

Utilization of Biomass for Electricity Generation in the Communities of Quiral Quichqui, Las Tres Boas, and Huaylacucho, Huancavelica, Lima, Peru

Michael Omar padilla Garcia, Mg.¹; Roxana Matos Apolin, Ing.²; Cuya Poma Armando Angel.³; Huarhua Chipao, Diego.⁴; Sarmiento Ramos, Luciano.⁵; Quinto Yupanqui, Nicole Karen.⁶

¹Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. mpadillag@cientifica.edu.pe

²Universidad Nacional Mayor de san Marcos, Lima - Perú.
rmatosiq@gmail.com

³Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. 100049495@cientifica.edu.pe

⁴Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. 100088633@cientifica.edu.pe

⁵Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. 100073357@cientifica.edu.pe

⁶Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. 100034154@cientifica.edu.pe

Abstract - Only 76% of rural households have access to electricity. The communities of Quiral Quichqui, Las Tres Boas, and Huaylacucho face serious limitations in energy use. The region generates more than 700,000 tons of agricultural and livestock waste annually. The objective of this research is to analyze the feasibility of using biomass as a source of electrical energy to supply the rural communities of Quiral Quichqui, Las Tres Boas, and Huaylacucho in Huancavelica, promoting energy sustainability and improving the quality of life of their inhabitants. A methodology was established in which the first step was to identify the rural communities in need of electricity supply in the district of Huancavelica. Next, the population size of the three settlements was identified. Then, a biogas plant design was developed, followed by a proposal for the implementation of a biogas and electricity production plant. As a result, the project shows that the communities of Quiral Quichqui, Las Tres Boas, and Huaylacucho have a high availability of biomass to generate biogas. Biodigesters of 500 m³ are required, each capable of producing 456.62 kWh/day of electricity. The system will use an efficient biogas generator (50% methane, over 50% conversion efficiency), ensuring a constant energy supply while making use of by-products such as biofertilizer and residual sludge for fertilization, thereby strengthening local agriculture.

Keywords: Rural communities, Biomass, biogas, biodigesters.

Aprovechamiento de Biomasa para la Generación de Energía Eléctrica en las Comunidades de Quiral Quichqui, Las Tres Boas, and Huaylacucho, Huancavelica, Lima, Perú

Michael Omar padilla Garcia, Mg.¹; Roxana Matos Apolin, Ing.²; Cuya Poma Armando Angel.³; Huarhua Chipao, Diego.⁴; Sarmiento Ramos, Luciano.⁵; Quinto Yupanqui, Nicole Karen.⁶

¹Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. mpadillag@cientifica.edu.pe

²Universidad Nacional Mayor de san Marcos, Lima - Perú. rmatosiq@gmail.com

³Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. 100049495@cientifica.edu.pe

⁴Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. 100088633@cientifica.edu.pe

⁵Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. 100073357@cientifica.edu.pe

⁶Universidad Científica del Sur, Lima - Perú. 100034154@cientifica.edu.pe

Resumen - Solo el 76% de las viviendas rurales tienen acceso a la electricidad, las comunidades de Quiral Quichqui, Las tres boas y Huaylacucho enfrentan serias limitaciones en el uso de energía, la región genera más de 700000 toneladas anuales de residuos agrícolas y ganaderos, el objetivo de la presente investigación es analizar la viabilidad de utilizar biomasa como fuente de energía eléctrica para abastecer a las comunidades rurales de Quiral Quichqui, Las tres boas y Huaylacucho en Huancavelica promoviendo la sostenibilidad energética y la mejora en la calidad de vida de sus habitantes, se estableció una metodología en la cual primero se identificó a las comunidades rurales necesitadas de abastecimiento eléctrico en el distrito de Huancavelica, seguido se identificará la cantidad de población de los 3 centros poblados, se desarrolló el diseño de una planta de biogás y se determinó una propuesta de implementación de planta de producción de biogás y energía eléctrica. Como resultado el proyecto evidencia que las comunidades de Quiral Quichqui, Las tres boas y Huaylacucho tienen una amplia disponibilidad de biomasa para generar biogás, se requieren biodigestores de 500 m3 capaces de producir 456.62 kwh/día de energía eléctrica cada uno, utilizará generador de biogás eficiente (50% de metano, más del 50% de conversión), asegurando energía constante y aprovechando subproductos como biol y lodos residuales para fertilización, fortaleciendo la agricultura local.

Palabras clave: Comunidades rurales, Biomasa, biogás, biodigestores.

1. Introducción

El distrito de Huancavelica, situado en el corazón de los Andes peruanos, enfrenta desafíos significativos en el acceso a la electricidad, especialmente en sus comunidades rurales. Entre ellas, las localidades de Quiral Quichqui, Las Tres Boas y Huaylacucho, que se encuentran alejadas de los centros urbanos, sufren una grave carencia de

infraestructura energética. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática [1], solo el 76 % de las viviendas rurales en la región de Huancavelica tienen acceso a electricidad, una cifra considerablemente inferior al promedio nacional del 96 % en áreas urbanas. Esta falta de acceso a energía limita el desarrollo social y económico, afectando la educación, la salud y la productividad local [1].

La región de Huancavelica tiene un gran potencial para aprovechar los residuos orgánicos generados por su actividad agrícola y ganadera, estimados en más de 700,000 toneladas anuales. Estos residuos provienen principalmente de cultivos de papa, maíz y quinua, y de la ganadería, especialmente el estiércol de vacas, ovejas y llamas. Sin embargo, la mayoría de estos recursos se desechan sin aprovecharse, contribuyendo a la contaminación ambiental. Según el Ministerio del Ambiente de Perú [2], sólo el 5% de los residuos orgánicos generados en el país se destinan a la producción de energía, mientras que el resto se quema o se deja descomponer de manera inadecuada, liberando gases de efecto invernadero, como el metano, que tiene un impacto 25 veces mayor que el CO₂ [2]. En las comunidades de Quiral Quichqui, Las Tres Boas y Huaylacucho, los residentes dependen principalmente de fuentes de energía no sostenibles, como la leña y los generadores diésel, que no solo son costosos, sino también perjudiciales para la salud debido a las emisiones de humo y partículas.

Este artículo tiene como objetivo enfocar la viabilidad de utilizar la biomasa, especialmente los residuos agrícolas y ganaderos, para la generación de energía eléctrica en las comunidades de Quiral Quichqui, Las Tres Boas y Huaylacucho. La biomasa tiene un alto potencial energético

y es una solución renovable que podría satisfacer las necesidades energéticas locales, reducir la dependencia de fuentes contaminantes y contribuir a la mitigación del cambio climático. Al aprovechar los residuos orgánicos locales, se podrían generar empleos en el procesamiento de biomasa y mejorar la calidad de vida de los habitantes de estas comunidades, alineándose con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 7, que promueve el acceso universal a energía asequible, confiable, sostenible y moderna [3].

2. Materiales y Métodos

Identificación de comunidades rurales necesitadas de abastecimiento eléctrico en el distrito de Huancavelica

El distrito de Huancavelica está ubicado en la provincia y región de Huancavelica, en la sierra central del Perú. Su capital es la ciudad de Huancavelica, situada a una altitud aproximada de 3,660 metros sobre el nivel del mar. Este distrito se encuentra rodeado por los Andes y destaca por su riqueza cultural e histórica, además de su entorno natural. De acuerdo con los resultados del XI Censo Nacional de Población y VI de Vivienda realizado en 2017 [4], el 91.91% de la población del distrito de Huancavelica cuenta con acceso a alumbrado eléctrico, lo que refleja un alto nivel de cobertura de este servicio básico en la zona. Sin embargo, este dato también indica que existe un porcentaje restante, aunque reducido, de la población que aún no dispone de este recurso, lo que podría estar asociado a áreas rurales o más alejadas del núcleo urbano, donde las condiciones de infraestructura son menos desarrolladas.

Por otro lado, la gestión de residuos sólidos urbanos es un problema significativo para los gobiernos locales, derivado de factores económicos, sociales, culturales y tecnológicos. Entre las principales causas destacan el aumento en la generación de residuos, la falta de educación y participación ciudadana, y la ausencia de lugares adecuados para la disposición final. En la provincia de Huancavelica, esta problemática también está presente. Según la Municipalidad Provincial de Huancavelica [5], mediante el Plan Integral de la Gestión Ambiental de Residuos Sólidos de la Provincia, se menciona que en el distrito de Huancavelica se generan 19.83 toneladas de residuos domésticos por día. Esta cifra resalta la problemática de tener una correcta disposición de residuos orgánicos para evitar la contaminación del medio ambiente y la proliferación de enfermedades. La gestión adecuada de estos residuos, especialmente los orgánicos, es crucial para mejorar la calidad de vida de los habitantes y reducir los impactos negativos sobre la salud pública y el entorno

TOTAL GENERACIÓN			
DISTRITO	POBLACIÓN 2015	GPC (KG/DÍA)	DOMICILIARIO X DÍA (TONELADAS)
CIUDAD DE HUANCAMELICA			
Huancavelica	35341	0.561	19.83
Ascensión	9086	0.420	3.82
Palca	763	0.392	0.30
Huando	1337	0.420	0.56
Acoria	3721	0.305	1.13
Yauli	4186	0.380	1.59
Acobambilla	788	0.457	0.36
Conayca	706		0.32
Cuenca	422		0.19
Huachocolpa	1797		0.82
Huayllahuara	581		0.27
Izcuchaca	580		0.27
Laria	496		0.23
Manta	362		0.17
Mariscal Caceres	760		0.35
Moya	693		0.32
Nuevo Occoro	649		0.30
Pilpichaca	413		0.19
Vilca	293		0.13
TOTAL DISTRITOS	62974		3.90
GENERACIÓN TOTAL PROVINCIAL DOMICILIARIO			27.55

Fig. 1 Población y generación de residuos sólidos domésticos, por distritos en la provincia de Huancavelica

Ante ello, la generación de energía eléctrica a partir de la biomasa se presenta como una alternativa eco amigable y sostenible para mitigar la problemática de residuos en el distrito de Huancavelica. Esta tecnología permite aprovechar los residuos orgánicos generados diariamente, transformándolos en energía, lo que contribuye a la reducción de la contaminación ambiental y la dependencia de fuentes de energía no renovables. Además, la biomasa proporciona una solución doble al gestionar residuos y generar energía limpia, promoviendo el desarrollo de las comunidades rurales Quiral Quichqui, Las Tres Boas y Huaylacucho.



Fig. 2 Ubicaciones de las comunidades rurales Quiral Quichqui, Las Tres Boas y Huaylacucho.

Tenencia de artefactos eléctricos entre los años 2007 y 2017, según la INEI

De la misma forma se identificaron los artefactos eléctricos que fueron censados en la región de Huancavelica. Como resultado, la gran mayoría de pobladores cuentan con cocina a gas, televisor a color, licuadora y equipos de sonido.

TABLA I

Hogares en viviendas con tenencia de artefactos y equipos en cada hogar provincia de Huancavelica

Artefacto/ Equipo	2007		2017		Variación intercensal 2007-2017		Incre. anual	Tasa de crecimiento promedio anual
	Abs.	%	Abs.	%	Abs.	%		
Televisor a color	26091	96.3	35113	61.4	9022	34.6	902	3
Equipo de sonido	6332	23.4	15907	27.8	9575	151	958	9.6
Computadora	3478	12.8	10636	18.6	7158	206	716	11.8
Lavadora de Ropa	562	2.1	2598	4.5	2036	362	204	16.5
Refrigeradora o congeladora	1879	6.9	4418	77	2539	135	254	8.9
Corona a gas			44226	77.3				
Horno microondas			2548	4.5				
Licuadora			21447	37.5				
Plancha eléctrica			14044	24.6				
Automóvil Camioneta			3013	5.3				
Motocicleta			4117	7.2				
Lancha			212	0.4				

Población censada en los 3 centros poblados:

El Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI, ente rector del Sistema Estadístico Nacional en el marco de su política de difusión, presenta el documento: **Directorio Nacional de Centros Poblados**, que constituye un producto de los Censos Nacionales INEI 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas [4].

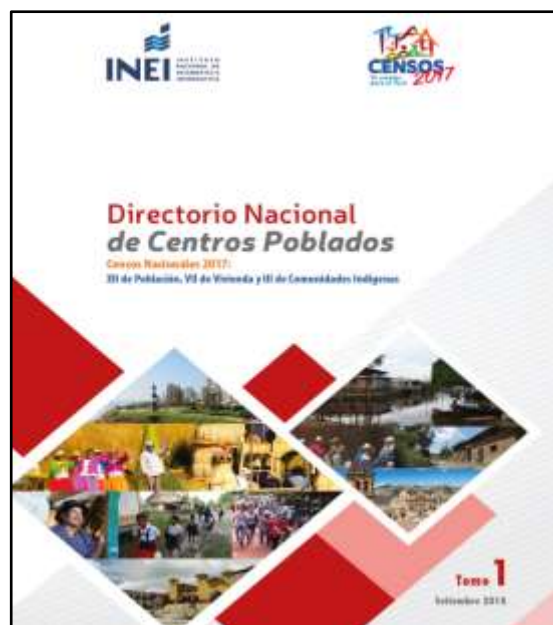


Fig. 3 Directorio Nacional de Centros Poblados (INEI).

TABLA II
Población censada en el distrito de Huancavelica

Centros Poblados	Población censada
Huaylacucho	344
Las tres Boas	84
Quiral Quichqui	47
Total	475

Cálculo:

De la misma forma, el consumo energético per cápita es de 184.18 GW.h y 524.96 kW.h / hab al año. Por lo tanto, llegando al cálculo del consumo de energía eléctrica per cápita por cada poblador diario es de 1,44 kWh / hab diario.

TABLA III
Población censada en el distrito de Huancavelica.

Consumo energético per cápita	Habitantes
1,44 kWh / hab	1
X	475
X = 684 kWh / poblaciones	

Caracterización de residuos orgánicos a utilizar

La estimación se basa en los datos de Mago M. et al. [6] donde se propone el diseño de una planta de biogás destinada a la generación de energía eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor. Esta iniciativa representa una alternativa valiosa para el tratamiento de residuos orgánicos.

TABLA IV

Dimensiones del Tanque de Alimentación.

Forma:	Circular
Volumen	25.59
Largo	5.21
Ancho	5.21
Profundidad	1.20

TABLA V

Dimensiones del Biodigestores

Unidades requeridas:	2
Tipo:	Bajo tierra
Material:	Geomembrana
V. Total requerido:	2714.06 m ³
Volumen c/unid:	1357.03 m ³
Largo:	25.67 m
Ancho:	18.58 m
Profundidad:	4.50 m
Toneladas equivalentes CO ₂ :	6745.20 t/año
Potencia a instalar:	152.05 Kw
Potencia calórica:	282.39 Kw
V. Total requerido:	1 331 996.87 Kw*h/año

La población necesita:

684 kwh/población - - - - -684kwh/dia

Estimación

Tanque volume c/u - - - - - 1.357,03 m3 - - - - - se estima - - - - -1500m3

2x Tanque volumen - - - - - 2714,06 m3

2x1.357,03 m3 - - - - - 1 331 996 ,87 kwh/año - - - - -se estima - - - - - 1 000 000 kwh/año

Según a la estimación de los datos obtenidos:

1500m3 - - - - - 500 000 kwh/año

500 m3 - - - - - X

X=166,666.666 Kwh/año - - - - - 365 días - - - - - 456.62 Kwh/dia(x1 biodigestor)

2 Biodigestores=913.24 Kwh/dia

Para cubrir la demanda de energía, es necesario contar con estiércol de las zonas ganaderas de Huancavelica, así como con restos vegetales que serán transportados al biodigestor, el cual tiene una capacidad de 500 m³ y debe ser abastecido casi en su totalidad. Por esta razón, se propone colaborar con la ganadería local, ya que Huancavelica se dedica principalmente a la crianza de alpacas, llamas y ovinos. La cría de estos animales se realiza de manera extensiva en las praderas de puna. Además, la crianza de alpacas es la principal actividad económica en 81 comunidades campesinas, como Carhuancho, Pilpichaca, Huaytará, Lillinta, Ingahuasi, Chaupi, entre otras. La ganadería de camélidos es una actividad característica de la región, que representa el 6.6% del ganado de alpacas, el 10.8% de llamas y el 7.4% de vicuñas a nivel nacional, colocándola entre las cinco regiones con mayor producción de este ganado. Sin embargo, esta producción no está asociada a una industria de pelo fino, ya que se lleva a cabo principalmente de manera artesanal. En cuanto a otras actividades ganaderas, la región posee el 9.7% de ganado caprino, el 6.9% de ovino y el 4.1% de porcino de la producción nacional [7]. También se plantea realizar un convenio con la Comunidad de Carhuancho, en el distrito de Pilpichaca – Huaytará, que destaca por su ganadería alpaquera, con alrededor de 30,000 alpacas en sus praderas. Además, el Proyecto Proalpaca del Gobierno Regional de Huancavelica está implementando un programa de mejoramiento genético en la crianza de alpacas con el fin de recolectar estiércol [8].

Se presenta un conjunto de productos desarrollados en la región que, debido a su potencial en el mercado, deberían fortalecerse. Como se puede observar en el cuadro resumen, estos productos tienen un enfoque exportador y actualmente están dirigidos hacia el mercado internacional, ya sea como productos primarios o con valor agregado. En los cuadros marcados con una "x", se indica la orientación del mercado

de los productos, que puede ser: para exportación, para el mercado nacional o para la sustitución de importaciones [7].

3. El procedimiento que debe implementarse para la producción de biogás y energía eléctrica

A) Identificar el tipo de biomasa a utilizar

Se debe identificar el tipo de biomasa disponible, ya sea orgánico, agrícola, ganadera o de residuos urbanos, lo cual es crucial para determinar su composición y capacidad para generar biogás, así como el proceso de digestión anaeróbica más adecuado. Además, el tipo de biomasa determinará si es necesario un pretratamiento, como un separador de sólidos, triturador desarenador o fosa de mezclado, para asegurar que la operación del sistema no se vea afectada

B) Diseño de biodigestores.

Según Mago M. et al. [6], los biodigestores se diseñan de acuerdo a las siguientes características:

- Según el almacenamiento del gas.
- Por su forma geométrica.
- Tipo de materiales de construcción.
- Según su posición respecto a la superficie.

Además, según la FAO [9] en zonas rurales es fundamental considerar el tipo de biodigestor a implementar en función del tipo de residuo que se desea utilizar, así como el tiempo disponible para el proceso de digestión.

C) Propuesta de implementación de planta de producción de biogás y energía eléctrica

Ubicación de la planta

Para la implementación de una planta de generación de energía eléctrica a partir de biomasa, se ha propuesto establecer provisionalmente junto a uno de los botaderos del distrito de Huancavelica. Posteriormente, se buscará el apoyo de la municipalidad distrital para ampliar la ocupación y utilizar todo el espacio del botadero, permitiendo el desarrollo completo de la actividad proyectada. En esta primera fase, la planta ocupará una superficie de 4,9 hectáreas, localizada en las coordenadas aproximadas 12°49 '10.05 " S, 74°54' 33.39" O, a una altitud de 4117 msnm. La elección de esta ubicación responde a una estrategia que facilita el acceso a residuos orgánicos generados en el distrito de Huancavelica, así como a estiércol de alpaca, producto del programa Pro Alpaca, el cual tiene presencia en todo el departamento de Huancavelica.



Fig. 4 Biodigestor- Pampachaca, Huancavelica

Estructura interna de la planta de producción de biogás

Se plantea la siguiente estructura para el circuito de producción de biogás a partir de la biomasa:

A) Tanque de Alimentación:

Aquí se almacena la materia prima que será procesada en los biodigestores. Puede incluir residuos orgánicos como estiércol, restos de alimentos o biomasa. Este tanque alimenta de manera controlada los biodigestores.

B) Biodigestores (2 de 500m³):

Son las estructuras principales donde ocurre la digestión anaeróbica. Los microorganismos descomponen la materia orgánica en ausencia de oxígeno, generando biogás (mezcla de metano y dióxido de carbono) como subproducto. Estos biodigestores están conectados con sistemas de recirculación de lodos para optimizar el proceso y garantizar la eficiencia de la descomposición. En este caso, el tipo de biodigestor a implementar será discontinuo, ya que los residuos orgánicos se cargan en lotes, en donde se vacía el biodigestor y recarga el sistema tras completar cada ciclo de fermentación.

C) Tanques de Nitrificación y Desnitrificación:

Estos sistemas complementarios se utilizan para tratar los subproductos líquidos generados en los biodigestores, como el biol. Este es transportado mediante tuberías hacia los tanques, donde se lleva a cabo la nitrificación, que transforma el amonio en nitratos, y la desnitrificación, que elimina los nitratos al convertirlos en nitrógeno gaseoso, reduciendo así la carga contaminante.

D) Lecho de Secado:

Otro subproducto generado durante la fermentación anaeróbica de la biomasa son los lodos, los cuales se extraen de los biodigestores y se trasladan a cámaras de secado. En estas

cámaras, se realiza el proceso de deshidratación de los lodos residuales. Los sólidos obtenidos pueden ser aprovechados como fertilizantes orgánicos.

E) Laguna de Descarga:

Aquí se almacenan los efluentes líquidos o el biol tratado, listos para ser utilizados.

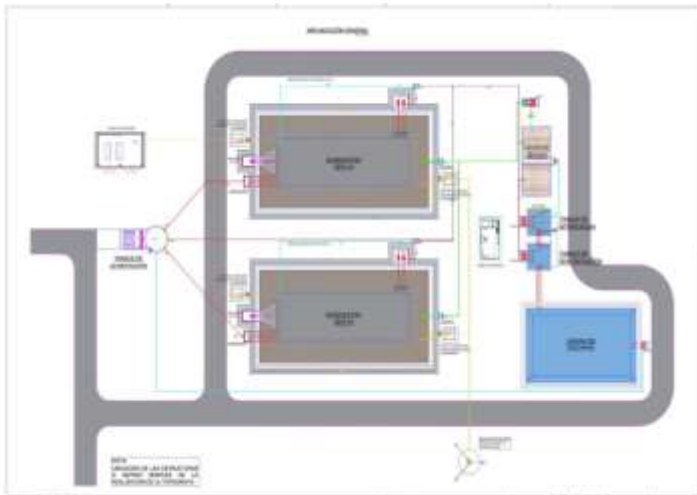


Fig. 5 Plano de estructura interna de la planta de generación de biogás

Elección de grupos electrógenos para generación de energía eléctrica a partir del biogás tratado

Según Lezama C. [10], para seleccionar el generador adecuado, se eligió un generador a biogás (Grupo Electrógeno), que convierte energía mecánica en eléctrica. Los criterios de selección fueron: el tipo de combustible (biogás), que debe tener más del 50% de metano; el generador será fijo para un funcionamiento continuo; y la eficiencia del motor debe ser superior al 50%.

Características del Motor

El motor seleccionado debe cumplir con los siguientes criterios:

1. **Tipo de Combustible:** Utiliza biogás, que debe contener un mínimo de 50% de metano para garantizar una combustión eficiente.
2. **Configuración Operativa:** Diseñado para operación continua, ideal para plantas con suministro estable de biogás.
3. **Eficiencia:** Debe alcanzar al menos un 50% en conversión de energía para maximizar la producción eléctrica a partir del biogás.

Potencia Generada

Se detalla que el motor genera electricidad suficiente para cubrir la demanda diaria de las comunidades:

- Con dos biodigestores de 500 m³ cada uno, se produce un total aproximado de **913.24 kWh/día**.
- Esta capacidad cubre holgadamente el consumo estimado de las comunidades de **684 kWh/día**, garantizando un excedente para otros usos potenciales.

Consumo de Biogás por kWh Generado

El consumo de biogás se calcula considerando la capacidad del biodigestor y la producción diaria de energía:

- Cada biodigestor de 500 m³ genera aproximadamente **456.62 kWh/día**.
- La eficiencia de conversión del biogás en energía eléctrica permite estimar que se requieren cerca de **0.5 a 0.6 m³ de biogás por kWh generado**, dependiendo de las condiciones operativas y del contenido de metano en el biogás.



Fig. 6 Motor

4. Resultados

El proyecto demuestra que las comunidades de Quiral Quichqui, Las Tres Boas y Huaylacucho cuentan con una amplia disponibilidad de biomasa para la generación de biogás. En Quiral Quichqui se identificaron 450 toneladas anuales de residuos agrícolas, provenientes principalmente de maíz, papa y trigo, y 120 toneladas de estiércol. En Las Tres Boas, la mayor proporción de biomasa proviene de estiércol de vacuno y ovino, alcanzando 220 toneladas

anuales, mientras que los residuos agrícolas no superan las 100 toneladas anuales. Por su parte, Huaylacucho dispone de 320 toneladas de residuos forestales y 200 toneladas de residuos agrícolas anuales, consolidándose como una comunidad con recursos mixtos.

La capacidad de biodigestión se ha estimado en función de la cantidad de biomasa disponible y la capacidad instalada. Cada biodigestor, con un volumen de 500 m³, puede producir aproximadamente 456.62 kWh/día de energía eléctrica. Con la instalación de dos biodigestores, la producción total alcanza los 913.24 kWh/día, lo que permite cubrir completamente la demanda energética diaria de las comunidades, estimada en 684 kWh/día, y genera un excedente energético del 25%.

Para la generación de electricidad, se seleccionó un generador a biogás diseñado para operar de manera continua, con un combustible compuesto por al menos 50% de metano y una eficiencia de conversión superior al 50%. Este sistema no solo garantiza el abastecimiento de energía eléctrica, sino que también permite aprovechar subproductos como el biol y los lodos residuales, que son utilizados como fertilizantes orgánicos, contribuyendo así al fortalecimiento de la agricultura local.

5. Discusión

El análisis evidencia la viabilidad técnica, económica y ambiental del proyecto. La biomasa disponible en las comunidades no solo es suficiente para mantener un flujo constante de biogás, sino que su aprovechamiento contribuye a mitigar problemas asociados a la gestión de residuos orgánicos. Esto se traduce en un impacto ambiental positivo, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de fuentes energéticas contaminantes como la leña y el diésel. Según el Ministerio del Ambiente [2], el metano liberado por la descomposición inadecuada de residuos tiene un impacto 25 veces mayor que el CO₂, por lo que su aprovechamiento energético ayuda a disminuir el cambio climático. Además, la electrificación de las comunidades facilita el acceso a servicios esenciales como la educación y la salud, un beneficio que ha sido reconocido como clave en proyectos de biomasa en países como Kenia e India, donde el uso de biodigestores ha reducido los costos energéticos y mejorado la calidad de vida [12], [13].

La producción de energía alcanza niveles óptimos gracias a un diseño eficiente del sistema. Con un consumo promedio de 0.5 a 0.6 m³ de biogás por kWh generado, los biodigestores y el generador a biogás logran un equilibrio entre el aprovechamiento de recursos locales y la generación de energía. Este rendimiento refleja la importancia de una correcta selección de equipos, considerando la composición del biogás y la capacidad técnica disponible en las comunidades. Este enfoque se alinea con proyectos exitosos, como los de gasificación en

Brasil, donde se generan 3.5 MWh diarios a partir de residuos agrícolas, demostrando la viabilidad de estas tecnologías en zonas rurales [12]. Asimismo, la gasificación y digestión anaeróbica, utilizadas en Huancavelica, son reconocidas como métodos efectivos en la conversión de biomasa, con eficiencias de hasta el 70% en el caso de la gasificación [14].

No obstante, se identificaron algunos retos que deben ser gestionados para garantizar la sostenibilidad a largo plazo. La logística para recolectar biomasa de diversas fuentes, el mantenimiento de los sistemas y la capacitación técnica de los operadores son elementos clave que necesitan atención constante. Además, es fundamental establecer mecanismos de monitoreo para asegurar la calidad del biogás y prevenir interrupciones en el suministro energético. Estos desafíos han sido documentados en estudios previos en América Latina, donde la falta de infraestructura y financiamiento afecta la implementación de tecnologías basadas en biomasa, a pesar de su potencial para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y proporcionar energía limpia [15].

6. Conclusiones

Finalmente, el proyecto resalta la importancia de fomentar la participación comunitaria y la integración de políticas públicas que promuevan el uso de energías renovables en zonas rurales. Experiencias internacionales, como el programa National Biogas and Manure Management Programme de India [16], han mostrado que la incorporación de tecnologías de biomasa en comunidades rurales contribuye a la generación de energía eléctrica, reduciendo la dependencia de fuentes no renovables [12]. En este sentido, los biodigestores han demostrado ser una fuente efectiva de energía, con una capacidad de producción de 456.62 Kwh/día por biodigestor, alcanzando un total de 913.24 Kwh/día con dos unidades. Esta producción se logra mediante el uso de estiércol de vacuno y ovino recolectado de las comunidades como materia prima para la generación de energía eléctrica a partir del biogás generado. Según Mago M., et al. [6], la producción de energía del estiércol de ovino es de 0.054 kWh por kg, mientras que el estiércol de vacuno produce 0.34 kWh por kg. Este caso en particular sienta las bases para replicar el modelo en otras regiones del país, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la transición hacia una matriz energética más limpia y equitativa, en línea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 7, que busca garantizar energía asequible y sostenible para todos [3].

Referencias

- [1] INEI. "Huancavelica: Compendio estadístico 2021". 2021. [Online]. Available: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/4268277/Compendio%20Estad%C3%ADstico%2C%20Huancavelica%202021.pdf>

- [2] Ministerio del Ambiente (MINAM). “Informe de la gestión de residuos orgánicos en Perú. Gobierno del Perú”. 2023. [Online]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/>
- [3] Naciones Unidas. “Transformar nuestro mundo: La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible”. 2015. [Online]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- [4] INEI. “Directorio Nacional de Centros Poblados Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas”. 2017. [Online]. Available: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1541/tomo3.pdf
- [5] Municipalidad Provincial de Huancavelica. “Plan Integral De Gestión Ambiental De Residuos Sólidos Provincia-Huancavelica”. 2015. [Online]. Available: https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-huancavelica/archivos/public/docs/final_pigars.pdf
- [6] Mago M., Sosa, J., Flores, B., & Tovar, L.” Propuesta de diseño de una planta de biogás para la generación de potencia eléctrica en zonas pecuarias de Venezuela a través del programa Biodigestor”. 2014. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/707/70732656008.pdf>
- [7] MIDAGRI. “Huancavelica: Una región con potencial”. 2024. [Online]. Available: <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/especiales/aliados/Huancavelica.pdf>
- [8] Comunidades campesinas en la región Huancavelica. “Contexto social, económico e institucional de la región Huancavelica”. 2021. [Online]. Available: <https://centroderecursos.cultura.pe/sites/default/files/rb/pdf/Comunidades%20campesinas%20en%20la%20region%20HUANCAMELICA.pdf>
- [9] FAO. “Guía Teórico-Práctica Sobre El Biogás Y Los Biodigestores”. 2019. [Online]. Available: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b317eeae-270f-48f4-92d7-3e0fff8a7873/content>
- [10] Lezama C. “Generación de energía eléctrica a partir de la obtención de biogás del camal municipal de Chimbote”. 2023. [Online]. Available: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/112485/Cordova_LAI-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [11] Haitai Power. “Generador de GLP”. 2024. [Online]. Available: <https://es.hitepower.com/product-propane-gas-lpg-power-generator-set.htm>
- [12] IRENA. “Estadísticas de Capacidad Renovable 2022”. 2022. [Online]. Available: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2022.pdf
- [13] Africa Biogas Partnership Programme. “Scaling up biogas: Africa Biogas Partnership Programme’s milestones”. 2009. [Online]. Available: <https://www.africabiogas.org>
- [14] Basu, P. (2018). “Biomass gasification, pyrolysis, and torrefaction: Practical design and theory (3.^a ed.)”. 2018. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/C2016-0-03961-7>
- [15] Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). “Energías renovables en América Latina y el Caribe: Avances y desafíos en el acceso universal a la energía. Naciones Unidas”. 2021. [Online]. Available: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/47192>
- [16] National Biogas and Manure Management Programme. “Annual performance report”. 2021. [Online]. Available: <https://www.nbmm.org>