

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Departamento de Ambiente y Desarrollo
Ingeniería en Ambiente y Desarrollo



Proyecto Especial de Graduación
**Evaluación de los beneficios derivados de la
implementación de un sistema de digestión anaerobia para el
tratamiento de residuos de alimentos generados en el hogar:
El caso de la Finca Agroecológica de Zamorano.**

Estudiante

Rose-Berdine Scheska Villier

Asesores

Victoria Alejandra Cortes Matamoros, D.C.A.

Jacob Rodelvi Vásquez López, Mtr.

José Fernando Tercero, M.Sc.

Honduras, agosto 2021

Autoridades

TANYA MÜLLER GARCÍA

Rectora

ANA MARGARITA MAIER ACOSTA

Decana Académica

ERIKA TENORIO MONCADA

Directora Departamento de Ambiente y Desarrollo

HUGO ZAVALA MEMBREÑO

Secretario General

Agradecimientos

Agradezco a la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) por haber financiado este proyecto, permitiendo así el desarrollo de la presente investigación.

Agradezco a mis asesores, la Dra. Victoria Alejandra Cortes Matamoros, al Ing. Jacob Rodelvi Vásquez López y al Ing. José Fernando Tercero, por haberme brindado su apoyo durante todo el proceso.

Finalmente, agradezco a la familia de la finca agroecológica, particularmente a la señora Lourdes Argentina Suazo Rivera y el señor Irvin David Diaz Reyes, quienes me apoyaron en la toma de datos y compartieron su experiencia personal durante el proceso de implementación, aceptación y adopción de la tecnología.

Contenido

Agradecimientos	3
Índice de figuras.....	6
Índice de Cuadros.....	7
Índice de Anexos	8
Resumen	9
Abstract.....	10
Introducción.....	11
Materiales y Métodos	17
Sitio de Estudio	17
Implementación del Biodigestor.....	17
Estimación de la Demanda Energética del Hogar para la Cocción de Alimentos	20
Cuantificación de la Tasa de Generación de Residuos Orgánicos.....	25
Documentación de Percepciones de la Usuaría sobre los Beneficios Derivados de la Implementación del Sistema "HomeBiogas".....	25
Resultados y Discusión.....	29
Estimación de la Demanda Energética del Hogar para la Cocción de Alimentos	29
Consumo de Leña Percápita Dentro del Hogar, antes del Uso de Biogás	29
Consumo Energético "Percápita" dentro del Hogar previo a Implementación de Biogás	30

Generación de Residuos Orgánicos con Potencial de Incorporación en el Proceso de Digestión Anaerobia.....	31
Cuantificación de los Residuos y Estimación de la Tasa de Generación.....	32
Documentación de Percepciones de la Usuaría sobre los Beneficios Derivados de la Implementación del Sistema "HomeBiogas".....	34
Reducción del Consumo de Leña.....	34
Optimización del Tiempo en Actividades Domésticas.....	36
Consumo Diario Percápita de Biogás.....	37
Demanda Energética Diaria al Implementar Biogás.....	38
Adaptación a la Tecnología y Sensibilización al Cuidado del Medio Ambiente.....	39
Conclusiones.....	42
Recomendaciones.....	43
Referencias.....	44
Anexos.....	50

Índice de figuras

Figura 1 Comparación del consumo de leña antes y después del uso del biogás dentro del hogar ...35

Índice de Cuadros

Cuadro 1 Descripción del cronograma sobre la implementación del biodigestor	20
Cuadro 2 Factor equivalente definido según el sexo y la edad	24
Cuadro 3 Consumo de leña per cápita por día en el hogar	30
Cuadro 4 Consumo energético para la cocción de los alimentos en el hogar.....	31
Cuadro 5 Caracterización cualitativa de los residuos recolectados dentro del hogar	32
Cuadro 6 Peso de los restos alimenticios producidos en el hogar	34
Cuadro 7 Consumo de leña per cápita después del uso de biogás dentro del hogar	35
Cuadro 9 Consumo de biogás dentro del hogar	37
Cuadro 10 Consumo energético por persona por día dentro del hogar	38

Índice de Anexos

Anexo A Entrevista sobre la adaptación al biodigestor y a la estufa de biogás.....	50
Anexo B Formato para registro de generación de residuos	56
Anexo C Formato para el peso de leña	57
Anexo D Temperatura y humedad relativa de Santa Rosa : POWERNASA.....	58
Anexo E Generación de residuos alimenticios dentro del hogar	59
Anexo F Estandarización de las personas que consumieron comida en el hogar	60

Resumen

La implementación biodigestores domésticos, representa una alternativa para impulsar la cocción limpia particularmente en zonas rurales, contribuyendo a la reducción del consumo de leña. Durante este estudio, se implementó un biodigestor fabricado por la empresa HomeBiogas, que fué operado con los residuos de alimentos generados dentro del hogar ubicado en la finca agroecológica de Zamorano. Se analizaron las percepciones de la usuaria sobre los beneficios derivados de la implementación de esta tecnología. Se cuantificó la reducción del consumo de leña y energía como resultado de la integración del biogás en las labores rutinarias de cocción. Se estimó la tasa de generación de residuos de alimentos, concluyendo en la necesidad de incorporar una codigestión con estiércol de vaca para incrementar la producción de biogás y satisfacer las necesidades energéticas. Se monitoreó el consumo diario de biogás, obteniendo una demanda promedio de 1.91 m³. La reducción del consumo de leña al implementar el biodigestor fue de 26.99%, lo que equivale a 0.83 kg de leña /persona/día. Se observó una reducción en el consumo energético que asciende a 12.21%, producto de la eficiencia energética de la tecnología de cocción. Finalmente, la usuaria manifestó que la reducción en el tiempo invertido para cocción de alimentos, recolección de leña y limpieza de la estufa mejorada son los principales beneficios percibidos. Además la sensibilización hacia el manejo apropiado de residuos orgánicos con beneficios ambientales para la familia.

Palabras clave: Biogás, codigestión, cocción limpia, energía renovable, tecnología apropiada.

Abstract

The implementation of domestic biodigesters represents an alternative to promote clean cooking, particularly in rural areas, contributing to the reduction of firewood consumption. During this study, a biodigester manufactured by HomeBiogas company was implemented, operated with food waste generated within the home located on the Zamorano agroecological farm. User perceptions about the benefits derived from the implementation of this technology were analyzed. The reduction in firewood and energy consumption as a result of the integration of biogas in routine cooking tasks was quantified. The rate of food waste generation was estimated, concluding in the need to incorporate a codigestion with cow manure to increase biogas production and satisfy energy needs. The daily consumption of biogas was monitored, obtaining an average demand of 1.91 m³. The reduction in firewood consumption when implementing the biodigester was 26.99%, which is equivalent to 0.83 kg of firewood / person / day. A reduction of 12.21% of the total energy consumption was observed, as a result of the energy efficiency of the cooking technology. Finally, the user of the technology stated that the reduction in the time spent cooking food, firewood collection and improved stove cleaning are the main benefits perceived. In addition, awareness towards the proper management of organic waste with environmental benefits for the family.

Keywords: appropriate technology, biogas, codigestion, clean cooking, renewable energy.

Introducción

El consumo energético mundial aumentará un 63% entre el 2015 y el 2040 de acuerdo con el Programa de las Naciones Unidas (PNUMA, 2019). Para América Latina se reporta que este consumo incrementará un promedio anual de 2.2%, como resultado del crecimiento poblacional y las actividades dentro del hogar (Banco Interamericano de desarrollo [BID], 2016). Existen diferentes sectores que contribuyen a esta demanda energética, sin embargo, para los países en vía de desarrollo, el consumo energético a nivel residencial se relaciona principalmente con la cocción de alimentos (Wolfram et al., 2012). A pesar del incremento en el uso de este recurso a nivel global, América Latina reporta una menor participación en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), un 5% del total de emisiones de GEI al nivel global (Ochoa, 2014).

Un estudio realizado por Rao y Pachuari (2017), analizó la relación entre el acceso a energía limpia y algunos indicadores de estándar de vida tal como el acceso a agua potable, instalaciones de saneamiento y tecnologías de cocción limpia en 68 países de las regiones de Asia Oriental y el Pacífico, Asia Meridional, América Latina y el Caribe, concluyendo que los países con menor ingreso per cápita cuentan con un limitado acceso a energía eléctrica y tecnologías de cocción limpias. En el caso de Honduras, el consumo de electricidad por el sector residencial representa el 12% de la matriz energética. Por otra parte, el consumo de leña es el principal recurso que suplende las necesidades energéticas de los hogares, representando un 85% del total de energía demandado a nivel residencial, requerido principalmente para la cocción de los alimentos en las estufas mejoradas y tradicionales (Salgado et al., 2018).

El Instituto de investigación para Ambiente y Energía Qatar (QEERI) realiza el monitoreo de los impactos negativos de todo producto o proceso sobre tres sistemas: agua, energía y alimentos (Daher y Mohtar, 2015). Una investigación realizada por Slorach et al. (2020), analizaron esta interrelación mediante un análisis de ciclo de vida, ilustrando la codependencia de estas variables con la salud humana a través de cuatro opciones utilizadas para el manejo de residuos orgánicos: La

digestión anaeróbica, la incineración, el compostaje y el vertedero. Se observó que la digestión anaeróbica tiene un menor impacto negativo, y por ende, contribuye a un mejor acceso a la energía, el agua, los alimentos y la salud.

La digestión anaeróbica se presenta como una alternativa para la producción de biogás a partir de materia orgánica utilizando biodigestores. Adicionalmente, esta tecnología tiene la capacidad de generar subproductos como el biol (Amir et al., 2016). Este es la fracción líquida del proceso es un biofertilizante presentado como un efluente, que facilita la disponibilidad de los nutrientes en el suelo para el mantenimiento de cultivos (Cano-Hernández et al., 2016).

La digestión anaeróbica se divide en cuatro fases: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. En cada una de estas etapas se descompone la materia orgánica a través de un consorcio de microorganismos hasta obtener biogás (Raja y Wazir, 2017). Esta fracción gaseosa se compone de 50 a 75% de metano (CH_4), 25 a 50 % de dióxido de carbono (CO_2) y 15% de gases trazas como el ácido sulfhídrico (H_2S), amoníaco (NH_3) y vapor de agua (H_2O) (Garfí et al., 2016). El biogás se considera una energía limpia pero con menor poder calorífico que el gas natural, característica asociada a su contenido de metano (Bharathiraja et al., 2018). Su implementación a diferentes escalas contribuye en el alcance del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 7, que promueve la energía asequible y limpia (Sahota et al., 2018). Este recurso se presenta como un sustituto para suplir las necesidades energéticas dentro del hogar, teniendo el potencial para reemplazar el consumo de leña en la cocción de alimentos (Rajendran et al., 2012). De acuerdo a un estudio comparativo sobre tecnologías de cocción realizado por Romo-Rábago et al. (2018), las estufas operadas con biogás reportan una eficiencia de 60% frente a las estufas tradicionales operadas con leña que cuentan una eficiencia aproximada del 15%.

Los restos alimenticios, presentes en el hogar son una alternativa para la producción de energía. Se constituyen de carbohidratos, proteínas, lípidos y ácidos orgánicos con un potencial de producción de metano entre 346 – 551.4 mL/g de Sólidos Volátiles (SV), lo que supera a otros sustratos

orgánicos como el estiércol vacuno (Pramanik et al., 2019). Según Li et al. (2017), para asegurar la estabilidad del sistema anaeróbico debe existir una concentración de carbohidratos superior a 8.3%, proteínas inferiores a 5% y lípidos inferiores a 5.6%. Estos componentes pueden ser obtenidos a partir de los residuos de alimentos, sin embargo la composición de estos puede variar conforme a la fuente de generación (Leung y Wang, 2016).

Durante el proceso de digestión anaerobia, los carbohidratos y proteínas, se hidrolizan rápidamente por su alta degradabilidad (Meng et al., 2015). Al tener un contenido alto en proteína, se aumenta el nivel de amonio, lo que es tóxico por los microorganismos. Por otro lado, el alto contenido en carbohidratos afecta la relación de Carbono /Nitrógeno (C/N), que provoca la limitación de los nutrientes y la acidificación del sistema. Finalmente, el contenido de lípidos en el residuo puede contribuir al incremento del potencial de producción de metano (Yangyang Li et al., 2017). Un estudio en California, demostró que una codigestión con grasas y aceites, en un digestor anaeróbico de lodos de aguas residuales y residuos alimenticios, aumentó la producción de biogás en un 33% (Kuo y Dow, 2017). Sin embargo, un alto porcentaje de lípidos, provoca la acumulación de largas cadenas de ácidos grasos, que inhibe la digestión anaeróbica (Leung y Wang, 2016). Según Cirne et al. (2007), está inhibición inicia cuando el residuo reporta un contenido de 31% de lípidos en su composición.

La generación de residuos alimenticios dentro de un hogar no es suficiente para suplir la totalidad de su demanda energética. Durante un estudio efectuado en África sobre el consumo doméstico de biogás para el reemplazo de leña dentro de 85 hogares, reportó que se necesita por lo menos 2,500 L/día de biogás en cada hogar para cocinar. Para asegurar este volumen diario, el estudio resalta la importancia de alimentar el biodigestor con 13 kg/día de residuos alimenticios, sin embargo, en un hogar promedio de la región, se estima una producción de residuos alimenticios de 270 g/día. Como alternativa para suplir la demanda energética de los hogares, se implementó un biodigestor comunitario, alimentado de los residuos de alimentos en codigestión con estiércol de vaca y excrementos humanos. Al suplir de forma continua los hogares con el biogás, se obtuvo una reducción

promedio de 50% del consumo de leña manteniendo el uso de la estufa tradicional (Msibi y Kornelius, 2017).

De igual manera, un estudio realizado por Bedi et al. (2015), analizaron el impacto de la implementación de biodigestores en hogares donde predominaba el consumo de leña. A partir de una muestra de 189 hogares, en donde los habitantes contaban con al menos tres vacas, se distribuyeron digestores con una capacidad de 4, 6, 8 y 10 m³ conforme a disponibilidad del residuo. Entre los resultados obtenidos se reportó una reducción de leña de 34%. Además, permitió una reducción de 31-32% del gasto energético anual. Por otro lado, se reportó una diferencia estadística en la reducción del tiempo de cocción con el biogás alcanzando un 18%.

Esta reducción de leña proporcionada por el uso del biogás mejora la calidad de vida de los usuarios, ya que permite crear una sinergia con el mejoramiento de la salud humana, su nutrición y mitigar el calentamiento global (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2019). En un estudio desarrollado en Nepal, se implementó un biodigestor en 461 hogares que utilizan la leña como primer combustible de cocción, para analizar los diferentes impactos. Entre los resultados obtenidos se reporta una reducción de 24% en enfermedades respiratorias de las usuarias. Además, 42% de los hogares reportaron un aumento de su productividad agrícola después del uso del biol (Katuwal y Bohara, 2009). Por otro lado, contribuye a la salud humana, mejorando el manejo de los desechos orgánicos generados, cumpliendo con el ODS 12 que busca reducir la generación de los desechos, y el ODS 11 que busca reducir el impacto negativo de estos desechos sobre las ciudades (Amegah y Jaakkola, 2016).

El biogás permite reducir el costo económico relacionado a otros combustibles (Taramona Ruiz et al., 2017). En las zonas rurales, provee un ahorro en el tiempo invertido en la recolección de leña, y facilita las labores cotidianas que se podría emprender, lo que se relaciona con el ODS 3, que impulsa el bienestar de la población (Arreh, 2015). Además, representa una herramienta para mitigar

el cambio climático, ya que al reducir el consumo de energía y combustibles, también se disminuye la generación de las emisiones de GEI, contribuyendo al ODS 13 (Morales-Polo et al., 2021).

Un estudio realizado en el departamento de Cajamarca de Perú, donde se implementaron biodigestores con una producción diaria de 0.53 m³ en 12 hogares, reportó una reducción de 50% de los GEI. Además, se registró a una reducción de las emisiones de los gases perjudiciales, dentro el hogar asociados al consumo de leña, tal como el material particulado (PM_{2.5}), el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de azufre (SO₂). Se alcanzó una reducción de hasta 60% para el material particulado (Garfí et al., 2012).

El biogás representa una herramienta para contrarrestar la presión negativa, del consumo de leña sobre el recurso forestal, en particular la deforestación. En una comunidad de 4.6 millones de hogares en China, donde existe una dependencia de la leña, Romo-Rábago et al. (2018) se proyectó que la implementación de biodigestores domésticos podría contribuir a la reducción de la deforestación de 8.3 ton/año de árboles. En el caso del departamento de Cajarma en Perú, se observó una reducción del consumo de leña de 53%, lo que corresponde a un descenso de la deforestación en 1.88 ton/año (Garfí et al., 2012).

La introducción de esta tecnología en los hogares, cumple con los principios de la economía circular, la cual busca alternativas al modelo lineal predominante donde todo lo fabricado tiene una vida útil que termina siendo desechado y saliendo del ciclo productivo (Fagerström et al., 2019). La economía circular (EC) se enmarca en los principios de la eliminación de los residuos y contaminación a lo largo del ciclo de vida del producto o proceso. Además, propone alternativas para reincorporar los productos y materiales en lugar de desecharlos, y finalmente, se trabaja en alternativas para regenerar los sistemas naturales. Cada uno de estos, se enfoca en el alcance de un sistema más amigable al medio ambiente mediante la valorización de los residuos, impulsando su reincorporación en el proceso productivo (Ellen MacArthur Foundation, 2019).

A pesar de los beneficios asociados a la implementación de biogás en los hogares, se identifican diversos desafíos que obstaculizan su adopción, entre ellos la carencia de políticas adecuadas, fondos, servicios técnicos y educación (Patinvoh y Taherzadeh, 2019). Uno de los principales factores de esta adopción es la percepción de los usuarios a la tecnología. (Ngcobo et al., 2020). De acuerdo con la investigación realizada por Aliaga (2006), se reporta que en Honduras se han hecho varios intentos de implementar biodigestores, pero con limitada aceptación en las zonas rurales, siendo el costo de implementación uno de los factores que influye en este proceso, requiriendo contar con subsidios para el acceso de esta tecnología en zonas rurales de América Latina. Por otra parte, existe el arraigo cultural a la leña, ya que esta representa el principal recurso energético debido a la disponibilidad y bajo costo.

Para el desarrollo de esta investigación se analizó el aporte de la implementación de un biodigestor a pequeña escala de la empresa HomeBiogás, para suplir la energía requerida en la cocción de alimentos de un hogar de cinco personas. Se busca analizar la dinámica familiar y los beneficios del biogás como alternativa de reducción de la leña. Estos resultados permitirán esclarecer algunos factores asociados con la problemática de la aceptación de los biodigestores en América Latina.

Para evaluar la viabilidad técnica de la implementación del sistema HomeBiogás como alternativa energética dentro del hogar, se plantean los siguientes objetivos: Estimar la demanda energética del hogar para la cocción de alimentos a partir del consumo de leña. Además, se cuantificó la producción de desechos de alimentos en el hogar con potencial de incorporación en el proceso de digestión anaerobia. Finalmente, se documentó las percepciones de la usuaria sobre los beneficios derivados de la implementación del sistema HomeBiogás dentro del hogar.

Materiales y Métodos

Sitio de Estudio

Esta investigación se llevó a cabo en la finca agroecológica de la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano (EAP), implementada en 2015 para fomentar una mejor gestión ambiental y enfrentar los desafíos del cambio climático. Cuenta con un área de 40 hectáreas y se ubica a 7 kilómetros central del campus de la EAP Zamorano, colindando con las comunidades de Santa Inés y de Santa Rosa. La finca cumple una labor demostrativa, para la enseñanza de prácticas agrícolas sostenibles (León Carvajal et al., 2019). Dentro de esta unidad se cuenta con la presencia de una familia compuesta de dos adultos y tres niños que habita de forma permanente y desarrollan las diferentes actividades de mantenimiento de la finca. El recurso energético utilizado para la cocción de alimentos en el hogar es la leña, contando con una estufa mejorada para este fin y manteniendo una dinámica de recolección de este recurso en los alrededores de la vivienda.

Para el desarrollo de la investigación se implementó un biodigestor doméstico prefabricado de la marca Homebiogás. Esta unidad cuenta con una cámara para almacenamiento de la fracción líquida de 1,200 L y un reservorio de biogás con capacidad de 800 L. Está diseñado para funcionar en temperatura ambiente superior a 20° C. Además, la bolsa es color negro para disminuir el albedo y facilitar la retención de la radiación solar para impulsar el incremento en la temperatura de la fracción líquida, necesaria para garantizar la actividad de los microorganismos. Los compartimientos están contruidos con una capa de polietileno de alta densidad (HDPE), y protección de los rayos ultravioleta para incrementar su vida útil (Gautam y Jha, 2020).

Implementación del Biodigestor

Para establecer el biodigestor HomeBiogas, es importante que el terreno sea plano, libre de materiales cortopunzante, piedras y ramas cercano al sitio de uso. Además, se estableció el biodigestor en un lugar que facilite el alcance del gas hasta la cocina. El área requerida para la instalación del sistema fue de 6.6 m². Previo a la ubicación de la unidad se cubrió el terreno con una

geomembrana como barrera de protección para el biodigestor. Para activar el sistema, se utilizó estiércol de vaca, por tratarse de un sustrato apropiado para la puesta en marcha de un sistema de digestión anaeróbica, ya que posee un gremio microbiano metanogénico necesario para producción de biogás. Además, posee calcio y magnesio, que son dos metales que le confieren alcalinidad, lo que es una condición favorable para este proceso (Yu Li et al., 2021).

Antes de activar el sistema con el estiércol, se tiene que llenar de agua la cámara de la fracción líquida hasta que aparezca un sello de agua en el orificio utilizado para la entrada de los sustratos, esto evitará la pérdida de gas del reservorio. La acumulación de biogás provoca una presión al interior de la cámara de los sustratos. Para asegurar una presión positiva que impulse el gas a través de la manguera hasta la estufa, el reservorio de biogás cuenta con ocho compartimientos que permiten introducir ocho bolsas de arena. Estas son distribuidas de manera uniforme, para asegurar una presión constante incluso con variaciones del volumen de gas en el reservorio (Gautam y Jha, 2020). Seguidamente, se realizó la mezcla de 100 L de estiércol y 100 L de agua como alimentación inicial del biodigestor, manteniendo una relación 1:2. Seguidamente, se sostuvo una alimentación de 40 L diarios de esta mezcla, manteniendo una dilución de 1:2 hasta alcanzar el volumen de 1200 L luego de 30 días de operación. Después de 13 días de completar el ciclo de llenado del digestor, se registró el inicio de la producción de biogás.

Al comenzar la producción de biogás, se instaló un filtro para la remoción de ácido sulfhídrico, con 700 g de carbón activado no impregnado (HomeBiogas, 2021). El carbón activado representa un adsorbente que tiene la capacidad de carga de 0.2 g/g (Abatzoglou y Boivin, 2009). Para asegurar una mayor eficiencia de remoción, se tiene que mantener el carbón activado alcalino, para la transformación del H_2S en Sulfuro elemental (S). Debido a su capacidad limitada de remoción no se puede regenerar y tiene una vida útil de 6 meses, requiriendo su cambio luego de concluir este periodo (HomeBiogas, 2021).

Al comenzar la producción de biogás, se mantuvo la alimentación durante dos semanas con tres Litros de residuos alimenticios. Al utilizar este sustrato se incrementa la producción de biogás, sin embargo, la tasa de generación puede ser inferior a la requerida para poder generar la cantidad de biogás necesaria para suplir la demanda energética dentro del hogar. Por esta razón, después de dos semanas, se inició el proceso de codigestión de los desperdicios de alimentos con estiércol de vaca. Para esto, en adición a los residuos de alimentos, se mantuvo la introducción de 45 L de estiércol de vaca, con una dilución de 1:3, (15 L de estiércol y 30 L de agua). En el Cuadro 1, se presenta un cronograma, del proceso de alimentación del biodigestor.

Cuadro 1*Cronograma de actividades para implementación del biodigestor*

Nombre de la actividad	Descripción	Fecha de Inicio	Duración en días	Fecha fin
Actividad 1	Establecimiento del biodigestor	15-mar	1	16-mar
Actividad 2	Inoculación del sistema, con 100 L de estiércol de vaca y 100 L de agua, con una dilución 1:2	16-mar	1	17-mar
Actividad 3	Inicio de la alimentación de 30 días, con 40 L de estiércol, manteniendo una dilución 1:2	17-mar	30	16-abr
Actividad 4	Primera producción de biogás	16-abr	13	29-abr
Actividad 5	Producción de biogás	29-abr	4	3-may
Actividad 6	Alimentación del biodigestor con 3 L de residuos alimenticios durante 2 semanas	3-may	14	17-may
Actividad 7	Codigestión, con 45 L de estiércol, manteniendo una dilución 1:3, con los residuos generados dentro del hogar	17-may	13	30-may
Actividad 8	Mayor producción de biogás y estabilización del sistema	30-may	1	31-may

Estimación de la Demanda Energética del Hogar para la Cocción de Alimentos

La demanda energética se obtiene a partir de la cuantificación del consumo de leña dentro del hogar. Se registró el consumo de leña semanal previo a la integración del biogás en la dinámica del hogar. Para esto se llenó un formulario (Anexo B) donde se registró el peso de la leña consumida

cada semana. Esta actividad se repitió desde el primer día de la investigación hasta la incorporación de la estufa de biogás dentro del hogar. Se utilizó una balanza digital modelo V22XWE15T para obtener el peso de la leña. Se almacenó la leña que se va a consumir durante la semana debajo de la estufa. Se pesó la leña durante el primer día de la semana, y el remanente al final de la semana. Se hace la diferencia entre el peso inicial y final antes de renovar el lote abastecimiento para la siguiente semana (Ecuación 1).

Cálculo del consumo de leña:

$$C (kg) = PI(kg) - PF(kg) \quad [1]$$

C: Consumo de leña total durante la semana en kg

PI: Peso durante el primer día de la semana

PF: Peso durante el último día de la semana

Seguidamente, se estimó la humedad promedio de la leña durante su periodo de monitoreo antes del uso de la estufa de biogás. Para llegar a este dato se utilizó una plataforma desarrollada por el instituto forestal de la Universidad de Oregon en colaboración con el instituto de diseño "Tallwood", un instituto de investigación colaborativa que se enfoca en el avance de los productos de leña (Oregon State University, 2021; TallWood Design Institute, 2017). Se utilizó esta plataforma, para encontrar la humedad promedio de leña utilizada para 3 semanas, de las 5 de monitoreo. La plataforma se enfoca en proveer herramientas para mejorar las diferentes labores que se operan en el sector forestal. Se implementó una calculadora a base de la ecuación de "Hailwood-Horrobin" (Ecuación 2) para encontrar el contenido de humedad de equilibrio de la leña, a partir de las variables de humedad relativa y temperatura ambiental, aplicada para cualquier especie de leña (Timberaid, 2021).

Ecuación "Hailwood-Horrobin" para encontrar la humedad de equilibrio de la leña:

$$\begin{aligned}
 W &= 330 + 0.452T + 0.00415TT^2 \\
 k &= 0.791 + 4.63 \times 10^{-4} - 8.44 \times 10^{-7}T^2 \\
 k_1 &= 6.34 + 7.75 \times 10^{-4}T - 9.35 \times 10^{-5}T^2 \\
 k_2 &= 1.09 + 2.84 \times 10^{-2}T - 9.04 \times 10^{-5}T^2 \\
 M_{eq} &= \frac{18}{W} \left[\frac{kh}{1-kh} + \frac{k_1kh + 2k_1k_2k^2h^2}{1+k_1kh+k_1k_2k^2h^2} \right] \times 100 \quad [2]
 \end{aligned}$$

K: Constante de equilibrio entre el agua disuelta y su presión relativa de vapor

T: Temperatura en grados Celsius

h: Humedad relativa

W: Peso molecular de la madera por mol de sitio de adsorción

Para obtener la humedad relativa y la temperatura ambiental de la región específica en los meses del monitoreo, se utilizó la plataforma "Power Data Access Viewer". Esta plataforma ha sido establecida por la "National Aeronautics and Space Administration" (NASA), para proveer datos meteorológicos y solares, para investigación sobre energía renovable, eficiencia energética y las necesidades agrícolas (Stackhouse, 2021). Se seleccionó la municipalidad donde se encuentra el hogar (San Antonio de Oriente, Francisco Morazán), con el periodo de tiempo requerido para monitorear el consumo de leña, para encontrar la humedad relativa y la temperatura que corresponde (Anexo E) (Stackhouse, 2020).

Se registró un total de 13 semanas de datos para el consumo de leña. Se seleccionaron los datos de 5 semanas para fines de esta investigación, por tratarse de periodos donde se registró una menor variación en la dinámica del hogar y descartando aquellas que, por eventos específicos como la semana santa, reportaron datos atípicos. Adicionalmente, se registró el número de personas que habitan de forma permanente en el hogar para los cálculos estandarizados de consumo de leña. Estos se realizaron conforme al procedimiento establecido por la Prueba de Desempeño de una Estufa (KPT

por sus siglas en inglés). La prueba de KPT permite analizar el desempeño de las estufas en la dinámica de las actividades diarias del hogar, tomando en cuenta su dieta y frecuencia de uso de la estufa para obtener el consumo promedio de combustible, por día por persona (Bailis et al., 2007).

Para iniciar la prueba KPT, el cálculo requiere de la estandarización de la cantidad de personas dentro del hogar (Ecuación 3). Para esto, se estableció un equivalente ponderado que disminuye las variaciones provocadas por los patrones de consumo influenciados por la edad de cada persona. Se estableció una tabla de conversión, con el índice que equivale a cada edad y género (Cuadro 2). A partir de estos resultados se calculó el consumo *per cápita* de leña y energía por día (Ecuación 4).

Cálculo de personas estandarizadas:

$$PE = (Pn \times 0.5) + (Pm \times 0.8) + (Ph \times 1)$$

$$PL = \frac{PT}{D \times PE} \quad [3]$$

PE: Personas estandarizadas

Pn: Peso de niños o niñas

Pm: Peso de mujer

Ph: Peso de hombre

PL: Peso de leña por persona por día

D: los días de monitoreo

PT: Peso total

El consumo energético se calculó a partir de la especie de leña que utilizó la familia y su poder calorífico correspondiente. Este valor se obtuvo en la base de datos de la clasificación "Phyllis" de la "Energy Research Center of the Netherland" (ECN), la cual provee información sobre la composición bioquímica de diferentes fuentes de biomasa (the Netherlands Organisation for applied scientific research [TNO], 2021). La cantidad de energía se obtuvo al multiplicar el peso de materia seca

obtenida en kilogramo (kg) por el poder calorífico. Para obtener esta materia seca, se restó el peso de la leña por la fracción húmeda. Esta fracción, se obtuvo multiplicando el porcentaje de humedad, por el peso inicial de la leña. El valor obtenido, se reportó en “Megajoule” (MJ).

Consumo energético relacionado con la leña:

$$CM = PS (kg) \times PC \left(\frac{MJ}{kg} \right)$$

$$PS(kg) = PI(kg) - (PI(kg) \times H(\%)) \quad [4]$$

CM: Consumo energético por persona por día (MJ)

PS: Peso de leña seca por persona por día (kg)

PI: Peso de leña inicial por persona por día (kg)

H: Humedad

PC: Poder calorífico

Los resultados fueron analizados aplicando estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central y de dispersión. Se buscó la media aritmética de los datos obtenidos y la variabilidad que se obtuvo al momento de tomar los datos a través de la desviación estándar.

Cuadro 2

Factor equivalente definido según el sexo y la edad

Género y año	Fracción y estándar adulto
Niño : 0 – 14 años	0.5
Mujer : mayor de 14 años	0.8
Hombre : 15 – 59 años	1.0
Hombre : mayor de 59 años	0.8

Nota. Tomado de Bailis et al. (2007)

Cuantificación de la Tasa de Generación de Residuos Orgánicos

Para analizar el segundo objetivo, se cuantificó la tasa y frecuencia de generación de los residuos orgánicos dentro del hogar, registrando el peso diario generado por espacio de siete semanas. Para esto, los residuos alimenticios se almacenaron en un balde y se registró su peso utilizando la balanza digital. A partir de estos resultados, se determinó la cantidad de residuos generada por día por persona (Ecuación 5). Se estandarizó la cantidad de personas encontradas en el hogar, aplicando la misma ponderación descrita en el KPT (Cuadro 1). Debido a que no siempre se produce este residuo en el hogar, se mantuvo el uso permanente de la mezcla de estiércol. Los datos de alimentación del digestor se registraron en el (Anexo C).

Cantidad de residuos generados por personas por día:

$$PPD = \frac{CRG}{PE \times D} \quad [5]$$

PPC: Peso de residuos por personas por día

CRG: Cantidad de Residuos Generados

PE: Personas estandarizadas

D: Días

Para analizar estos datos, se utilizó estadística descriptiva, calculando el promedio y la desviación estándar de estos datos. Además, se construyó un gráfico de barras para comparar las diferentes categorías de restos alimenticios, que se produjeron dentro del hogar.

Documentación de Percepciones de la Usaria sobre los Beneficios Derivados de la Implementación del Sistema "HomeBiogas"

Para lograr este objetivo se desarrolló un instrumento de 38 preguntas, de las cuales 24 se enfocaron en la experiencia previa a la implementación del biodigestor, dos se relacionaron al manejo

de sus residuos orgánicos y 12 se asociaron a su experiencia después de la implementación del sistema "HomeBiogas". A partir de la entrevista, se documentaron beneficios socio ambientales percibidos dentro del hogar, tales como la eficiencia de la tecnología y la sensibilización de los miembros de la familia para cuidar el medio ambiente como resultado de la implementación del biodigestor (Anexo A). Paralelamente se mantuvo un registro del volumen de biogás y la leña consumida luego de la incorporación de la estufa de biogás. A partir de estos datos se determinó el porcentaje de reducción de consumo de leña y de la demanda energética. Se aplicó el protocolo de la prueba KPT, monitoreando durante 4 días el desempeño del biodigestor y el volumen de gas consumido dentro del hogar. Se seleccionó un periodo de tiempo donde se mantienen las actividades de cocción promedio dentro del hogar, esto implica evitar días de eventos o los fines de semana, donde estas prácticas se alteran.

Se implementó un medidor de volumen de biogás para el monitoreo el consumo diario dentro del hogar. Se calculó el promedio y su desviación estándar a partir de los datos diarios registrados. Se aplicó el equivalente adulto proporcionado por el KPT, para el cálculo del consumo diario *per cápita* (Ecuación 6). Se calculó el consumo energético relacionado con el biogás, multiplicando el promedio de los volúmenes por día por persona, por el poder calorífico del biogás (Ecuación 7). El poder calorífico del biogás se calculó a partir de la concentración y el poder calorífico del metano al 100%, dato proporcionado por la plataforma ECN "Phyllis 2" (Phyllis2, 2021). Se realizó la conversión a MJ/m³, utilizando la densidad del metano a condiciones normales de temperatura y presión. (Roubík et al., 2018). El porcentaje de metano se obtuvo a partir del medidor multiparámetros "SEWERIN". La demanda energética se obtuvo al multiplicar el poder calorífico por el volumen de biogás diario *per cápita* (Ecuación 6).

Cálculo del volumen de biogás por persona por día

$$PC = PCm \times Pm \times \rho$$

$$CEb = Vpd \times PC$$

$$Vpd = \frac{V}{D \times PE} \quad [6]$$

Vpd: Volumen de biogás por persona por días, en m³

PE: Personas equivalentes

V: Volumen de biogás en m³

D: días

Cálculo del consumo energético relacionado con el biogás

$$PC = PCm \times Pm \times \rho$$

$$CEb = Vpd \times PC \quad [7]$$

CEb: Consumo energético de biogás por día por persona en MJ

PC: Poder calorífico del biogás en MJ/m³

Pm: Porcentaje de metano

ρ : Densidad de metano en kg/m³

PCm: Poder calorífico de metano, en MJ/kg

Paralelamente al monitoreo del biogás, durante seis días se monitoreó el consumo diario de leña a través del protocolo de KPT (Prueba de desempeño de cocina), registrando la humedad de la leña con el medidor de marca CEM y de modelo DT-129. Para esto, se escogieron tres leños del lote recolectado. Se registró la humedad en los extremos y sección central de cada leño. Se sacó el promedio de la variable utilizada posteriormente para el cálculo de energía. Finalmente se reportó el consumo diario per cápita de leña y energía (Ecuación 3).

Para encontrar el consumo energético total dentro del hogar, se sumó la energía asociada al consumo de leña y volumen de biogás (Ecuación 8). Este resultado, se comparó con el valor obtenido al utilizar

la leña de forma exclusiva y se calculó el porcentaje de reducción en consumo energético (Ecuación 9).

Consumo energético total:

$$CEt = CEI + Ceb \quad [8]$$

CEt: Consumo energético total

CEI: Consumo energético de la leña

Ceb: Consumo energético del biogás

Porcentaje energético

$$P = \frac{(CM - CEt) \times 100}{CM} \quad [9]$$

CM: Consumo energético de la leña antes del consumo del biogás

CEt: Consumo energético total después durante el consumo energético

P: Porcentaje energético ahorrado

Resultados y Discusión

Estimación de la Demanda Energética del Hogar para la Cocción de Alimentos

Consumo de Leña Percápita Dentro del Hogar, antes del Uso de Biogás

El hogar seleccionado para el desarrollo de la investigación está conformado por cinco personas, siendo tres niños y dos adultos, lo cual representa un valor promedio para Honduras. Según la encuesta permanente de Hogares de Propósitos Múltiples realizada por el Instituto Nacional de Estadística (INE, 2018), a nivel nacional, se reporta un promedio de 4.4 personas en hogares de zonas rurales y 4.0 personas en la zona urbana. Estos valores son confirmados en una investigación realizada por Cardenás et al. (2013), en el departamento de Cortés, Honduras, donde se encontró un valor promedio de 4.8 personas por hogar. Al estandarizar las cinco personas que residen dentro de este hogar mediante la ponderación descrita en el KPT, se obtuvo un valor de 3.3.

El consumo promedio diario per cápita de leña encontrado luego de las 3 semanas, antes de la implementación del uso de biogás fue de 3.07 kg/persona/día. Se puede observar que el coeficiente de variación (CV) de los valores obtenidos es de 1.98%, valor que se encuentra en el rango aceptable para los experimentos en campo (< 30%). Esto refleja una mejor confiabilidad en la toma de los datos, debido a una baja variación en los datos utilizados.

Este promedio es congruente con los reportados por Pachuari et al. (2018) (Cuadro 3), que comparó el consumo de leña per cápita de Honduras, con Guatemala y Nicaragua, y reportó para Honduras un resultado de 2.52 kg/cap/día, valor inferior al resto de los países. Este resultado puede deberse al tipo de tecnología de cocción predominante utilizada en los diferentes países.

Cuadro 3*Consumo de leña per cápita diario en el hogar*

Semana	kg leña/semana	kg leña/día	kg leña/persona/día
1	59.64	9.94	3.01
2	62.04	10.34	3.13
3	60.67	10.11	3.06
Promedio	60.78	10.13	3.07
Desviación estándar	1.20	0.20	0.06
CV	1.98	1.98	1.98

La implementación de estufas mejoradas ha contribuido de manera significativa a la reducción del consumo de leña *per cápita* en el país. Esta tecnología alcanzó una mayor difusión en Honduras en el año 2014, cuando la Secretaría de Desarrollo e Inclusión Social (SEDIS) ejecutó un programa de distribución masiva de fogones mejorados para cumplir los compromisos internacionales del país en la mitigación de cambio climático (Salgado et al., 2018).

En el presente estudio, la familia utiliza una estufa mejorada, que, aunque la estructura presentaba daños en su cámara de combustión y plancha, reportó resultados comparables al consumo promedio del país, por lo que se espera que al reparar estos componentes se reportará un menor consumo de leña dentro del hogar. De hecho, en el estudio realizado por Cruz et al. (2011), al implementar una estufa mejorada en hogares hondureños, se observaron un consumo de leña de 1,220.95 kg de leña al año por familia, equivalente a 3.34 kg de leña por día por familia. Este valor, se encuentra por debajo del valor de 10.13 kg encontrado en este estudio.

Consumo Energético "Per cápita" dentro del Hogar previo a Implementación de Biogás

La especie de leña que se utilizó es la *Mimosa tenuiflora*, comúnmente llamado carbón. Con la calculadora de Timberaid, se estimó una humedad promedio de 10% (Ecuación 2), obtenida a partir del promedio de los valores obtenidos para el mes de abril (9.07%) y el mes de mayo (10.9%). El poder calorífico de la especie seleccionada es de 21.3 MJ/kg obtenido de la ECN "Phyllis". El consumo energético se presenta en el (Cuadro 4). Esta demanda de energía se encuentra asociada con la eficiencia de la tecnología de cocción utilizadas dentro del hogar y de las necesidades energéticas para

la cocción de alimentos. De acuerdo con una investigación realizada en Colombia, se encontró que una estufa mejorada tiene en promedio una eficiencia energética de 15% (Aristizábal, 2014). Esto significa que solo el 15% de la energía gastada se transformó en calor para la cocción y el resto se contabiliza como pérdida a través de la chimenea y otros componentes de la estufa.

Cuadro 4

Consumo energético para la cocción de los alimentos en el hogar

Variabes	Unidades	Valor
Humedad de leña	%	10
Poder calorífico	Mj/kg	21.33
Número de personas estandarizadas en el hogar	Personas	3.30
Consumo de leña per cápita (base húmeda)	kg/día/persona	3.07
Consumo de leña per cápita (base seca)	kg/día/persona	2.76
Energía	Mj/día/persona	58.93

Generación de Residuos Orgánicos con Potencial de Incorporación en el Proceso de Digestión Anaerobia

Anaerobia

Se realizó la cuantificación y monitoreo de la cantidad de residuos de alimentos con potencial de incorporación en el biodigestor por 7 semanas, obteniendo una tasa de generación de 2.19 kg/día equivalente a 0.71 kg/persona/día. Este valor es superior a la tasa de generación de residuos alimenticios *per cápita* de algunos países de la región. Un estudio desarrollado en 29 hogares mexicanos, se observó una tasa de generación de residuos alimenticios de 0.28 kg/persona/día (Aguilar-Virgen et al., 2013). Por otra parte, la información sobre la tasa de generación de residuos alimenticios *per cápita* en América Latina es limitada, contando con algunas aproximaciones reportadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por su sigla en inglés) (2011), con una generación promedio de residuos alimenticios 225 kg/*per cápita/año*, que equivale a 0.61 kg/persona/día (Gustafsson y Anderberg, 2021).

Los residuos alimenticios constituyen una mezcla heterogénea, con una composición química variable. Para esta investigación, los residuos recolectados fueron clasificados en las categorías de frutas, verduras, los tubérculos, la grasa, los derivados animales, y los otros alimentos (compuestos

sobrantes elaborados tal como como las tortillas, tamales y otros). En el Cuadro 5, se detalla, la categorización de los alimentos con los componentes encontrados dentro del hogar.

Cuadro 5

Caracterización cualitativa de los residuos recolectados dentro del hogar

Categorización	Componentes
Frutas	Sandía, piña, mango, plátano
Verduras	Repollo, lechuga, zanahoria, Cebolla, tomate
Tubérculos	Yuca, papa, Patate
Grasas	Mantequilla
Derivados animales	Huevos, Pollo, chorizos
Otros	Tortillas, frijol, pasta, tamal, pasta

Se observó que las verduras ocupan el primer lugar en la generación de residuos de alimentos dentro de este hogar, seguido de las frutas. Lo anterior concuerda con un estudio por la Universidad de Cranfield en los hogares de Reino Unido, que afirma que las frutas y vegetales representan el porcentaje más elevado de los residuos alimenticios generados dentro del hogar, con 25.8% y 16.4% respectivamente (Glanz, 2008). De igual manera en el caso de América Latina, la FAO (2011), afirmó que las frutas y verduras representan el porcentaje más elevado (10%) de los residuos alimenticios generados, mientras que las grasas representan el menor porcentaje (2%). Para este caso, se observó que solamente 1 de los 20 días monitoreados se recolectó grasas como parte de los residuos (Anexo E). Se observó que los residuos con mayor contenido de carbohidratos, como las verduras, las frutas y los tubérculos, tienen una mayor frecuencia de generación, lo que confiere a la mezcla una mayor degradabilidad que a su vez se relaciona con la productividad de biogás.

Cuantificación de los Residuos y Estimación de la Tasa de Generación

La producción promedio de residuos de alimentos dentro del hogar fue de 2.39 kg/día, con un valor máximo de 5.34 kg/día y un valor mínimo de 0.91 kg/día. Sin embargo, para suplir la alimentación promedio de 40 L/día requerida por el sistema "HomeBiogas", la cantidad de residuos generada es insuficiente. Un estudio realizado por Nwaigwe et al. (2018) considera una generación de

0.7 kg/persona/día, cuenta con un alto potencial para la producción de biogás al considerar la totalidad de residuos generados por la comunidad y no a nivel de los hogares de forma individual.

El biodigestor implementado en la finca agroecológica puede suplir 2 m³ de biogás diariamente, valor congruente a lo reportado en estudios previos para suplir la demanda dentro de un hogar promedio. Según Deublein y Steinhauser (2008), 1 kg de residuos alimenticios puede producir 0.2 m³ de biogás. Para asegurar la producción de 2 m³ de biogás para las actividades de cocción del hogar, se necesitarían 10 kg de residuos alimenticios, lo que supera a la cantidad de residuos alimenticios generados dentro del hogar. Para solventar esta limitada disponibilidad de sustrato y la variabilidad en la composición química, la codigestión con estiércol animal, en particular de vacuno, representó una solución apropiada que fue implementada en esta investigación.

En cuanto a la generación de residuos sólidos, la usuaria afirmó que debido a que no cuenta con un refrigerador para almacenar los alimentos, trata de comprar lo necesario para suplir las necesidades de la familia evitando el desperdicio por deterioro. Adicionalmente se observó una alta variabilidad en los datos, obteniendo un coeficiente de variación de 49%. De igual manera, durante la semana 4, hubo una menor generación promedio por día (1.05 kg/día/persona y 0.32 kg/día/persona) debido a cambios en la dieta dentro el hogar. La mayor generación de residuos se registró en las primeras dos semanas. Esta variación en la tasa de generación de residuos es producto de los patrones de consumo, nivel adquisitivo y dietas. Por ejemplo, durante las semanas donde se preparó sopas, se observó una mayor generación de verduras en los residuos lo que aumentó la tasa de generación. Sin embargo, los días cuando se hizo arroz, pollo o embutidos, se disminuyó la tasa de generación de residuos dentro de hogar. Finalmente, se puede asociar esta variabilidad a la situación económica y los precios de los alimentos (Hussien et al., 2018).

Cuadro 6*Peso de los restos alimenticios producidos en el hogar*

Semana	Personas	Días de producción	Peso promedio por día	Peso promedio por día por persona
1	3.3	2	3.30	1.00
2	3.3	3	3.88	1.17
3	3.3	5	2.73	0.83
4	3.3	2	1.05	0.32
5	3.3	3	1.32	0.40
6	3.3	3	1.49	0.45
7	3.3	2	2.67	0.81
Promedio			2.19	0.71
Desviación estándar			1.08	0.30
Coeficiente de variación			49%	49%

Documentación de Percepciones de la Usaria sobre los Beneficios Derivados de la Implementación del Sistema "HomeBiogas"

Reducción del Consumo de Leña

Para estimar la reducción del consumo de leña dentro del hogar luego de la introducción de la estufa operada con biogás, se aplicó el protocolo de KPT, registrando el peso de leña utilizada diariamente por los miembros de familia. Los datos registrados se presentan en el cuadro 7 y 8, obteniendo un consumo respectivo de 3.07 y 2.24 kg de leña por persona por día para antes y después de su incorporación en la dinámica de cocción de alimentos dentro del hogar. El resultado obtenido del KPT representa una reducción de 0.83 kg/persona/día equivalente al 26.99%. Este valor es inferior con el reportado en varios países en vías de desarrollo, donde se introdujo el biogás como una alternativa para la reducción de la leña en comunidades, como el de una comunidad de Cajamarca, Perú, donde implementaron biodigestores para suplir diariamente 0.5 m³ de biogás para cocción de alimentos, obteniendo una reducción entre el 50 y 60% en el consumo de leña (Garfí et al., 2012). Estudios realizados por Gosens et al. (2013) concluyen que los porcentajes de reducción del consumo de leña por hogar pueden variar debido a los aspectos culturales propios de cada región, ya que por lo general no se abandona el uso de la estufa operada con leña, sino que se combinan las tecnologías

conforme a las necesidades del hogar. Para el presente caso, una mayor reducción del consumo de leña y reemplazo por la nueva tecnología no se alcanzará debido a factores culturales y operativos.

Durante la entrevista realizada a la usuaria, se indagó sobre las desventajas percibidas en la estufa de biogás para entender las razones por las que continuaría utilizando la estufa operada con leña. La usuaria manifestó que la estufa de biogás no tenía suficiente espacio para la cocción de dos alimentos al mismo tiempo, y adicionalmente, prefería seguir cocinando alimentos específicos, como las tortillas, en la estufa de leña. Ella mantendrá el uso de biogás para alimentos de cocción rápida, particularmente durante el desayuno y la cena.

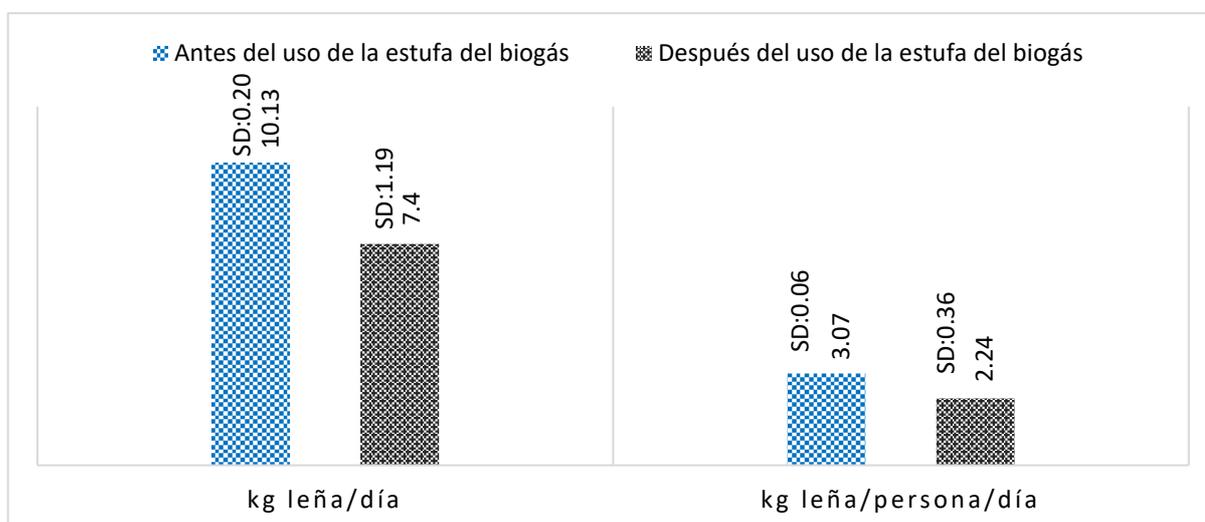
Cuadro 7

Consumo de leña percápita después del uso de biogás dentro del hogar

Fecha	kg leña/día	kg leña/persona/día
2/6/2021	8.60	2.61
3/6/2021	7.57	2.29
4/6/2021	5.32	1.61
7/6/2021	7.19	2.18
8/6/2021	8.52	2.58
9/6/2021	7.17	2.17
Promedio	7.40	2.24
Desviación estándar	1.19	0.36
Coeficiente de variación	16.18	16.18

Figura 1

Comparación del consumo de leña antes y después del uso del biogás dentro del hogar



Uno de los beneficios derivados de la reducción en el consumo de leña se encuentra asociado a la función ecosistémica de la *Mimosa Tenuiflora* dentro de la finca. La usuaria afirmó que solo se aprovechaba de las ramas de este árbol para la operación de la estufa. Esta especie arbórea es relevante en el ecosistema de la finca, con un índice de valor de importancia (IVI) de 21.16% (Ferrufino–Acosta et al., 2018). Su presencia contribuye a aumentar la fertilidad del suelo, debido a una mayor presencia de materia orgánica, y de nutrientes tal como, el calcio, el magnesio y el fósforo (Camargo-Ricalde, 2000).

Optimización del Tiempo en Actividades Domésticas

La reducción del consumo de leña influye directamente en las principales actividades que se dan dentro del hogar, como el tiempo de recolección. Cuando se utilizaba únicamente la estufa de leña, la recolección se programaba en espacios de 1 hora 2 veces a la semana, recorriendo una distancia de 1 km dentro de la finca. Cuando se implementó el biodigestor se recolectó la leña solo una vez a la semana, lo que redujo en 50% el tiempo invertido para esta actividad, que es realizada por el jefe de la casa acompañado de los niños.

Además, el cambio de tecnología redujo el tiempo invertido en las actividades de cocción de alimentos, lo que presenta un alivio directo a la usuaria. Los biodigestores son considerados una tecnología de género, debido a que su implementación beneficia en primer lugar a las mujeres (Arthur et al., 2011). La usuaria manifestó que el tiempo de cocción de los alimentos era menor, ya que “la estufa calienta mucho más rápido”. Esto se da por el mecanismo de combustión del metano que asegura una mejor transferencia del calor a la olla. Al usar la estufa operada, la usuaria afirmó que requiere de un mayor tiempo para la cocción de los alimentos, que se encuentra alrededor de 4 horas. También afirmó que, al utilizar la estufa del biogás, invierte menos de 3 horas diarias en esta actividad. En varios casos de estudio desarrollados en Indonesia, se observó un ahorro en los tiempos de cocción del rango de dos a cuatro horas. Estos espacios eran posteriormente utilizados para descanso o para generar ingresos al hogar (Chakrabarty et al., 2013). Se hace notar que no alcanzan mayores

reducciones de tiempo debido a que la estufa de leña continúa en funcionamiento como parte de la dinámica del hogar.

Por otra parte, la usuaria también manifestó que existe un ahorro en el tiempo invertido para el mantenimiento de la estufa de leña, ya que esta requiere de actividades rutinarias como la remoción de cenizas acumuladas en la cámara de combustión, limpieza de la chimenea y la plancha con la estufa del biogás, solamente se realiza la limpieza de la superficie y las rejillas.

El ahorro en tiempo derivado de la implementación de tecnologías con mayor eficiencia, representan un costo de oportunidad, que impulsa el desarrollo socioeconómico (Surendra et al., 2014). Al tener este tiempo libre, los niños lo pueden utilizar fines educativos y recreacionales (Garfí et al., 2016). Además de los beneficios descritos previamente, las usuarias pueden utilizar el tiempo para participar en actividades comunitarias y mejorar su educación. En este estudio, la usuaria utilizará el tiempo adicional para descansar y apoyar en tareas propias del mantenimiento de la finca agroecológica.

Consumo Diario Percápita de Biogás

De acuerdo con los datos recopilados y resumidos en el cuadro 11, el consumo promedio diario de biogás fue de 1.91 m³/día, equivalente a un consumo diario *per cápita* de 0.58 m³. Este valor se encuentra superior al valor obtenido en algunas regiones de América de Sur. Tal como se le observó en el caso de Perú, que reportó un consumo de biogás 0.1 - 0.2 m³/persona/día y en el caso de Bolivia, donde se registró un consumo de 0.1-0.3 m³/persona/día (Ferrer et al., 2011; Garfí et al., 2012).

Cuadro 9

Consumo de biogás dentro del hogar

Fecha	Consumo de biogás (m ³ /día)	Consumo per cápita (m ³ /persona/día)
4/6/2021	1.48	0.45
7/6/2021	1.72	0.52
8/6/2021	2	0.61
9/6/2021	2.44	0.74
Promedio	1.91	0.58
Desviación estándar	0,41	0.12

Fecha	Consumo de biogás (m ³ /día)	Consumo per cápita (m ³ /persona/día)
Coeficiente de variación (%)	21.6	21.6

Demanda Energética Diaria al Implementar Biogás

A partir de la cuantificación de la demanda de leña después de la implementación del biodigestor, se estimó que la demanda de energía fue en promedio de 51.74 Mj/persona/día, equivalente a una reducción de 7.20 Mj/persona/día. Esto denota un porcentaje de reducción del consumo energético de 12.21%, asociado principalmente al incremento en la eficiencia energética de la tecnología de cocción implementada. Esto significa, se completan las actividades de cocción con menos energía (Cuadro 10).

Cuadro 10

Consumo energético por persona por día dentro del hogar

Variables	Unidades	Valor
Concentración de metano de biogás	%	61.95
Poder calorífico del metano	MJ/m ³	22.57
Volumen promedio por día por persona	m ³ /persona/día	0.58
Consumo energético promedio por día por persona relacionado con el biogás	MJ/persona/día	13.06
Poder calorífico de la leña	MJ/kg	21.33
Peso húmedo promedio de leña por día por persona	kg/persona/día	2.24
Peso seco promedio de leña por día por persona	kg/persona/día	1.81
Humedad de la leña	%	19.6
Consumo energético por día por persona relacionado con la leña	MJ/persona/día	38.68
Consumo energético total	MJ/persona/día	51.74

Adaptación a la Tecnología y Sensibilización al Cuidado del Medio Ambiente

La principal y única fuente de ingreso dentro del hogar seleccionado para el desarrollo de este estudio es la agricultura. La usuaria cuenta con un nivel de educación media, pero no participa de manera directa en las fuentes de ingreso del hogar, sino que se enfoca en las actividades domésticas. El jefe del hogar, permanece en la finca trabajando en las actividades agrícolas. Los niños, van a la escuela en la comunidad, y regresan en la tarde.

Los residuos de alimentos considerados para la operación del digestor no provienen de las actividades agrícolas, sino de los desperdicios generados dentro del hogar como resultado de la preparación de alimentos. A pesar de que la comunidad donde se encuentra ubicada la finca no cuenta con servicio de tren de aseo, la recolección de residuos sólidos en este hogar se realiza cada 15 días por la EAP, Zamorano. Además, no tiene acceso a refrigerador, lo que dificulta el manejo de la comida y los residuos alimenticios. Por otra parte, la finca cuenta con una compostera donde se disponen los residuos orgánicos derivados de las actividades agrícolas, sin embargo, esta técnica presenta varias desventajas como la generación de olores producto de la descomposición y la proliferación de algunas plagas. Al implementar sistemas de digestión anaerobia, se mitigan los problemas planteados.

Por otro lado, se puede observar una sensibilización de los miembros del hogar y mayor conciencia ambiental. La usuaria afirmó que los niños están presentes durante la alimentación del biodigestor y que los padres les enseñan la importancia de disponer adecuadamente los restos alimenticios para la producción del biogás. Se observó que los tres niños que residen dentro del hogar, almacenan los residuos orgánicos para la posterior alimentación del biodigestor. La familia cuenta con un mayor conocimiento de cómo se puede optimizar los residuos alimenticios para producir energía, lo que fomenta un comportamiento responsable hacia el manejo adecuado de los residuos las ventajas de implementar fuentes de energía renovable.

Se observó una fácil aceptación de la usuaria a la nueva tecnología de cocción, a pesar de no tener conocimiento previo de esta. Esto puede deberse a que ella tiene 28 años y la edad ha

representado una variable importante en la adopción de nuevas tecnologías. De hecho, Meidiana et al. (2020), en su estudio sobre diferentes factores que influyen en la aceptación de un biodigestor dentro de una comunidad, afirmó que al llegar a los 50 años, la aceptación e interés por esta tecnología empieza a disminuir. En segundo lugar, la presencia de los niños representan un factor importante para mantener el funcionamiento del biodigestor.

En tercer lugar, otro factor que pudo influir en una mejor percepción de la tecnología y así favorecer su adopción, es la capacitación previa proporcionada a la familia sobre la alimentación del biodigestor y el uso de la estufa del biogás. Un estudio sobre las percepciones del hogar hacia el biogás afirmó que una formación previa al manejo de un biodigestor, influye de forma positiva en alcanzar una adopción de 51 a 53.8% (Ngcobo et al., 2020). La falta de capacitación impide a los usuarios perciban los beneficios relacionados con la eficiencia de la tecnología.

Entre las desventajas documentadas durante el proceso, la usuaria manifestó las dificultades que afrontó para alimentar el biodigestor durante su puesta en marcha, ya que, no tenía acceso a vacas para el uso del estiércol en el proceso de codigestión. Para suplir esta necesidad fue necesario recolectar en las casas aledañas, requiriendo de la inversión de tiempo y en algunas ocasiones de combustible. Si no existe una buena disponibilidad de los sustratos, la alimentación del biodigestor puede considerarse como una labor adicional que obstaculizará su adopción. En un estudio , donde se implementó biodigestores dentro de 60 hogares, se observó que los hogares con menos animales tenían más dificultades a aceptar el biodigestor, debido al trabajo relacionado, con su alimentación (Jian, 2009).

Al contar con un acceso limitado al sustrato la dotación de biogás era suficiente para suplir las necesidades de cocción. Esto fue considerado como una desventaja por parte de la usuaria, sin embargo, ella afirmó que al alimentarlo todos los día con el estiércol, la estufa se encendía fácilmente y podía realizar sus principales actividades sin experimentar carencia del recurso. Para el caso de la

finca agroecológica, luego de adquirir vacas la usuaria afirmó que no obtuvo ningún problema con la alimentación y disponibilidad de sustrato del biodigestor.

Conclusiones

El consumo energético asociado a la cocción de alimentos dentro del hogar es de 3.07 kg/persona/día, cuando se opera solamente con la estufa de leña. Este valor se encuentra asociado a la eficiencia energética y condiciones físicas de la tecnología utilizada.

La tasa de generación de residuos de alimentos en el hogar fue de 2.19 kg /día. Este valor representa menos del 10% de la alimentación requerida para el correcto funcionamiento del digestor y la provisión de biogás que supla las necesidades del hogar, haciendo necesario el mantenimiento de un proceso de codigestión con estiércol vacuno para suplir las necesidades energéticas del hogar.

La implementación del biodigestor permitió una reducción en el consumo de leña de 26.99% y el consumo energético en 12.21%. La eficiencia energética de la estufa de biogás contribuyó en la reducción de las necesidades energéticas para la cocción de alimentos dentro del hogar.

La usuaria percibió que la implementación contribuyó en la reducción del tiempo de cocción invertido, la recolección de leña y favoreció el proceso de sensibilización y conciencia ambiental del grupo familiar .

Recomendaciones

Mantener la codigestión durante la alimentación del biodigestor para asegurar una buena producción de biogás, y suplir las necesidades energéticas del hogar

No alimentar el biodigestor, con desechos que tienen un alto contenido de grasas para evitar un desequilibrio en el sistema operativo del biodigestor

Cambiar el filtro de carbón activado cada vez que este ha cumplido su ciclo de vida útil para asegurar la remoción del ácido sulfhídrico

Reparar la cámara de combustión de la estufa mejorada de este hogar, para ahorrar el consumo de leña, y el gasto energético

Realizar mantenimiento a las tecnologías de cocción en el hogar (estufa mejorada) para mantener la alternancia entre los sistemas al momento de cocinar alimentos.

Capacitar a las familias sobre el uso de un biodigestor, al momento de implementarlo dentro del hogar para mejorar las percepciones y facilitar su adopción

Reforzar las alianzas al nivel nacional, con las organizaciones internacionales de la región enfocadas en las energías renovables, para promover la implementación de esta tecnología a mayor escala en el país

Referencias

- Abatzoglou, N. y Boivin, S. (2009). A review of biogas purification processes. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 3(1), 42–71. <https://doi.org/10.1002/bbb.117>
- Aguilar-Virgen, Q., Taboada-González, P. y Ojeda-Benítez, S. (2013). Seasonal analysis of the generation and composition of solid waste: Potential use--a case study. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(6), 4633–4645. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2893-5>
- Aliaga O., L. L. (2006). *Evaluación de producción de biogas utilizando desechos porcícolas de Zamorano* [Tesis, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano] <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5651/1/IAD-2006-T002.pdf>
- Amegah, A. K. y Jaakkola, J. J. K. (2016). Household air pollution and the sustainable development goals. *Bulletin of the World Health Organization*, 94(3), 215–221. <https://doi.org/10.2471/BLT.15.155812>
- Amir, E., Hophmayer-Tokich, S. y Kurnani, T. (2016). Socio-Economic Considerations of Converting Food Waste into Biogas on a Household Level in Indonesia: The Case of the City of Bandung. *Recycling*, 1(1), 61–88. <https://doi.org/10.3390/recycling1010061>
- Aristizábal, J. D. H. (2014). Validación y evaluación comparativa de la eficiencia de una estufa de leña mejorada bajo condiciones controladas y prueba de campo. *Informador Técnico*, 78(1), 12–24. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4880824>
- Arreh, A. M. (2015). *Aprovechamiento de potencialidades energéticas de biogás, como alternativa para mejora de condiciones de vida de los pobladores de la Comunidad “El Mulo”, Municipio de Minas de Matahambre, Pinar del Río* [Tesis]. Universidad de Pinar del río.
- Arthur, R., Baidoo, M. F. y Antwi, E. (2011). Biogas as a potential renewable energy source: A Ghanaian case study. *Renewable Energy*, 36(5), 1510–1516. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.11.012>
- Bailis, R., Smith, K. R. y Edwards, R. (2007). *Kitchen Performance Test (KPT)*. Clean Cooking Alliance. <https://www.cleancookingalliance.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/83-1.pdf>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2016). *Necesidades de Energía para América Latina y el Caribe al 2040*. BID. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/%C2%BFLuces-encendidas-Necesidades-de-energ%C3%ADa-para-Am%C3%A9rica-Latina-y-el-Caribe-al-2040.pdf>
- Bedi, A. S., Pellegrini, L. y Tasciotti, L. (2015). The Effects of Rwanda’s Biogas Program on Energy Expenditure and Fuel Use. *World Development*, 67, 461–474. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.11.008>
- Bharathiraja, B., Sudharsana, T., Jayamuthunagai, J., Praveenkumar, R., Chozhavendhan, S. y Iyyappan, J. (2018). RETRACTED: Biogas production-A review on composition, fuel properties, feed

- stock and principles of anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 570–582. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.093>
- Cano-Hernández, M., Bennet-Eaton, A., Silva-Guerrero, E., Robles-González, S., Sainos-Aguirre, U. y Castorena-García, H. (2016). Caracterización de bioles de la fermentación anaeróbica de excretas bovinas y porcinas. *Agrociencia*, 50(4), 471–479. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v50n4/1405-3195-agro-50-04-471.pdf>
- Cardenás, A. H., Hipólito-Romero, H., Junkin, R. y Escobedo, A. A. (2013). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) División de Investigación y Desarrollo 2013 El rol de los sistemas cacaoteros en los medios de vida de los hogares productores en el Municipio de Cortés, Honduras. *Serie Técnica, Boletín Técnico*, 67. http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/1597/El_rol_de_los_sistemas_cacaoteros.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chakrabarty, S., Boksh, F. M. y Chakraborty, A. (2013). Economic viability of biogas and green self-employment opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 28, 757–766. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.08.002>
- Cirne, D. G., Paloumet, X., Björnsson, L., Alves, M. M. y Mattiasson, B. (2007). Anaerobic digestion of lipid-rich waste—Effects of lipid concentration. *Renewable Energy*, 32(6), 965–975. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.04.003>
- Cruz, E., León, J., Villanueva, C., Casanoves, F. y DeClerk, F. A. J. (2011). *Ahorro potencial de leña mediante la implementación de la ecoestufa “Justa” en la subcuenca del río Copán y su aporte a la conservación del capital natural* [Avances de Investigación]. Centro Agronomo Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Honduras. http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/bitstream/handle/11554/5753/Ahorro_potencial.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Daher, B. T. y Mohtar, R. H. (2015). Water–energy–food (WEF) Nexus Tool 2.0: guiding integrative resource planning and decision-making. *Water International*, 40(5-6), 748–771. <https://doi.org/10.1080/02508060.2015.1074148>
- Deublein, D. y Steinhauser, A. (2008). *Biogas from waste and renewable resources: An introduction* ([Elektronische Ressource]). Wiley Online Library. <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9783527621705>
- Ellen MacArthur Foundation. (2019). *Completando la imagen cómo la economía circular ayuda a cambio climático*. Material Economics. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/Completando-la-Imagen.pdf>
- Fagerström, A., Al Seadi, T., Rasi, S. y Briseid, T. (2019). *The role of anaerobic digestion and biogas in the circular economy*. IEA Bioenergy.

- Ferrufino–Acosta, L., Díaz, R. F., Benítez Nassar, D., Atao, F. d. R., García Chaclan, M., López, T. y Pilz, G. E. (2018). Composición Florística de la Finca Agroecológica de Zamorano, Honduras: Una Experiencia del Programa Aprender Haciendo. *Ceiba*, 55(1), 1–20. <https://doi.org/10.5377/ceiba.v55i1.4680>
- Garfí, M., Ferrer-Martí, L., Velo, E. y Ferrer, I. (2012). Evaluating benefits of low-cost household digesters for rural Andean communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 575–581. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.023>
- Garfí, M., Martí-Herrero, J., Garwood, A. y Ferrer, I. (2016). Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 599–614. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.071>
- Gautam, B. y Jha, A. K. (2020). Performance Analysis of Homebiogas and Comparison with Modified GGC-2047 Model Biogas Plant. *Artech Journal of Effective Research in Engineering and Technology*, 1(1), 1–6.
- Glanz, R. (2008). *Causes of food waste generation in households – an empirical analysis* [MSc Thesis]. University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna and, Austria.
- Gosens, J., Lu, Y., He, G., Bluemling, B. y Beckers, T. A. (2013). Sustainability effects of household-scale biogas in rural China. *Energy Policy*, 54, 273–287. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.11.032>
- Gustafsson, M. y Anderberg, S. (2021). Dimensions and characteristics of biogas policies – Modelling the European policy landscape. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 110200. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110200>
- Gustavsson, J. (2011). *Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention; study conducted for the International Congress Save Food! at Interpack 2011, [16-17 May], Düsseldorf, Germany*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- HomeBiogas. (2021). *Additional Products Archives - HomeBiogas*. HomeBiogas. <https://www.homebiogas.com/product-category/additional-products/>
- Hussien, W. A., Memon, F. A. y Savic, D. A. (2018). A risk-based assessment of the household water-energy-food nexus under the impact of seasonal variability. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1275–1289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.094>
- Instituto Nacional de Estadística. (2018). *Resumen ejecutivo: Encuesta permanente de Hogares de propósitos múltiples*. INE. https://www.ine.gob.hn/publicaciones/Hogares/EPHPM_2018/02_EPHPM_Resumen_Ejecutivo_2018.pdf
- Jian, L. (2009). Socioeconomic Barriers to Biogas Development in Rural Southwest China: An Ethnographic Case Study. *Human Organization*, 68(4), 415–430. <https://doi.org/10.17730/humo.68.4.y21mu5lt8075t881>

- Katuwal, H. y Bohara, A. K. (2009). Biogas: A promising renewable technology and its impact on rural households in Nepal. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9), 2668–2674. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.05.002>
- Kuo, J. y Dow, J. (2017). Biogas production from anaerobic digestion of food waste and relevant air quality implications. *Journal of the Air & Waste Management Association (1995)*, 67(9), 1000–1011. <https://doi.org/10.1080/10962247.2017.1316326>
- León Carvajal, J. A., Parado, C. A. y Tenorio, E. A. (2019). *Sistemas de producción agroecológicos y resilientes al cambio climático*. Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. <https://www.zamorano.edu/2019/05/29/sistemas-de-produccion-agroecologicos-y-resilientes-al-cambio-climatico/>
- Leung, D. Y. C. y Wang, J. (2016). An overview on biogas generation from anaerobic digestion of food waste. *International Journal of Green Energy*, 13(2), 119–131. <https://doi.org/10.1080/15435075.2014.909355>
- Li, Y [Yangyang], Jin, Y., Borrión, A., Li, H. y Li, J. (2017). Effects of organic composition on mesophilic anaerobic digestion of food waste. *Bioresource Technology*, 244(Pt 1), 213–224. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.006>
- Li, Y [Yu], Zhao, J., Krooneman, J. y Euverink, G. J. W. (2021). Strategies to boost anaerobic digestion performance of cow manure: Laboratory achievements and their full-scale application potential. *The Science of the Total Environment*, 755(Pt 1), 142940. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142940>
- Meidiana, C., Hidayah, A. y Wijayanti, W. P. (2020). Factors Influencing the Biogas Acceptance in Rural Area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 520(1), 12006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/520/1/012006>
- Meng, Y., Li, S., Yuan, H., Zou, D., Liu, Y., Zhu, B., Chufo, A., Jaffar, M. y Li, X. (2015). Evaluating biomethane production from anaerobic mono- and co-digestion of food waste and floatable oil (FO) skimmed from food waste. *Bioresource Technology*, 185, 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.036>
- Mills, B. y Schleich, J. (2012). Residential energy-efficient technology adoption, energy conservation, knowledge, and attitudes: An analysis of European countries. *Energy Policy*, 49, 616–628. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.07.008>
- Morales-Polo, C., Del Cledera-Castro, M. M., Revuelta-Aramburu, M. y Hueso-Kortekaas, K. (2021). Bioconversion Process of Barley Crop Residues into Biogas—Energetic-Environmental Potential in Spain. *Agronomy*, 11(4), 640. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040640>
- Msibi, S. S. y Cornelius, G. (2017). Potential for domestic biogas as household energy supply in South Africa. *Journal of Energy in Southern Africa*, 28(2), 1. <https://doi.org/10.17159/2413-3051/2017/v28i2a1754>

- The Netherlands Organisation for applied scientific research. (2021, 4 de julio). *Phyllis2 - Database for the physico-chemical composition of (treated) lignocellulosic biomass, micro- and macroalgae, various feedstocks for biogas production and biochar*. Phyllis. <https://phyllis.nl/>
- Ngcobo, L., Obi, A., Mamphweli, S. y Zantsi, S. (2020). Adoption and perceptions of biogas: Empirical evidence from rural households of Melani village in Raymond Mhlaba municipality. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/20421338.2020.1819684>
- Nwaigwe, K. N., Agarwal, A. y Anyanwu, E. E. (2018). Biogas Potentials Evaluation of Household Wastes in Johannesburg Metropolitan Area Using the Automatic Methane Potential Test System (AMPTS) II. En *Proceedings of the ASME 12th International Conference on Energy Sustainability - 2018-: Presented at ASME 2018 12th International Conference on Energy Sustainability, June 24-28, 2018, Lake Buena Vista, Florida, USA*. The American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/ES2018-7553>
- Ochoa, R. G. (2014). *Pobreza energetica en América Latina*. Santiago de Chile. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://www.cepal.org/sites/default/files/publication/files/36661/S2014039_es.pdf
- Oregon State University. (2021, 4 de julio). *Timberaid: A Reliable Toolkit for Aiding Your Wood Related Projects*. Oregon State University. <https://www.forestry.oregonstate.edu/news/timberaid-reliable-toolkit-aiding-your-wood-related-projects>
- Pachauri, S., Rao, N. D. y Cameron, C. (2018). Outlook for modern cooking energy access in Central America. *PLoS One*, 13(6), e0197974. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0197974>
- Patinvoh, R. J. y Taherzadeh, M. J. (2019). Challenges of biogas implementation in developing countries. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 12, 30–37. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2019.09.006>
- Phyllis2. (2021, 12 de julio). *ECN Phyllis classification: methane 100% (#930)*. Phyllis. <https://phyllis.nl/Browse/Standard/ECN-Phyllis#methane>
- Raja, I. A. y Wazir, S. (2017). Biogas Production: The Fundamental Processes. *Universal Journal of Engineering Science*, 5(2), 29–37. <https://doi.org/10.13189/ujes.2017.050202>
- Rajendran, K., Aslanzadeh, S. y Taherzadeh, M. J. (2012). Household Biogas Digesters—A Review. *Energies*, 5(8), 2911–2942. <https://doi.org/10.3390/en5082911>
- Rao, N. D. y Pachauri, S. (2017). Energy access and living standards: some observations on recent trends. *Environmental Research Letters*, 12(2), 25011. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa5b0d>
- Romo-Rábago, E., Herremans, I. M. y Hettiaratchi, P. (2018). Biodigesters as a Community-Based Sustainable Energy Solution. En M.-E. Tyler (Ed.), *Social and Ecological Interactions in the*

- Galapagos Islands. Sustainable energy mix in fragile environments: Frameworks and perspectives / Mary-Ellen Tyler, editor* (pp. 153–161). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69399-6_9
- Roubík, H., Mazancová, J., Le Dinh, P., Dinh Van, D. y Banout, J. (2018). Biogas Quality across Small-Scale Biogas Plants: A Case of Central Vietnam. *Energies*, 11(7), 1794. <https://doi.org/10.3390/en11071794>
- Sahota, S., Shah, G., Ghosh, P., Kapoor, R., Sengupta, S., Singh, P., Vijay, V., Sahay, A., Vijay, V. K. y Thakur, I. S. (2018). Review of trends in biogas upgradation technologies and future perspectives. *Bioresource Technology Reports*, 1, 79–88. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2018.01.002>
- Salgado, S., Cárcamo, J., Montoya, L., Argueta, R. y Vindel, T. (2018). Balance Energético 2018: Energía y Cambio Climático: Hacia un sistema energético más resiliente. Secretaría de Estado en el Despacho de Energía. https://sen.hn/wp-content/uploads/2020/05/BEN2018_v3.pdf
- Slorach, P. C., Jeswani, H. K., Cuéllar-Franca, R. y Azapagic, A. (2020). Environmental sustainability in the food-energy-water-health nexus: A new methodology and an application to food waste in a circular economy. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 113, 359–368. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.06.012>
- Stackhouse, P. (2020, 5 de junio). *POWER Data Access Viewer*. NASA. <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- Stackhouse, P. (2021, 20 de enero). *NASA POWER | Prediction Of Worldwide Energy Resources*. NASA. <https://power.larc.nasa.gov/>
- Surendra, K. C., Takara, D., Hashimoto, A. G. y Khanal, S. K. (2014). Biogas as a sustainable energy source for developing countries: Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, 846–859. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.12.015>
- TallWood Design Institute. (2017). *Energy Studies in Buildings Laboratory*. University of Oregon. <https://esbl.uoregon.edu/research/tallwood-design-institute/>
- Taramona Ruiz, L. A., Barrena Gurbillón, M. A., Gamarra Torres, O. A., Choy Wong, M. y Rodríguez Ponce, Y. (2017). Rendimiento de biogás y sus beneficios socio económico en el desarrollo rural sostenible de las comunidades altoandinas. Ancash - Perú. *Revista De Investigaciones De La Universidad Le Cordon Bleu*, 4(2), 49–57. <https://doi.org/10.36955/RIULCB.2017v4n2.003>
- Timberaid. (2021, 4 de julio). *Moisture Content*. Timberaid. <https://www.timberaid.com/calculator/fundamental/moisturecontent>
- Wolfram, C., Shelef, O. y Gertler, P. (2012). *How Will Energy Demand Develop in the Developing World?*. National Bureau of Economic Research [NBER]. <https://doi.org/10.3386/w17747>

Anexos

Anexo A

Entrevista sobre la adaptación al biodigestor y a la estufa de biogás

Kitchen Performance TEST - Preliminary survey questions				
Preguntas antes del uso del biogás				
1	Fecha			
2	Nombre de la Aldea			
3	Coordenadas			
4	Nombre de la entrevistadora			
5	Lista de géneros y edad de los miembros	Géneros y edad	Cantidad	
		Niños y niñas de 0-14 años		
		Mujeres entre 15 - 59 años		
		Mujeres de más de 59 años		
		Hombres entre 15-59 años		
		Hombre de más de 59 años		
6	Nivel educativo	1) Primario	2) Secundario	3) Universitario
		4) Post-grado	5) Ninguno	
7	Principales ingresos generados según actividades realizada	Agricultura solamente	Miembro (s) de la familia que se encarga de esta fuente de ingreso	
		Trabajo asalariado solamente		
		Agricultura y trabajo asalariado		
		Comerciantes		
		Agricultura y comerciantes		
		Otros		
8	Con que facilidades y servicios públicos cuenta el hogar	1) Luz eléctrica	2) Agua potable	3) Acceso a internet
		4) Acceso a centro de salud/hospital	5) Tren de aseo	6) Servicio telefónico
		7) Otros		
9		Lista de géneros y edad como en la pregunta 7		

	¿ Quién es el responsable de cocinar				
10	Cuánto tiempo se tarda para cocinar en cada tiempo de comida o para la cocción de granos	Desayuno	Almuerzo	Cena	Cocción de granos
11	¿ Dónde se ubica la cocina ?	Al interior de la casa			
		Al exterior			
		Otros			
12	¿ Qué tipo de estufa utiliza ?	Estufa	Año de la estufa	Frecuencia de uso (Veces por día, semana o mes)	
12.1	¿ Cuántos años tiene la estufa ?	a) Estufa eléctrica			
		b) Estufa de gas			
		c) Fogones tradicionales (piedra/ Cerámica / carbón vegetal / de barro)			
13	¿ Dónde se consigue la leña para cocinar ?	a) La compran			
		b) La obtienen del bosque / área de cultivo			
13.1	Si se la compran, cuántos gastan por semana en esta compra				
13.2	En caso que se recolecta, ¿Quién se encarga de conseguir la leña?	Listar el miembro de la familia, con su género y edad			
		a)			
		b)			
		c)			
14	¿ Dónde se consigue la leña, y cuánto tiempo se toma ?	Localidad	Tiempo de demora	Distancia de la casa	Frecuencia de recolección de leña (Veces por día, semanas, meses)
	1				
	2				

	3					
15	¿ Qué tipo de transporte utilizan para conseguir la leña ?	Tipo				
		Vehículo (Cuánto gasta en combustible)				
		Bestia de carga				
		Se la cargan				
16	Describe el tipo de leña está utilizando	Especies				
17	¿ Cómo se apaga el fuego ?					
18	¿ De qué forma se deshace de los residuos de la combustión de la leña (Carbón, cenizas) ?					
19	¿ La familia realiza algún mantenimiento en la estufa ?	Tipo de mantenimiento	Frecuencia			
		Limpieza de las cenizas de la estufa	Nunca	Diario	Semanal	Mensual
		Limpieza de la chimenea	Nunca	Diario	Semanal	Mensual
		Se arregla las grietas	Nunca	Diario	Semanal	Mensual
		Otros labores	Nunca	Diario	Semanal	Mensual
20	¿ Cuáles son los beneficios que perciben de esta estufa ?	a) No sienten humo en la casa				
		b) Calienta rápido				
		c) Ahorra tiempo cocinando				
		d) Ahorro tiempo en la recolección de combustible				
		e) Ahorro dinero en combustible				
		f) Higiénica (No hollín en la pared/ No se ensucien)				
		g) Es cómodo cocinar (No hay dolor de espalda)				
		h) Otros (Especifique)				
21	¿ Qué le disgustan de esta estufa ?	a) Se siente humo en la casa	c) Toma tiempo para calentar	f) Se ensucia al cocinar	i) Otros (Especifique)	

		b) Toma tiempo para cocinar	d) Se gastó dinero en combustible	g) Produce dolor al cocinar	
		c) Tiempo en la recolección de combustible	e) Se ensucia las paredes con hollín	h) Tos / dolor en los ojos al utilizarla	
22	¿ Padecen de uno de estas enfermedades	Angina de pecho	Neumonía	Ardor de ojos	
		Enfisema o asma	Embolia pulmonar	Dolor de cabeza	
		Insuficiencia cardiaca congestiva	Resfriado común		
		Cáncer pulmonar	Fibrosis de las vías áreas		
		Bronquitis	Tuberculosis		
23	¿ Quién se encuentra enfermo ?	Lista géneros y edades			
24	La condición de apariencia de la estufa (foto)	a) Se ve sucia			
		b) Tiene grietas			
		c) otros (Especifique a través observación)			
25	¿ Usted está interesado en recibir una nueva tecnología y a cambiar su actual cocina ?	a) Si	Razones		
		b) No			
26	¿ Qué tipo de tecnología le gustaría tener ?				
27	¿ Ha escuchado hablar del biogás antes ?	Si/No			
27.1	Si la respuesta es sí, por qué medio y hace cuando				
PREGUNTAS SOBRE RESIDUOS ORGANICOS					
1	¿ Generan residuos orgánicos en el hogar ?	a) Si b) No			

2	¿ Qué tipo de residuos orgánicos se generan ?					
3	¿ Cómo disponen de estos residuos orgánicos ?					
PREGUNTAS DESPUES DE LA INSTALACIÓN DEL BIOGAS						
1	Fecha					
2	¿ Dónde se encuentra, la estufa que se utiliza con el biogás ?	En el interior de la casa				
		Separado de la casa				
		Al exterior				
		Otros -				
3	¿ Siguen utilizando otras estufas ?	a) Si b) No				
4	¿Cuánto tiempo se demora utilizando las estufas presentes ?	Cantidad :	Horas de uso		alimentos	
		Estufa mejorada				
		Estufa de biogás				
		Fogón tradicional				
5	¿ Frecuencia de uso para cada tiempo de comida para la estufa del biogás, y para la estufa mejorada ?	Tipo de estufa	Desayuno	Almuerzo	Cena	Cocción de granos
		Estufa mejorada				
		Estufa de biogás				
		Fogón tradicional				
	Simbología	Siempre (S) = Todos los días / Frecuentemente (F)= 2 a 4 días de la semana / Ocasionalmente (O) = 1 a 2 veces al día / Nunca (N)				
6	¿ Cuánto se gasta en leña ?					
7	Condición de apariencia de la estufa (foto)	a) Se ve sucia				
		b) Tiene grietas				
		c) otros (Especifique a través observación)				
9	¿ Se redujo su uso de la/las estufa/estufas mencionadas, explique las razones	a) Si	Razones			
		b) No				

10	¿ Qué tipo de mantenimiento se utiliza para la nueva estufa ?	Tipo de mantenimiento	Frecuencia
		Limpieza de la superficie la estufa	Nunca/Diario/semanal/mensual
		Limpieza de las rejillas	Nunca/Diario/semanal/mensual
		Otros labores (Especifique)	Nunca/Diario/semanal/mensual
11	¿ Se le dificulta alimentar el biodigestor ?	a) si / No	
11.1	Explica las razones		
12	¿ Cómo consigue los residuos orgánicos para su alimentación ?	a) En su casa	
		b) En casa ajena	
		c) En una planta productiva (Agropecuaria/ Agroindustria)	
13	¿Le incomoda alimentar el biodigestor? Razones	Poco	Razones
		Mucho	
		No incomoda	
14	¿ Es más fácil o más difícil cocinar con esta nueva estufa de biogás		Razones
		Más fácil	
		Más difícil	
15	¿ En qué estufa le demora más para cocinar, la nueva o la otra ?		
16	¿ Qué beneficios percibe en esta nueva tecnología ?	Ahorro en compra de combustible	
		Ahorro en compra fertilizante	
		Menos tiempo de recolección de leña	
		Otros (Especifique)	
17	¿Qué problemas encontraron con la nueva estufa del biogás? Explica		

Anexo B*Formato para registro de generación de residuos*

Fecha	Peso	Tipo de alimentación

Anexo D

Temperatura y humedad relativa de Santa Rosa : POWERNASA

-END HEADER-
 NASA/POWER SRB/FLASHFlux/MERRA2/ 0.5 x 0.5 Degree Climatologies
 22-year Additional Solar Parameter Monthly & Annual Climatologies (July 1983 - June 2005), 30-year Meteorological and Solar Monthly & Annual Climatologies (January 1984 - 1
 Location: Latitude 14.0262 Longitude -86.959
 Elevation from MERRA-2: Average for 1/2x1/2 degree lat/lon region = 890.46 meters Site = na
 Climate zone: na (reference Briggs et al: <http://www.energycodes.gov>)
 Value for missing model data cannot be computed or out of model availability range: -999
 Parameter(s):
 TS MERRA2 1/2x1/2 Earth Skin Temperature (C)
 RH2M MERRA2 1/2x1/2 Relative Humidity at 2 Meters (%)
 PARAMETER JAN FEB MAR APR MAY JUN JUL AUG SEP OCT NOV DEC ANN
 -END HEADER-
 RH2M 65.77 58.31 51.89 49.96 60.55 72.78 73.20 71.97 75.82 77.69 74.94 71.60 67.04
 TS 22.17 23.89 25.87 27.77 26.81 24.67 23.89 24.36 23.86 23.10 22.30 21.80 24.21

Anexo E

Generación de residuos alimenticios dentro del hogar

Fecha	Peso (kg)	Persona	Peso por persona (kg/persona)
30/4/2021	1.26	4.3	0.29
02/5/2021	5.34	4.3	1.24
05/5/2021	4.34	4.3	1.01
06/5/2021	3.64	4.3	0.85
07/5/2021	3.63	3.3	1.10
10/5/2021	2.18	3.3	0.66
11/5/2021	5.34	3.3	1.62
12/5/2021	2.17	3.3	0.66
13/5/2021	0.91	3.3	0.28
15/5/2021	3.03	3.3	0.92
19/5/2021	1.03	3.3	0.31
20/5/2021	1.07	3.3	0.33
24/5/2021	1.57	3.3	0.48
27/5/2021	1.30	3.3	0.39
29/5/2021	1.07	3.3	0.33
31/5/2021	1.25	3.3	0.38
02/6/2021	1.15	5.3	0.22
05/6/2021	2.06	5.3	0.39
07/6/2021	3.46	5.3	0.65
08/6/2021	1.87	5.3	0.35

Anexo F*Estandarización de las personas que consumieron comida en el hogar*

Semana	Número de días	Personas	Personas ponderadas
1	6	3 adultos y 3 niños	4.3
2	7	3 adultos y 3 niños	4.3
3	7	3 adultos y 3 niños	4.3
4	7	2 adultos y 3 niños	3.3
5	7	2 adultos y 3 niños	3.3
6	6	4 adultos y 3 niños	5.3

Anexo G*Días de generación de los restos alimenticios*