9,66	9,66026
30	0,29	0,00029	7330	7,33	7,33029
TOTAL	8,11	0,00811	285260	285,26	285,26811

Anexo K. Análisis y recolección en el proceso de producción de Biogás

PRIMER CARGA: ESTIERCOL BOVINO ESTADO NATURAL			
DIA	TEMPERATURA °C	PRESION (PSI)	PH
1	22	0	5
2	22	0	5
3	23	0	6
4	21	0,2	6
5	18	0,2	6
6	19	0,2	7
7	18	0,3	7
8	21	0,3	5
9	21	0,4	7
10	23	0,4	6
11	23	0,4	6
12	21	0,4	6
13	21	0,5	5
14	19	0,5	5
15	18	0,5	7
16	20	0,5	7
17	22	0,6	7
18	19	0,6	6
19	17	0,7	6
20	21	0,8	7
21	22	1	7
22	21	1	8
23	23	1	8

Anexo L. Segunda recolección de datos en el proceso de producción de Biogás

SEGUNDA CARGA: ESTIERCOL HOMOGENIZADO CON AGUA RESIDUAL 3/1			
DIA	TEMPERATURA (°C)	PRESION (PSI)	PH
1	19	0	6
2	18	0	6
3	18	0	6
4	18	0	6
5	19	0	7
6	20	0,2	7
7	21	0,2	6
8	21	0,3	6
9	21	0,3	7
10	19	0,3	7
11	18	0,3	6
12	18	0,3	6
13	18	0,3	6
14	20	0,4	7
15	20	0,4	7
16	21	0,4	7
17	21	0,4	8
18	22	0,4	8
19	22	0,5	8
20	19	0,5	8
21	19	0,5	7
22	22	0,5	7
23	21	0,6	6
24	21	0,6	7
25	19	0,7	6
26	19	0,7	8
27	20	0,7	7
28	20	0,8	7
29	21	0,8	6
30	22	0,8	6
31	20	0,9	6
32	19	1	8
33	21	1	8
34	21	1,1	7
35	19	1,2	7
36	19	1,3	6

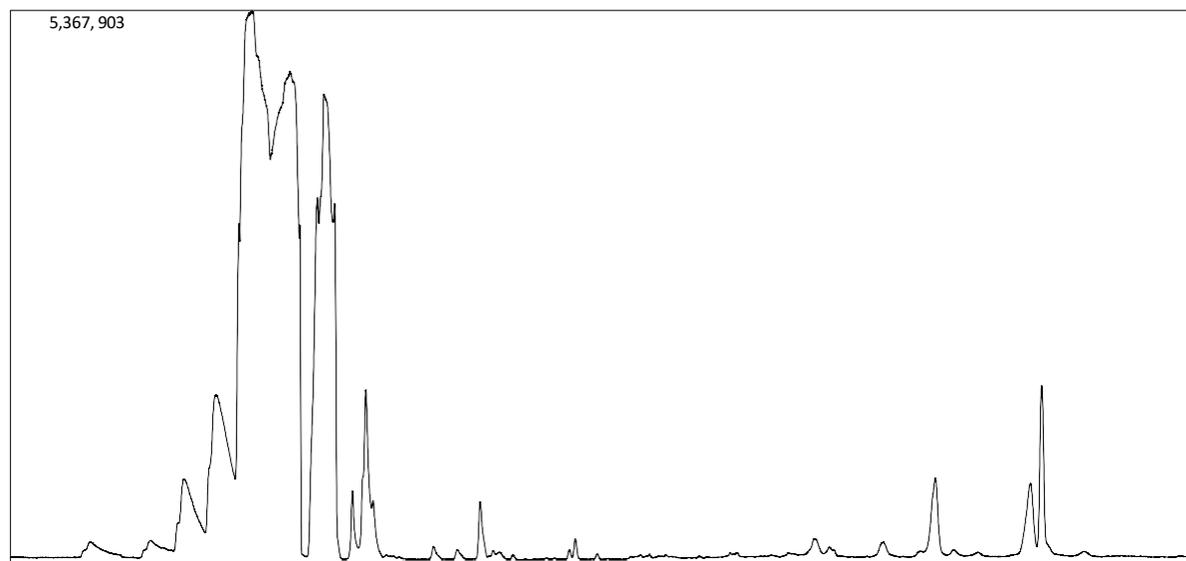
Anexo M. Tercera recolección de datos en el proceso de producción de Biogás

TERCERA CARGA: ESTIERCOL HOMOGENIZADO CON AGUA RESIDUAL
1/3

DIA	TEMPERATURA (°C)	PRESION (PSI)	PH
1	19	0	6
2	21	0	6
3	23	0	6
4	24	0	6
5	25	0,2	6
6	25	0,2	6
7	25	0,3	7
8	26	0,3	6
9	26	0,3	7
10	24	0,3	7
11	25	0,4	7
12	25	0,4	7
13	24	0,5	8
14	25	0,5	8
15	26	0,6	7
16	26	0,6	8
17	26	0,6	8
18	25	0,6	7
19	27	0,7	6
20	27	0,8	8
21	26	0,8	8
22	27	0,9	7
23	27	1	7
24	25	1,2	7
25	27	1,3	8

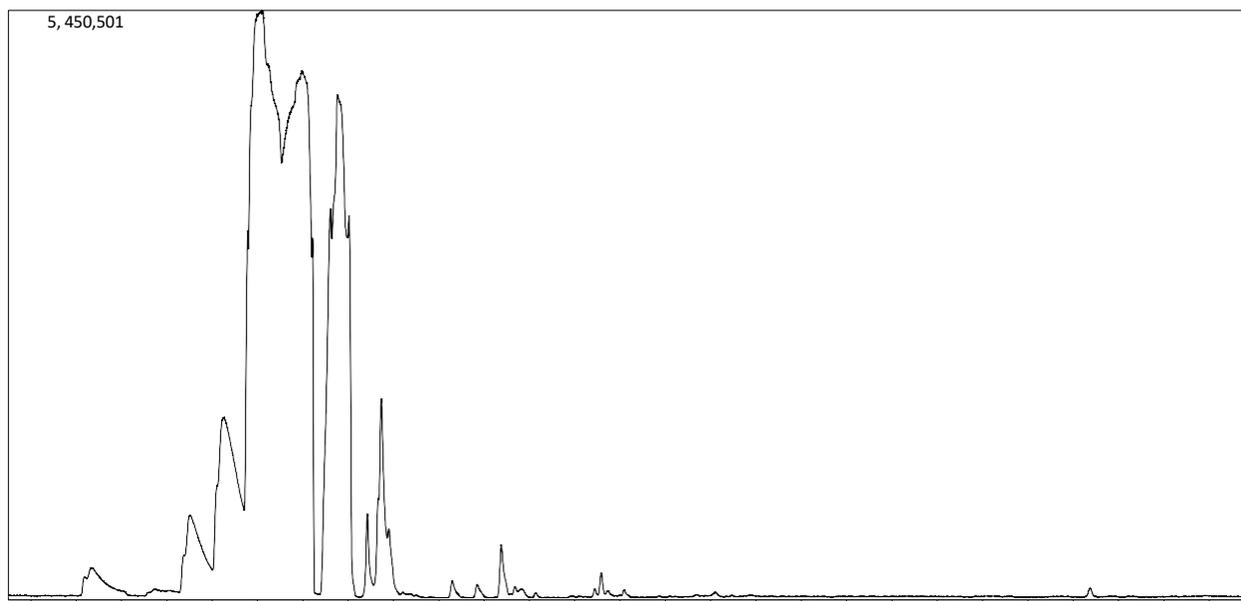
Anexo N. Muestras de Cromatografía aplicadas - Muestra y tratamiento

Muestra 1.1



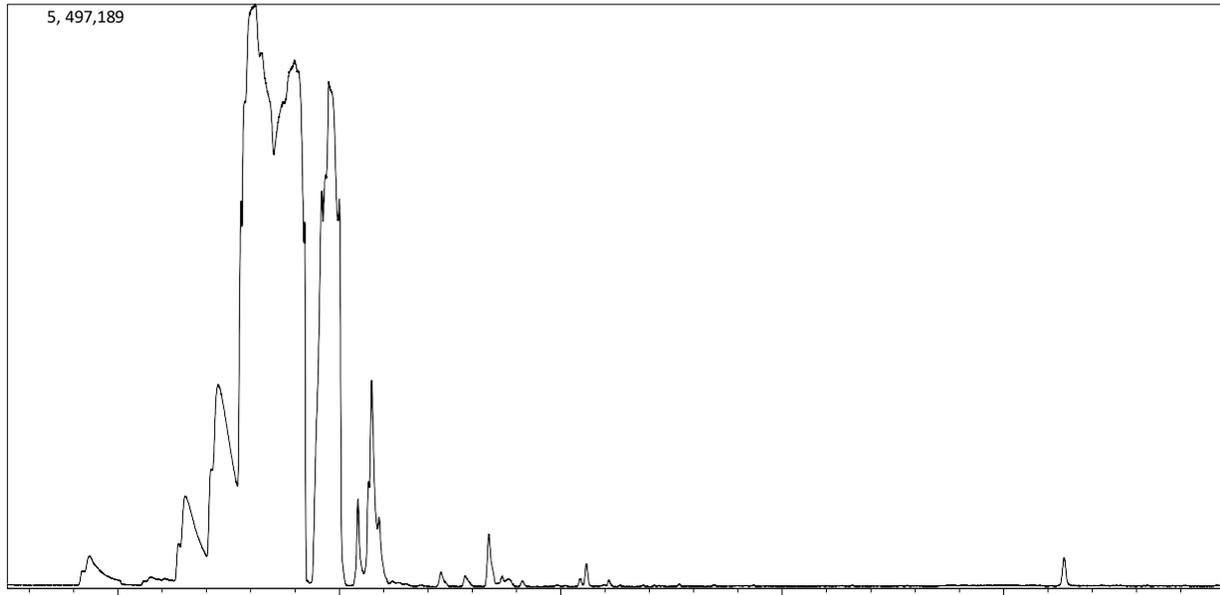
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	4.332	4032391	1.33	152026	0.85	Carbon dioxide (CAS)
2	6.503	13582189	4.46	598589	3.36	Pentane (CAS)
3	6.503	6873206	2.26	405939	2.28	Pentane (CAS)
4	7.238	25784810	8.47	1158107	6.50	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
5	7.775	2420531	0.80	553333	3.10	Aziridine (CAS)
6	8.075	52947822	17.40	1929890	10.83	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
7	8.959	34150508	11.22	1384499	7.77	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
8	9.179	-3221147	-1.06	558762	3.13	Hexane (CAS)
9	9.736	115996040	38.13	4412709	24.75	Cyclopentane, methyl- (CAS)
10	10.396	2418906	0.80	581118	3.26	Pentane, 3,3-dimethyl- (CAS)
11	10.705	14326013	4.71	1515319	8.50	Cyclohexane
12	12.271	796071	0.26	121881	0.68	2-Pentanol, 2-methyl- (CAS)
13	12.819	721756	0.24	96777	0.54	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
14	13.351	3335701	1.10	550777	3.09	Benzene, methyl- (CAS)
15	13.653	179617	0.06	50736	0.28	2-Hexanone (CAS)
16	13.806	200803	0.07	34905	0.20	2-Hexanol (CAS)
17	14.114	206148	0.07	45248	0.25	Acetic acid, butyl ester
18	15.415	301489	0.10	80122	0.45	Ethylbenzene
19	15.549	611223	0.20	163578	0.92	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
20	16.063	223899	0.07	51653	0.29	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
21	21.072	1688705	0.56	152116	0.85	Acetic acid, 1-[2-(2,2,6-trimethyl-bicyclo[4.1.
22	21.421	675818	0.22	72454	0.41	Acetic acid, 1-[2-(2,2,6-trimethyl-bicyclo[4.1.
23	22.665	1621904	0.53	140042	0.79	9,19-Cyclolanostan-3-ol, acetate, (3.beta.)-(C
24	23.874	7197253	2.37	727984	4.08	NEROLIDOL-EPOXYACETATE
25	24.297	470361	0.15	55187	0.31	4-(2,2-Dimethyl-6-methylenecyclohexylidene)
26	26.081	7046312	2.32	637144	3.57	Cyclohexanol, 2-methyl-3-(1-methylethenyl)-,
27	26.335	9104305	2.99	1550312	8.70	Diethyl Phthalate
28	27.318	556272	0.18	46107	0.26	3-Buten-2-one, 4-(3-hydroxy-6,6-dimethyl-2-
		304248906	100.00	17827314	100.00	

Muestra 1.2



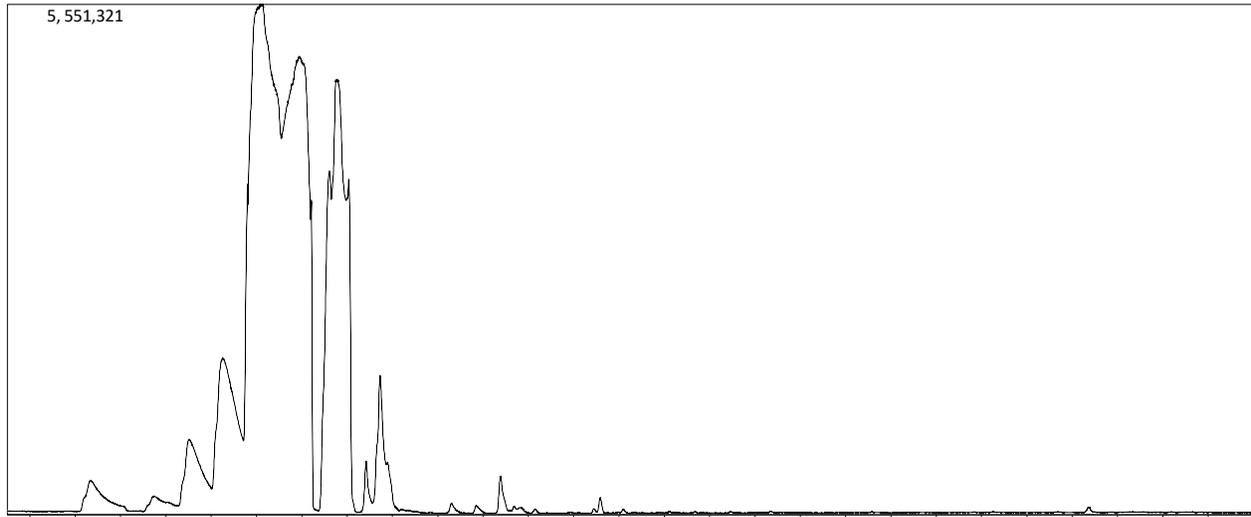
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	4.322	7122119	4.22	256916	2.02	Carbon dioxide (CAS)
2	6.487	13452879	7.97	641107	5.03	Pentane (CAS)
3	7.249	27336181	16.19	1187516	9.32	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
4	7.771	2636517	1.56	563529	4.42	Aziridine (CAS)
5	8.069	50251647	29.75	1822910	14.30	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
6	8.970	35781293	21.19	1442613	11.32	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
7	9.194	-417740	-0.25	637870	5.00	Hexane (CAS)
8	9.590	3957696	2.34	731404	5.74	2-Acetoxyethyl trimethyl acetate
9	9.745	12216926	7.23	1177841	9.24	1-Hexene (CAS)
10	10.000	2507496	1.48	1224482	9.61	Cyclopentane, methyl- (CAS)
11	10.402	3015199	1.79	704512	5.53	Pentane, 3,3-dimethyl- (CAS)
12	10.665	314886	0.19	0	0.00	Ethanone, 1-(3-ethyloxiranyl)- (CAS)
13	10.713	3168709	1.88	838573	6.58	Cyclohexane (CAS)
14	10.879	175600	0.10	168176	1.32	Hexane, 3-methyl-
15	12.275	990799	0.59	153368	1.20	2-Pentanol, 2-methyl- (CAS)
16	12.826	883345	0.52	124245	0.97	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
17	13.359	2897308	1.72	477671	3.75	Benzene, methyl- (CAS)
18	13.661	124297	0.07	50029	0.39	2-Hexanone (CAS)
19	13.795	221364	0.13	29523	0.23	Methyl 2(Z)-Hexenyl Ether
20	14.118	179799	0.11	40739	0.32	Acetic acid, butyl ester
21	15.422	244755	0.14	66226	0.52	Ethylbenzene
22	15.562	762440	0.45	197048	1.55	Benzene, 1,4-dimethyl- (CAS)
23	16.068	258413	0.15	57481	0.45	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
24	17.666	90063	0.05	18264	0.14	BICYCLO[3.1.1]HEPTANE, 6,6-DIMETHY
25	18.077	247839	0.15	41521	0.33	2-Hexadecen-1-ol, 3,7,11,15-tetramethyl-, [R-
26	18.443	48047	0.03	14069	0.11	5-Hexen-2-one (CAS)
27	26.343	416984	0.25	79833	0.63	Diethyl Phthalate
		168884861	100.00	12747466	100.00	

Muestra 1.3



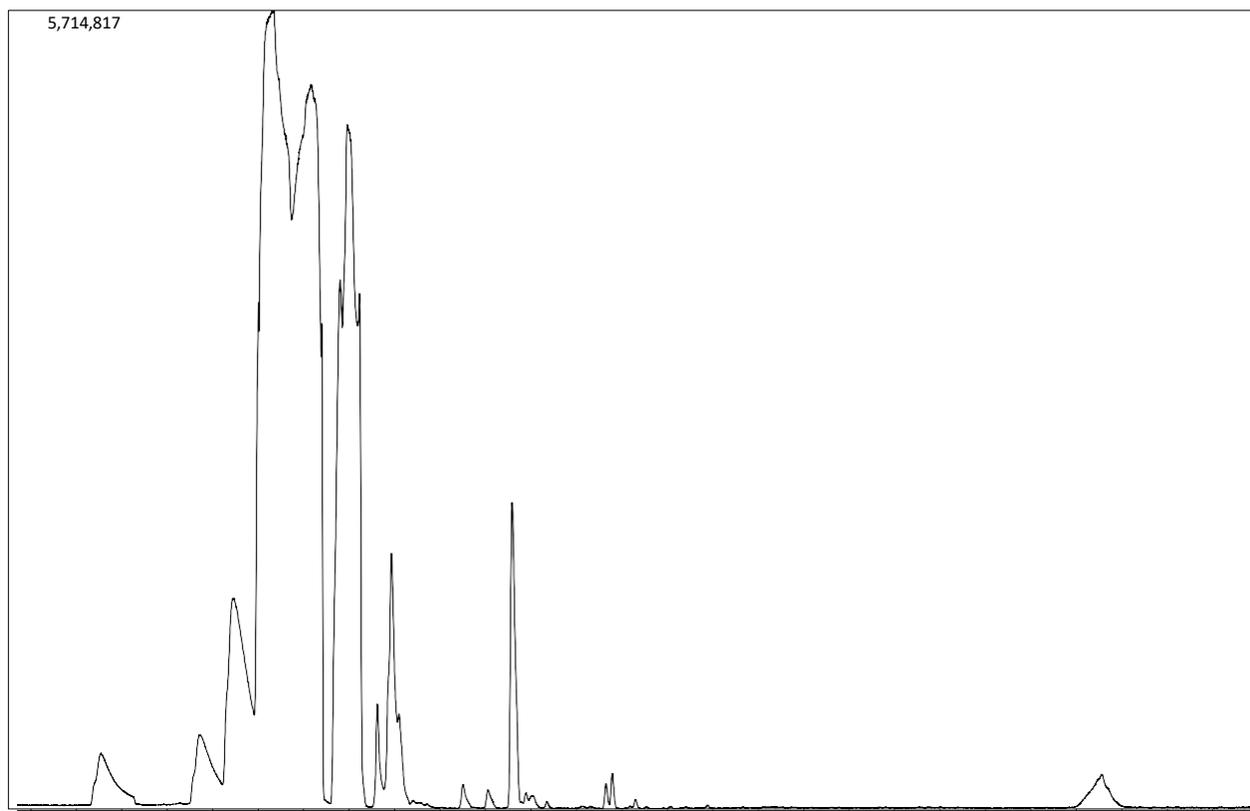
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	4.184	276698	0.19	51308	0.43	Carbon dioxide (CAS)
2	4.335	2187398	1.52	134692	1.13	Carbon dioxide (CAS)
3	6.353	434612	0.30	115559	0.97	Pentane (CAS)
4	6.501	7508213	5.23	460858	3.86	Pentane (CAS)
5	7.232	14445016	10.06	803398	6.73	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
6	7.761	2982045	2.08	713251	5.98	Aziridine (CAS)
7	8.076	45169795	31.46	1682998	14.11	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
8	8.960	36097968	25.14	1437873	12.05	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
9	9.579	3179255	2.21	685820	5.75	2-Acetoxyethyl trimethyl acetate
10	9.740	14317949	9.97	1301298	10.91	Cyclopropane, 1,2,3-trimethyl-
11	9.974	2002587	1.39	1033651	8.66	Cyclopentane, methyl- (CAS)
12	10.396	3150021	2.19	745457	6.25	Pentane, 3,3-dimethyl-
13	10.633	272878	0.19	208800	1.75	Hexane, 2-methyl- (CAS)
14	10.704	3940523	2.74	1003804	8.41	Cyclohexane (CAS)
15	10.869	330785	0.23	199027	1.67	Hexane, 3-methyl-
16	12.266	869331	0.61	136269	1.14	2-Pentanol, 2-methyl-
17	12.816	751988	0.52	102267	0.86	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
18	13.346	2716580	1.89	471003	3.95	Benzene, methyl- (CAS)
19	14.105	225854	0.16	52069	0.44	Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS)
20	15.406	253321	0.18	68055	0.57	Ethylbenzene
21	15.547	842872	0.59	205961	1.73	Benzene, 1,4-dimethyl- (CAS)
22	16.056	223335	0.16	55657	0.47	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
23	26.326	1386442	0.97	260879	2.19	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester (C
		143565466	100.00	11929954	100.00	

Muestra 2.1



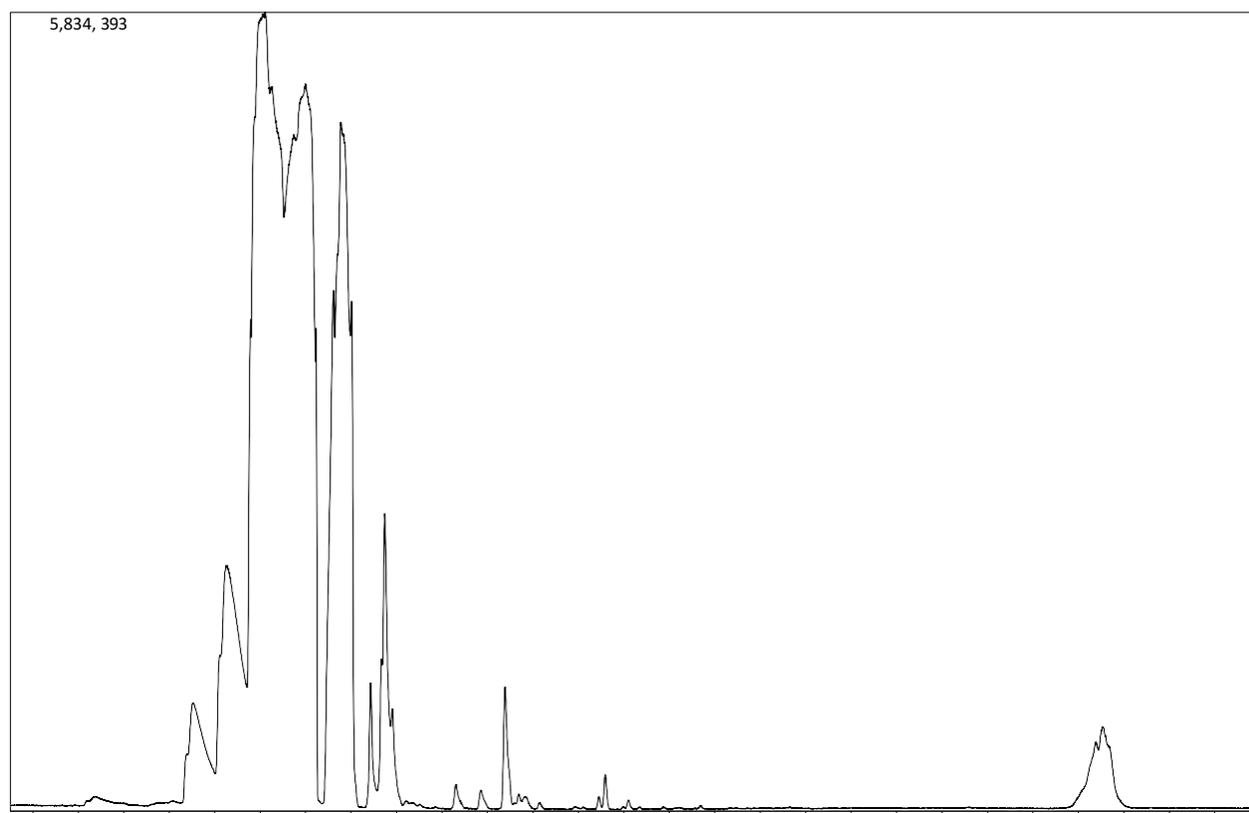
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	4.326	8964472	6.25	330914	2.86	Carbon dioxide (CAS)
2	5.711	2968986	2.07	148236	1.28	ETHANOL
3	6.492	7283611	5.07	416415	3.60	Pentane (CAS)
4	7.232	11008959	7.67	586382	5.07	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
5	7.785	2116709	1.47	547644	4.74	Aziridine (CAS)
6	8.110	43077463	30.01	1614688	13.96	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
7	8.927	32901635	22.92	1387877	12.00	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
8	9.187	115316	0.08	768404	6.64	n-Hexane
9	9.591	7891788	5.50	863281	7.46	2-Acetoxyethyl trimethyl acetate
10	9.750	11125643	7.75	1198315	10.36	FURAN, TETRAHYDRO-3-METHYL-4-ME
11	10.016	6464940	4.50	1695924	14.66	Cyclopentane, methyl-
12	10.396	2278465	1.59	488271	4.22	Pentane, 3,3-dimethyl- (CAS)
13	10.706	1914682	1.33	502585	4.35	CYCLOHEXANE
14	10.870	10275	0.01	85500	0.74	HEPTANE, 3,3,4-TRIMETHYL-
15	12.277	837815	0.58	110924	0.96	2-Pentanol, 2-methyl- (CAS)
16	12.830	581913	0.41	82220	0.71	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
17	13.361	2492110	1.74	394137	3.41	Benzene, methyl- (CAS)
18	14.125	215246	0.15	44709	0.39	Cyclotrisiloxane, hexamethyl- (CAS)
19	15.420	160783	0.11	43073	0.37	Ethylbenzene
20	15.562	674590	0.47	161073	1.39	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
21	16.069	138493	0.10	37774	0.33	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
22	26.331	306268	0.21	56698	0.49	Diethyl Phthalate
		143530162	100.00	11565044	100.00	

Muestra 2.2



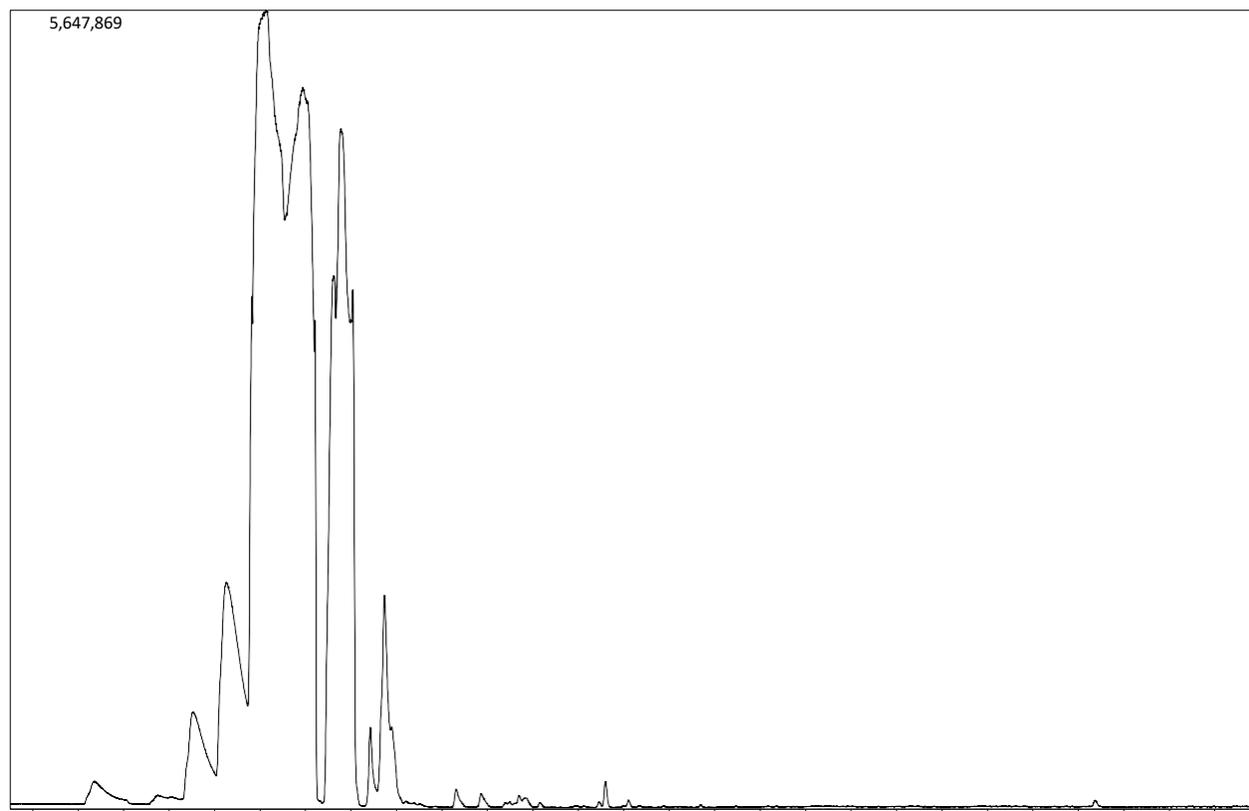
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	4.322	9803465	5.13	365535	2.58	Carbon dioxide (CAS)
2	6.505	9063166	4.75	437478	3.09	Pentane (CAS)
3	7.231	24154293	12.65	1112289	7.84	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
4	7.789	2480211	1.30	527710	3.72	BUTANE, 2,3-DIMETHYL-
5	8.085	48233589	25.26	1779542	12.55	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
6	8.951	38248405	20.03	1590219	11.21	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
7	9.584	8898883	4.66	1013907	7.15	2-Acetoxyethyl trimethyl acetate
8	9.742	13991917	7.33	1363758	9.62	FURAN, TETRAHYDRO-3-METHYL-4-ME
9	10.007	3554651	1.86	1272394	8.97	Cyclopentane, methyl- (CAS)
10	10.402	2860643	1.50	645469	4.55	Pentane, 3,3-dimethyl- (CAS)
11	10.712	3893651	2.04	817325	5.76	Cyclohexane (CAS)
12	12.285	1173498	0.61	167284	1.18	2-Pentanol, 2-methyl- (CAS)
13	12.838	958427	0.50	130808	0.92	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
14	13.366	15326074	8.03	2164959	15.27	Benzene, methyl- (CAS)
15	13.673	207771	0.11	59624	0.42	2-Hexanone (CAS)
16	13.821	338329	0.18	51745	0.36	1-Pentanol, 5-methoxy-
17	15.427	654218	0.34	163397	1.15	Ethylbenzene
18	15.566	857923	0.45	224346	1.58	Benzene, 1,4-dimethyl- (CAS)
19	16.079	224156	0.12	57394	0.40	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
20	26.320	6027814	3.16	234607	1.65	Bis(2-ethylhexyl) phthalate
		190951084	100.00	14179790	100.00	

Muestra 2.3



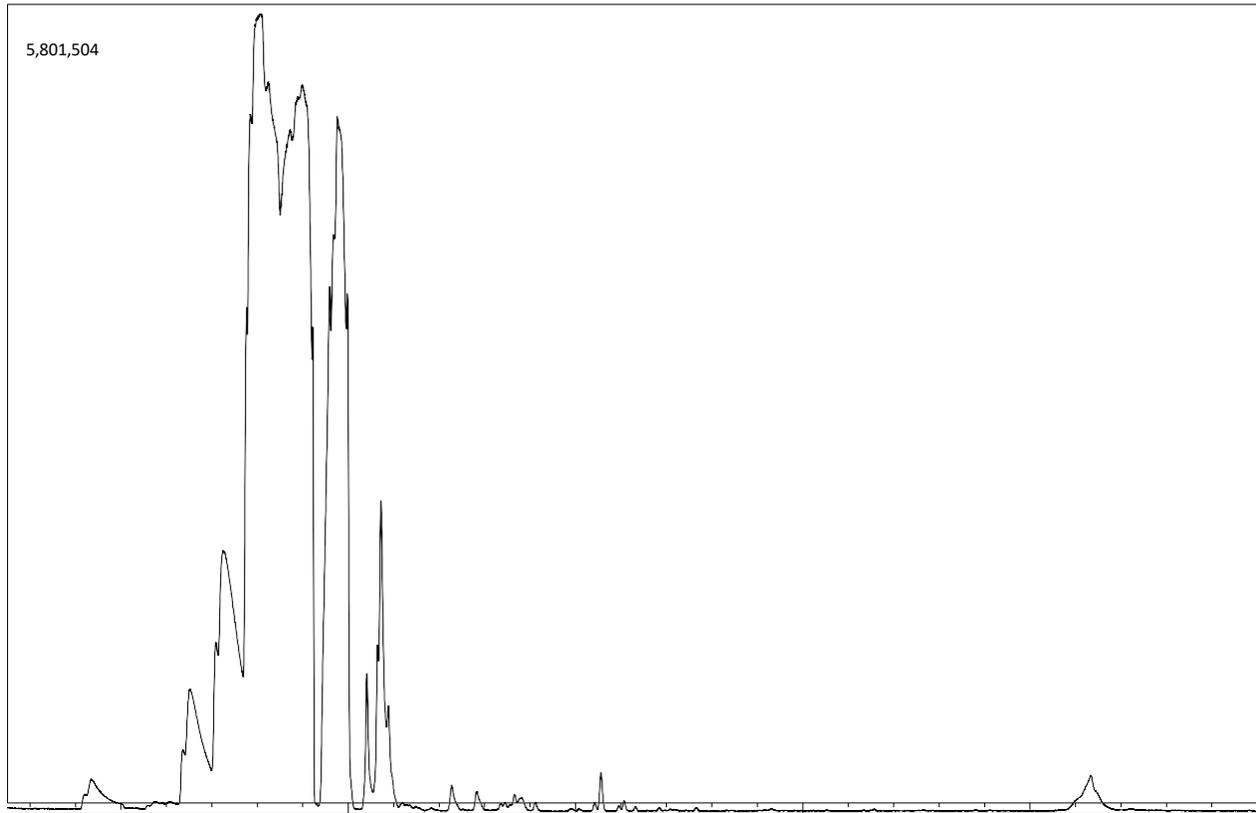
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	6.509	6072919	3.44	373760	2.69	Pentane (CAS)
2	7.248	11736399	6.65	683671	4.93	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
3	7.772	2760768	1.56	518119	3.74	Aziridine (CAS)
4	8.085	53969498	30.58	1916625	13.82	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
5	8.975	42292801	23.96	1667336	12.02	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
6	9.205	118129	0.07	523839	3.78	n-Hexane
7	9.589	5451138	3.09	818676	5.90	2-Acetoxyethyl trimethyl acetate
8	9.749	16286042	9.23	1456928	10.50	1-Hexene
9	9.987	2828472	1.60	1315648	9.48	Cyclopentane, methyl- (CAS)
10	10.407	2817903	1.60	772439	5.57	Pentane, 3,3-dimethyl-
11	10.646	456799	0.26	235331	1.70	Hexane, 2-methyl- (CAS)
12	10.718	4525559	2.56	1140226	8.22	Cyclohexane (CAS)
13	10.882	338710	0.19	225312	1.62	Hexane, 3-methyl-
14	12.281	1127789	0.64	174945	1.26	2-Pentanol, 2-methyl-
15	12.828	819609	0.46	126727	0.91	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
16	13.362	5208707	2.95	870812	6.28	Benzene, methyl- (CAS)
17	13.665	875236	0.50	77913	0.56	2-Hexanone (CAS)
18	14.116	217863	0.12	45378	0.33	Acetic acid, butyl ester
19	15.428	320955	0.18	83458	0.60	Benzene, ethyl- (CAS)
20	15.564	1011794	0.57	243606	1.76	Benzene, 1,4-dimethyl- (CAS)
21	17.662	52795	0.03	18962	0.14	.beta.-Pinene
22	26.497	17206702	9.75	581240	4.19	1,2-Benzenedicarboxylic acid, bis(2-ethylhexy
		176496587	100.00	13870951	100.00	

Muestra 3.1



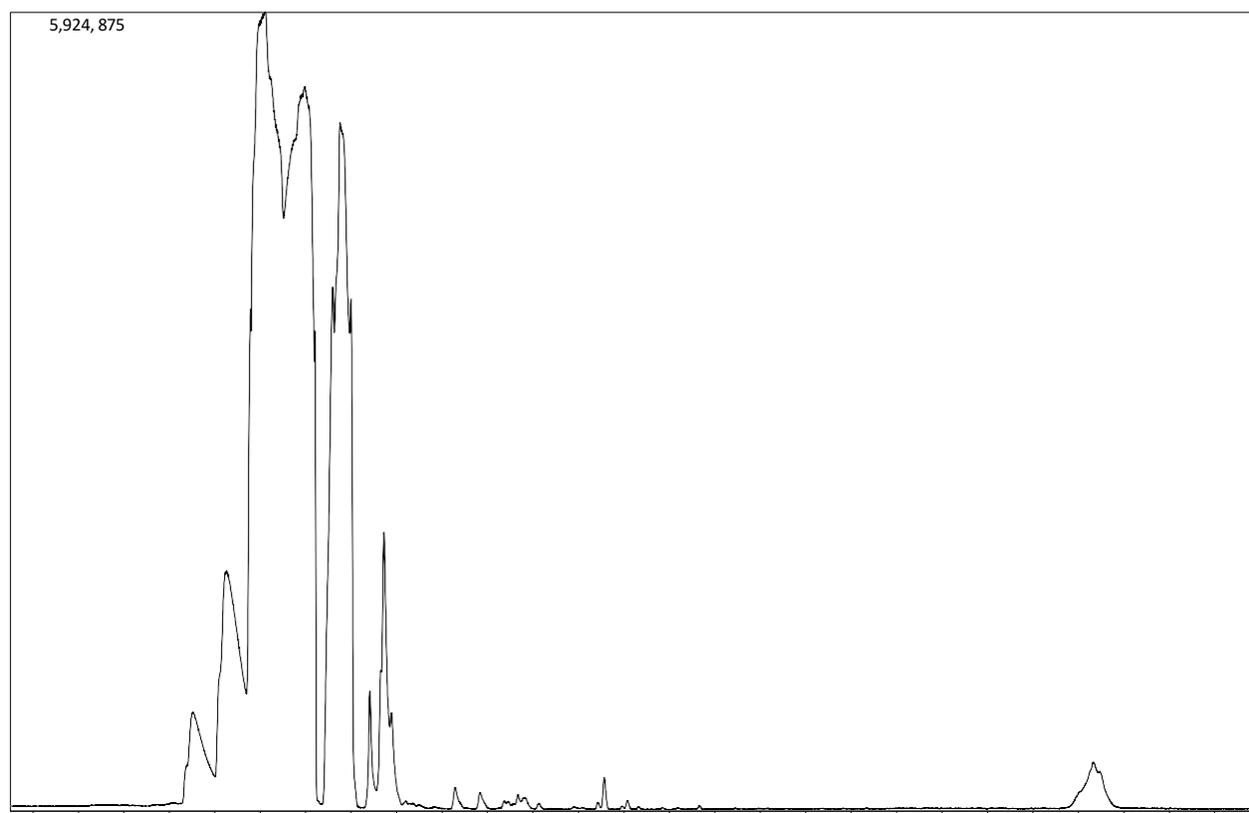
Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	4.330	4420251	2.62	163034	1.40	Carbon dioxide (CAS)
2	5.734	1001401	0.59	51948	0.45	Methane, oxybis- (CAS)
3	6.495	12180467	7.21	568828	4.90	Pentane (CAS)
4	7.240	21814986	12.91	1117929	9.62	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
5	7.798	2673649	1.58	549932	4.73	BUTANE, 2,3-DIMETHYL-
6	8.110	51080143	30.24	1845693	15.89	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
7	8.915	35131568	20.80	1478505	12.73	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
8	9.599	10432174	6.18	901794	7.76	2-Acetoxyethyl trimethyl acetate
9	9.758	11981300	7.09	1277377	11.00	Cyclopropane, 1,2,3-trimethyl-
10	10.014	4627363	2.74	1494821	12.87	Cyclopentane, methyl-
11	10.399	2114477	1.25	464401	4.00	Pentane, 3,3-dimethyl-
12	10.711	7092199	4.20	1064011	9.16	Cyclohexane
13	12.287	861047	0.51	125437	1.08	2-Pentanol, 2-methyl- (CAS)
14	12.837	681717	0.40	94875	0.82	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
15	13.675	1420772	0.84	81416	0.70	2-Hexanone (CAS)
16	14.131	146905	0.09	34749	0.30	Acetic acid, butyl ester
17	15.434	140744	0.08	35887	0.31	Ethylbenzene
18	15.569	746912	0.44	176950	1.52	Benzene, 1,4-dimethyl- (CAS)
19	16.075	200898	0.12	48960	0.42	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
20	26.341	193095	0.11	41121	0.35	1,2-Benzenedicarboxylic acid, diethyl ester (C
		168942068	100.00	11617668	100.00	

Muestra 3.2



Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	4.336	5338863	3.12	212292	1.79	Carbon dioxide (CAS)
2	5.731	909476	0.53	41084	0.35	Ethanol (CAS)
3	6.345	778592	0.46	168527	1.42	Pentane (CAS)
4	6.504	7402030	4.33	459322	3.87	Pentane (CAS)
5	7.070	1872593	1.10	400597	3.38	Butane, 2,2-dimethyl-
6	7.220	13432665	7.86	736594	6.21	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
7	7.750	2150271	1.26	452278	3.82	Aziridine (CAS)
8	8.035	56356053	32.96	2002584	16.89	PENTANE, 2-METHYL-
9	8.974	41197922	24.09	1596663	13.47	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
10	9.576	4207656	2.46	651580	5.50	2-Acetoxyethyl trimethyl acetate
11	9.738	17385467	10.17	1490824	12.58	1-Hexene (CAS)
12	10.390	3817904	2.23	913752	7.71	Pentane, 3,3-dimethyl-
13	10.626	862120	0.50	367526	3.10	Hexane, 2-methyl- (CAS)
14	10.700	4472162	2.62	1189213	10.03	Cyclohexane (CAS)
15	12.256	1171678	0.69	183451	1.55	2-Pentanol, 2-methyl-
16	12.805	912320	0.53	135815	1.15	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
17	13.433	293293	0.17	36626	0.31	6-Hydroxy-2-hexanone
18	13.635	1225591	0.72	99714	0.84	2-Hexanone
19	14.099	278540	0.16	60231	0.51	Acetic acid, butyl ester
20	15.399	154673	0.09	50071	0.42	Ethylbenzene
21	15.537	901255	0.53	246168	2.08	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
22	16.045	430699	0.25	75260	0.63	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
23	16.294	140183	0.08	35876	0.30	2-Butanone (CAS)
24	26.309	5296331	3.10	247857	2.09	1,2-Benzenedicarboxylic acid, mono(2-ethylhe
		170988337	100.00	11853905	100.00	

Muestra 3.3



Peak#	R.Time	Area	Area%	Height	Height%	Name
1	6.509	12603610	7.09	603499	4.72	Pentane (CAS)
2	7.241	29176604	16.42	1299623	10.16	Butane, 2,2-dimethyl- (CAS)
3	7.767	2866847	1.61	565963	4.43	Aziridine (CAS)
4	8.075	47947402	26.98	1796434	14.05	ETHYNE, 1-DEUTERO-2-ETHOXY-
5	8.963	40655272	22.87	1663124	13.01	Pentane, 2,4-dimethyl- (CAS)
6	9.575	5827392	3.28	833103	6.51	2-Acetoxyethyl trimethyl acetate
7	9.735	15300895	8.61	1461268	11.43	1-Hexene (CAS)
8	9.975	1687445	0.95	1275122	9.97	Cyclobutane, ethyl- (CAS)
9	10.390	3221828	1.81	773532	6.05	Pentane, 3,3-dimethyl-
10	10.631	285888	0.16	143060	1.12	Hexane, 2-methyl- (CAS)
11	10.699	4518357	2.54	1074617	8.40	Cyclohexane (CAS)
12	10.867	114341	0.06	199279	1.56	Hexane, 3-methyl-
13	12.264	1077642	0.61	160109	1.25	2-Pentanol, 2-methyl- (CAS)
14	12.810	857302	0.48	119942	0.94	3-Pentanol, 3-methyl- (CAS)
15	13.343	278638	0.16	42431	0.33	Benzene, methyl- (CAS)
16	13.647	843483	0.47	72849	0.57	2-Hexanone (CAS)
17	15.408	172734	0.10	46432	0.36	Ethylbenzene
18	15.543	949955	0.53	226906	1.77	Benzene, 1,2-dimethyl- (CAS)
19	15.934	54906	0.03	18775	0.15	CH3CH(OH)CH2C(O)CH3
20	16.051	212586	0.12	55235	0.43	
21	17.631	77451	0.04	22569	0.18	.beta.-Pinene
22	26.311	9007496	5.07	334409	2.61	Bis(2-ethylhexyl) phthalate
		177738074	100.00	12788281	100.00	

Anexo O. Cálculos para determinar las cantidades de gas y residuos necesarios para satisfacer las necesidades de la hipótesis

$$\frac{0.077kWh}{mes} \times \frac{3,56242 \times 10^{-7}kg CH_4/mes}{4,95 \times 10^{-6}/mes} = 0,0055 kg/mes$$

Para suplir el consumo del 70% de GLP se requiere una producción mensual de 5,5 g de biogás.