

Implementación de biodigestor para desechos sólidos en el recinto San Luis La Quinta en Pangua

Implementation of a biodigester for solid waste at the San Luis La Quinta facility in Pangua



Wimper Enrique Soto Macay: Instituto Superior Universitario Cotopaxí, Tecnólogo en Gestión Territorial del Cambio Climático

<https://orcid.org/0009-0003-0073-3159>

Ángel Velásquez Cajas: Instituto Superior Universitario Cotopaxí, Máster en Creación de Guiones Audiovisuales,

<https://orcid.org/0000-0002-1814-1691>

Germánico Sinchiguano Molina: WARTSILA S.A. Magister en Gestión de Energías,

<https://orcid.org/0009-0006-8400-6072>

Autor de correspondencia: wesotom@istx.edu.ec

Recibido: 31 julio 2025

Publicado: 25 septiembre 2025

DOI: <https://doi.org/10.64424/rcu42202574>

Resumen:

Este trabajo nació del compromiso con la búsqueda de soluciones sostenibles para mejorar el saneamiento en zonas rurales. En la comunidad de San Luis La Quinta, ubicada en el cantón Pangua, Ecuador se instaló un sistema de biodigestión de residuos sólidos como alternativa ecológica y práctica. La iniciativa no solo contempló la construcción del biodigestor, sino también un proceso participativo donde los habitantes se involucraron activamente, lo que permitió adaptar la tecnología al contexto local y asegurar su apropiación. Además, se realizó una evaluación de la calidad del agua antes y después de la implementación, utilizando análisis físico-químicos y microbiológicos. Los resultados mostraron mejoras importantes, evidenciando que el biodigestor no solo refuerza el sistema de alcantarillado existente, sino que también protege la salud de la comunidad y el entorno natural. El proceso, desde el diseño hasta los resultados, fue sistematizado en este artículo con el propósito de compartir tanto el conocimiento técnico como las experiencias vividas. La esperanza es que este proyecto servirá de modelo para otras comunidades que lo adopten.

Palabras clave: desarrollo rural, gestión de residuos, saneamiento rural

Abstract:

This work was born out of a commitment to the search for sustainable solutions to improve sanitation in rural areas. In the community of San Luis La Quinta, located in the canton of Pangua, Ecuador, a solid waste biodigestion system was installed as an ecological and practical alternative. The initiative not only included the construction of the biodigester, but also a participatory process in which the inhabitants were actively involved, which allowed the technology to be adapted to the local context and ensured its appropriation. In addition, an evaluation of the water quality before and after implementation was carried out using physical-chemical and microbiological analyses. The results showed significant improvements, demonstrating that the biodigester not only reinforces the existing sewage system, but also protects the health of the community and the natural environment. The process, from design to results, was systematized in this article with the purpose of sharing both technical knowledge and experiences. The hope is that this project will serve as an example for other communities seeking sustainable alternatives to manage their waste and enhance their well-being.

Keywords: rural development, waste management, rural sanitation



Introducción

El reconocimiento de la persistente problemática en el acceso y gestión de servicios básicos de saneamiento, específicamente en lo que se refiere al tratamiento de aguas residuales y la disposición responsable de residuos sólidos, continúa siendo uno de los desafíos estructurales más significativos en las áreas rurales de América Latina. Esta situación es particularmente evidente en países andinos, como Ecuador, donde factores como la limitada cobertura de sistemas de drenaje, niveles insuficientes de educación ambiental en la población y la baja utilización de metodologías técnicas no contaminantes han generado impactos preocupantes tanto en la salud de los residentes como en la protección de los ecosistemas circundantes (CEPAL, 2021).

Según cifras oficiales del Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2017), aproximadamente la mitad de las zonas rurales del país descargan sus aguas residuales directamente en el medio ambiente sin tratamiento previo alguno. Esta realidad pone en riesgo no solo la salud pública, sino también la integridad de los acuíferos locales y los recursos hídricos asociados.

Frente a este escenario, resulta fundamental promover la incorporación de tecnologías apropiadas, eficientes, replicables y adaptadas a las condiciones del medio rural. En este contexto, los biodigestores emergen como una alternativa viable, dado que facilitan el procesamiento anaeróbico de residuos orgánicos, generando biogás y subproductos líquidos con potencial fertilizante, promoviendo así soluciones integradas de saneamiento y producción de energía.

Variadas investigaciones recientes, como las desarrolladas por Menéndez-Meza (2020) y Menéndez-Peralta (2021), han registrado casos exitosos en comunidades rurales del cantón Jipijapa, donde la implementación de biodigestores permitió mejorar la calidad del agua tratada, reducir la carga contaminante y, adicionalmente, ofrecer recursos energéticos útiles para las familias involucradas. Por ejemplo, Menéndez Meza diseñó un prototipo de tanque biodigestor en el recinto Chade, logrando una significativa disminución de materia orgánica y presencia de bacterias en los efluentes residuales, además de reutilizar el efluente tratado en sistemas de riego de bajo impacto ambiental. De manera similar, en la comunidad de El Ramito, la adaptación de este sistema, considerando aspectos sociales y geográficos, ha dado origen a un modelo descentralizado de saneamiento con impactos positivos en la calidad de vida de los habitantes.

Apoyado en los aprendizajes obtenidos, este trabajo tiene como propósito documentar la implementación de un biodigestor en la comunidad, describiendo detalladamente cada una de sus fases técnicas y evaluando su impacto sobre la calidad del agua tras su puesta en funcionamiento. El objetivo central es determinar si esta tecnología puede integrarse de manera eficaz al sistema de drenaje parcial existente, contribuyendo a mitigar los efectos ambientales negativos y fortaleciendo la participación comunitaria. Esta iniciativa se enmarca en el cumplimiento del Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 6 (ONU, 2015), orientado a garantizar el acceso universal al agua limpia y al saneamiento adecuado.

A pesar de algunos avances en infraestructura y regulación, muchas comunidades rurales en el país continúan sin acceso a soluciones de saneamiento seguras. Esta brecha representa una amenaza a derechos fundamentales, como el acceso a agua potable, y acelera procesos de deterioro ambiental, además de profundizar desigualdades sociales. En comunidades donde la gestión de residuos domésticos y agropecuarios es inapropiada, se han identificado focos de contaminación que afectan tanto la biodiversidad como el bienestar de los pobladores, especialmente de los grupos más vulnerables.

Por otra parte, los sistemas de tratamiento existentes en la zona resultan insuficientes para gestionar adecuadamente los residuos generados, obligando a muchas familias a descargar aguas residuales en cuerpos de agua cercanos o a implementar soluciones improvisadas que agravan la problemática. Este escenario se ve agravado por la limitada presencia institucional, la escasa capacitación técnica y la falta de programas de educación ambiental, factores que dificultan el desarrollo de estrategias sostenibles y de intervención a largo plazo.

Considerando lo anterior, resulta imperativo promover soluciones de bajo costo, de fácil mantenimiento y contextualizadas a las realidades locales, como los biodigestores. Sin embargo, la falta de sistematización en los proyectos y de estudios técnicos que respalden sus beneficios ha limitado su expansión y adopción. Por ello, este trabajo busca aportar datos sólidos que demuestren su funcionamiento, con el fin de favorecer la confianza tanto de las comunidades como de los actores institucionales y financieros.

El presente estudio tiene como objetivo principal describir la implementación de un biodigestor de residuos sólidos en una comunidad del cantón Pangua, mediante la sistematización del proceso técnico y la evaluación de la calidad del agua, con la finalidad de reducir el impacto ambiental de las descargas residuales no tratadas y promover un modelo de tratamiento alternativo replicable en entornos rurales. Asimismo, busca contribuir a la consecución de metas relacionadas con el desarrollo sostenible, específicamente en las áreas de gestión ambiental, saneamiento básico y acción climática.

Categorías conceptuales

Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 (ODS 6)

El Objetivo de Desarrollo Sostenible 6 tiene como finalidad garantizar la disponibilidad y gestión sostenible del recurso hídrico, promoviendo el acceso universal a servicios adecuados de saneamiento. Entre sus metas específicas, destaca la mejora en la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación de vertimientos de residuos contaminantes y un incremento en el tratamiento de aguas residuales cloacales, en concordancia con lo establecido por la Organización de las Naciones Unidas en 2015.

Sin embargo, según información proporcionada por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2021), aún existen más de 75 millones de habitantes en la región que carecen de acceso a sistemas de saneamiento gestionados de manera segura. Esta problemática, con particular afectación en comunidades rurales e indígenas, limita el bienestar social, obstaculiza los avances hacia una gestión integral de los recursos hídricos y perpetúa condiciones de pobreza multidimensional. Estas brechas estructurales dificultan la implementación de soluciones sostenibles y contribuyen a mantener desigualdades sociales y ambientales.

En este contexto, la presente investigación busca aportar datos verificables sobre cómo tecnologías apropiadas, como los biodigestores, pueden contribuir al logro del ODS 6 desde una perspectiva local, descentralizada y participativa, adaptándose a las necesidades específicas del territorio ecuatoriano.

Biodigestor

Un biodigestor es un sistema diseñado para tratar materia orgánica mediante procesos de descomposición anaeróbica, produciendo biogás y un efluente líquido con alto contenido de nutrientes. Esta tecnología ha ganado reconocimiento por su capacidad para reducir la carga contaminante en aguas residuales en áreas rurales, donde la infraestructura sanitaria es limitada (Menéndez-Meza, 2020; FAO, 2013).

La implementación de biodigestores no solo favorece el saneamiento básico, sino que también fomenta la economía circular al convertir los residuos orgánicos en recursos energéticos o fertilizantes de uso agrícola. Su costo accesible, facilidad de operación y compatibilidad con comunidades rurales la posicionan como una alternativa confiable frente a los sistemas tradicionales, que suelen requerir inversiones elevadas y mantenimiento técnico especializado.

Residuos sólidos

La gestión adecuada de residuos sólidos representa uno de los principales desafíos medioambientales en las zonas rurales del Ecuador, donde la falta de sistemas organizados de recolección y disposición final genera impactos negativos sobre el suelo, las aguas y la salud pública.

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (MAATE, 2023), muchas comunidades disponen de residuos orgánicos e inorgánicos sin control, siendo depositados directamente en ríos, quebradas o terrenos baldíos, lo que provoca contaminación y proliferación de vectores de enfermedades. Esta situación se agrava por la limitada alfabetización ambiental y la insuficiencia de políticas públicas efectivas que promuevan la segregación, valorización y tratamiento en origen.

En este marco, el uso de biodigestores puede constituir una estrategia eficaz para gestionar residuos orgánicos domiciliarios, transformándolos en recursos útiles como energía y biofertilizantes. La gestión integral de residuos sólidos requiere la combinación de estrategias de reducción, reutilización, reciclaje y tratamiento.

En comunidades rurales, tecnologías sencillas y de bajo costo, como los biodigestores, pueden integrarse en programas locales de saneamiento ambiental, facilitando un ciclo sostenible de residuos. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), la incorporación de tecnologías apropiadas en el manejo de residuos contribuye a mejorar la salud comunitaria y reducir la exposición a agentes patógenos.

5

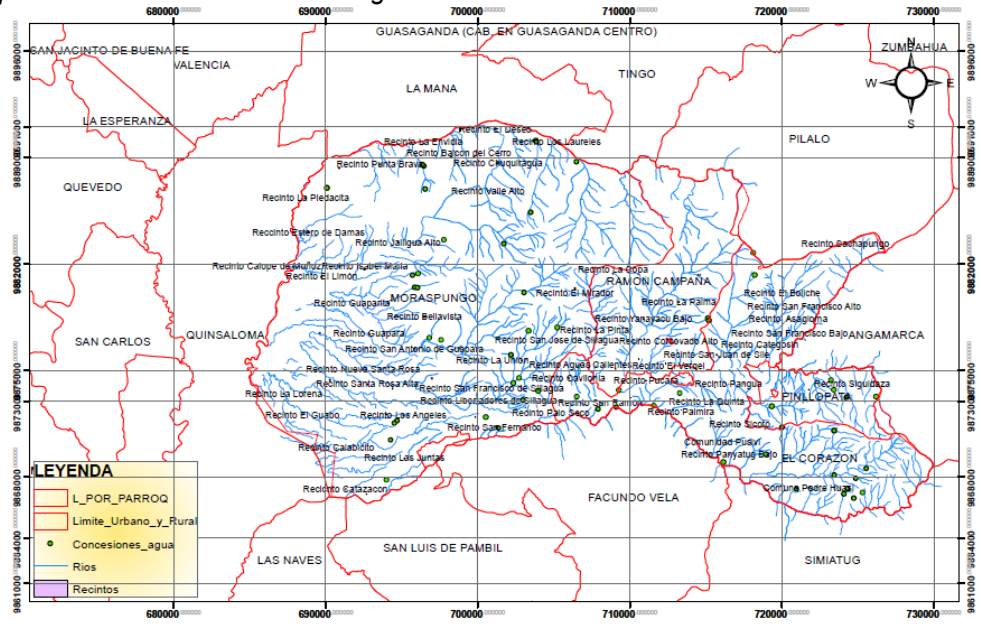
Metodología

La estrategia metodológica adoptada en esta investigación se basó en un enfoque integral que combina aspectos técnicos, pedagógicos y ambientales, permitiendo un análisis exhaustivo del fenómeno desde la perspectiva de los autores especializados. En primera instancia, se procedió al análisis del marco normativo, técnico y científico vigente relacionado con la utilización de biodigestores como sistemas descentralizados para el tratamiento de aguas residuales en comunidades rurales. Posteriormente, se implementó el proceso de instalación del biodigestor, incluyendo la selección de materiales adecuados, las fases constructivas y las estrategias de participación comunitaria para garantizar la apropiación y sostenibilidad del proyecto. Finalmente, se realizó una evaluación de los efectos del biodigestor en la calidad del agua, mediante la realización de análisis físico-químicos y microbiológicos tras la puesta en marcha del sistema.

El trabajo de investigación se llevó a cabo en el sector rural de San Luis La Quinta, ubicado en el cantón Pangua, en la provincia de Cotopaxi. Esta comunidad se caracteriza por su clima subtropical húmedo y una topografía ligeramente ondulada, enriquecida con paisajes de cultivos agrícolas y diversas fuentes de agua superficiales. La población está compuesta mayoritariamente por familias que principalmente desarrollan actividades agropecuarias de subsistencia, las cuales constituyen su principal medio de sustento y modo de vida.

Figura 1

Mapa de ubicación del cantón Pangua.



Nota. Autores, (2025)

El presente estudio se desarrolla en el cantón Pangua, situado en la provincia de Cotacachi, Ecuador, en una zona que constituye una transición ecológica entre la Región de la Costa y la región Interandina, lo que le otorga características distintivas y particulares. La ubicación geográfica exacta se encuentra en las coordenadas 1°02' de latitud sur y 79°10' de longitud oeste, a una altitud promedio de aproximadamente 1.200 metros sobre el nivel del mar. La región presenta un clima típicamente cálido y húmedo, favoreciendo la actividad agrícola, con lluvias anuales que superan los 2.000 mm y temperaturas que oscilan entre 20 °C y 24 °C. Estas condiciones climáticas y naturales permiten una eficiente producción de cultivos como maíz, yuca, plátano y caña de azúcar, facilitando sus procesos de cultivo y crecimiento gracias a la alta capacidad de retención de agua del suelo, resultado de su origen volcánico.

A pesar de sus condiciones naturales favorables, la comunidad enfrenta desafíos significativos en términos de infraestructura y servicios básicos. En particular, la gestión de residuos sólidos presenta deficiencias considerables, evidenciadas en prácticas como la quema, el depósito de residuos en espacios abiertos y la disposición de desechos en cuerpos de agua, acciones que representan riesgos ambientales y de salud pública. En respuesta a esta problemática, se propone la implementación de un biodigestor, como una solución sostenible para convertir los residuos biodegradables en energía y fertilizante natural, promoviendo así un modelo de gestión ambiental que pueda ser replicado en otras comunidades rurales con problemáticas similares.

Metodológicamente, el estudio adoptó un enfoque no experimental, basado en la observación y documentación de la realidad cotidiana de los habitantes, permitiendo identificar y analizar las condiciones tal cual se presentan en su entorno natural (Hernández Sampieri et al., 2014). Se utilizó una perspectiva analítica que segmentó el problema en áreas específicas, facilitando así la comprensión de sus causas y la identificación de soluciones viables ajustadas a la realidad local. Además, se empleó un enfoque cuantitativo, recolectando y analizando datos numéricos relacionados con los residuos generados y el rendimiento del biodigestor (Velázquez-Cajas y Villacís Torres, 2024).

Este proyecto surge ante la necesidad urgente de mejorar el manejo de la materia orgánica residual en la comunidad de San Luis La Quinta. La investigación se realizó de manera presencial en el territorio, denominándose estudio in situ, lo que permitió validar en condiciones reales el funcionamiento del sistema implementado y recabar información directa de los habitantes (Tamayo y Tamayo, 2005). Para abordar la problemática de saneamiento, se diseñó y construyó un biodigestor de tipo tubular, elaborado con materiales de bajo costo y fácil acceso, adecuados para el contexto rural. A continuación, en la tabla 1, se presenta un resumen de las principales características del sistema.

Tabla 1

Diseño del biodigestor instalado en San Luis La Quinta.

Componente	Especificación técnica
Tipo de biodigestor	Tubular
Material principal	Tanque de polietileno de alta densidad (PEAD)
Accesorios	Tuberías de PVC, válvulas, conectores
Volumen de tratamiento	Aprox. 20 m ³ diarios
Carga orgánica procesada	Excretas humanas, residuos alimentarios, agua
Productos resultantes	Biogás (CH ₄ y CO ₂), digestato líquido con valor fertilizante
Función	Saneamiento, producción de energía y biofertilizante

Nota Autores, (2025)

El sistema está equipado con una cámara de almacenamiento cerrada diseñada para la contención de residuos, los cuales son previamente mezclados con agua. En condiciones de ambiente anaeróbico, microorganismos naturales llevan a cabo la descomposición de la materia orgánica, resultando en la producción de biogás y un subproducto líquido que puede ser utilizado en actividades agrícolas, aportando beneficios en términos de sostenibilidad y aprovechamiento de recursos.

Figura 2

Proceso de instalación del biodigestor.



Nota. Autores, (2025)

Se llevó a cabo un análisis comparativo de la calidad del agua posterior a la implementación del sistema, siguiendo los protocolos establecidos por el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN). Los parámetros sometidos a evaluación incluyeron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), la concentración de sólidos suspendidos y la presencia de coliformes fecales, con el fin de garantizar la calidad y seguridad del agua tratada.

Adicionalmente, se realizó un diagnóstico de la gestión de residuos y del uso del sistema mediante la aplicación de encuestas y entrevistas a los actores involucrados. Participaron en este proceso un total de 30 personas, seleccionadas mediante muestreo no probabilístico intencional, principalmente líderes comunitarios y usuarios directos del biodigestor.

Para la recopilación de la información, se utilizaron las siguientes herramientas metodológicas:

- Fichas de observación directa, con el objetivo de registrar las condiciones sanitarias y la disposición de residuos antes de la implementación del sistema.
- Encuestas estructuradas, dirigidas a los residentes del área, para recabar percepciones sobre el funcionamiento y los beneficios del sistema.
- Entrevistas semiestructuradas con líderes comunitarios y responsables técnicos, con el fin de obtener información cualitativa adicional.
- Análisis de laboratorio de muestras de agua, realizado conforme a los protocolos de calidad del INEN 1108:2014.

La aplicación de estas técnicas de triangulación permitió obtener una valoración integral del impacto del biodigestor en los ámbitos sanitario, social y ambiental.

Figura 3

Biodigestor instalado.



Nota. Autores, (2025)

Para comprender de manera integral la situación, se emplearon diversos métodos de investigación. En primer lugar, se realizó un análisis directo de las prácticas de gestión de residuos por parte de las familias antes de la implementación del proyecto. Paralelamente, se llevaron a cabo encuestas que permitieron recopilar información precisa respecto a los tipos, volúmenes y periodicidad de los residuos generados.

Los instrumentos utilizados incluyeron fichas de observación, encuestas dirigidas a líderes comunitarios y entrevistas a los usuarios del sistema. La combinación de estas herramientas facilitó la obtención de datos confiables y relevantes, que sirvieron como base para fundamentar las decisiones técnicas, respaldadas en información real y verificable (Balestrini, 2002).

Se diseñó e impulsó un estudio de percepción entre los residentes de la comunidad, cuyos resultados permiten identificar las principales valoraciones respecto a la operatividad, beneficios y sostenibilidad del sistema implementado. Los hallazgos indican un alto nivel de satisfacción general y una valoración positiva respecto al impacto ambiental y sanitario del biodigestor. Además, se evidencia una buena aceptación del proyecto, aunque también se identifican áreas potenciales de mejora, particularmente en aspectos relacionados con la accesibilidad operativa y la optimización del aprovechamiento del biogás.

Resultados

Diagnóstico ambiental y condición del agua disponible

Durante un período prolongado, se ha observado que los residentes de la zona enfrentan desafíos continuos relacionados con la calidad de los recursos hídricos. En el marco de este estudio, se realizaron análisis en sistemas de aguas estratificadas ubicados en áreas cercanas a puntos de descarga de residuos. Los resultados obtenidos indican la presencia de niveles elevados de sólidos suspendidos totales y coliformes fecales, los cuales superan considerablemente los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2014, aplicables tanto al agua para consumo humano como para actividades agrícolas.

Esta situación refleja una problemática frecuente en diversas comunidades rurales del Ecuador, donde la liberación de aguas contaminadas, la acumulación de residuos orgánicos y la insuficiencia de infraestructura de saneamiento han convertido esta realidad en una característica habitual del entorno. Se identificaron prácticas como la descarga directa en pozos sépticos improvisados y el uso de barrancos estrechos como canales de evacuación de efluentes, acciones que, muchas veces motivadas por la necesidad, han contribuido al deterioro paulatino de la calidad del recurso hídrico, comprometiendo tanto su disponibilidad como su idoneidad para usos esenciales como el consumo, la higiene y la agricultura.

Diseño e implementación del biodigestor

En respuesta a las condiciones específicas del entorno, se ha instalado un biodigestor que ofrece una solución técnica viable y sostenible. Este sistema, de diseño tubular, ha sido fabricado utilizando un tanque de polietileno de alta densidad (PEAD), un material reconocido por su durabilidad, rentabilidad y facilidad de mantenimiento. La estructura cuenta con una cámara cerrada destinada a la acumulación de desechos orgánicos, incluyendo excretas humanas y residuos alimenticios, previamente mezclados con agua en proporciones adecuadas para facilitar su procesamiento eficiente.

Dentro del biodigestor, los residuos son sometidos a un proceso de descomposición anaerobia inducido por bacterias específicas, produciendo principalmente biogás —una mezcla de metano y dióxido de carbono— y un digestato líquido con alto contenido de nutrientes. Este proceso natural contribuye a la gestión adecuada de los residuos, mitigando su impacto ambiental y transformándolos en recursos útiles para la comunidad.

La construcción del biodigestor se llevó a cabo en un período de dos semanas, mediante la participación activa de mano de obra local. Además, se complementó con actividades de capacitación dirigidas a los miembros de la comunidad para asegurar el correcto funcionamiento y mantenimiento del sistema.

Tabla 2

Evaluación técnica y eficiencia del sistema.

Indicador técnico	Valor observado	Comentarios
Producción de biogás	200 – 300 litros por día	Volumen diario de biogás generado
Reducción de carga orgánica	Promedio del 60 %	Eficiencia en el tratamiento de residuos
Temperatura interna del biodigestor	30 °C – 35 °C	Rango óptimo para la actividad microbiana
pH del digestato	6.8 – 7.2	Adecuado para uso agrícola
Contenido de nutrientes en digestato	N: 1.2 %, P: 0.6 %, K: 1.5 %	Indicadores de fertilidad del digestato

Nota. Autores, (2025)

Este informe confirma que el rendimiento alcanzado cumple con los estándares establecidos para el tratamiento primario, así como también demuestra la generación de subproductos beneficiosos para la agricultura. Los datos empíricos recolectados respaldan la eficiencia operativa del sistema, consolidándolo como una solución económicamente viable y significativa en la optimización del manejo y tratamiento de residuos orgánicos. Además, el uso del digestato como fertilizante natural ha mostrado mejoras notables en la textura y fertilidad del suelo, contribuyendo simultáneamente a la reducción de la dependencia de insumos químicos industriales. Asimismo, el análisis del biofertilizante ha evidenciado la presencia de componentes nutricionales clave, como nitrógeno, fósforo y potasio, esenciales para promover un crecimiento vegetal saludable (FAO, 2020).

Impactos sociales y culturales

Además de los beneficios técnicos, el proyecto ha propiciado transformaciones positivas en el ámbito social de la comunidad. En este sentido, las familias beneficiarias han reportado avances relevantes en su bienestar general, particularmente en aspectos relacionados con la salud y la calidad de vida en el entorno familiar. La utilización del biogás ha contribuido a reducir la exposición al humo proveniente de la combustión de leña, lo que potencialmente puede disminuir la incidencia de enfermedades respiratorias, especialmente entre mujeres y niños en el ámbito doméstico, quienes suelen estar más expuestos a estos riesgos.

De manera complementaria, la implementación del biodigestor ha sido acompañada por iniciativas de participación comunitaria. La comunidad ha demostrado un interés creciente en la protección y conservación del sistema, participando activamente en actividades de limpieza, monitoreo y mantenimiento. Esta apropiación colectiva resulta esencial para garantizar la sostenibilidad y el correcto funcionamiento del proyecto.

En el ámbito educativo, se ha promovido una mayor comprensión acerca de la importancia de una adecuada gestión de los residuos y la protección del recurso hídrico. Se ha observado un cambio en la percepción de los desechos: de ser considerados como un problema, ahora se reconocen como oportunidades para la generación de energía, producción de fertilizantes y la mejora de las condiciones de vida en la comunidad.

Resultado de la encuesta realizada

Los datos obtenidos reflejan una aceptación generalizada del proyecto, así como áreas identificadas para optimizar aspectos relacionados con la accesibilidad operativa y el aprovechamiento del biogás. Estos hallazgos resaltan la necesidad de fortalecer los programas de capacitación y de ofrecer un soporte técnico más efectivo. A continuación, se presenta un resumen de los aspectos más relevantes derivados del análisis de las respuestas, destacando los resultados clave para su consideración.

Tabla 3

Resultados de la encuesta comunitaria sobre el uso del biodigestor.

Dimensión evaluada	Respuestas predominantes	%	Observaciones técnicas
Satisfacción general	Muy satisfecho / Satisfecho	93%	Alta aceptación del sistema
Condiciones de saneamiento	Sí, mucho / Sí, algo	90%	Percepción positiva del impacto sanitario
Facilidad de uso	Distribución equilibrada	60%	Requiere reforzar la capacitación operativa
Calidad de la capacitación	Buena / Regular	70%	Necesidad de mejorar la formación técnica
Utilidad del biogás	Muy útil / Útil	87%	Reconocimiento como fuente energética alternativa
Recomendación del proyecto	“Sí”	95%	Alta disposición a replicar
Impacto ambiental percibido	Positivo / Muy positivo	90%	Reconocimiento del valor ecológico
Sostenibilidad proyectada	Confiado / Muy confiado	85%	Buena expectativa sobre durabilidad

Nota. Autores, (2025)

En términos generales, el proyecto ha sido recibido de manera favorable por la comunidad, aunque se han identificado oportunidades de mejora en la gestión operativa del sistema y en la optimización del aprovechamiento del biogás producido.

El análisis de los resultados obtenidos mediante la instrumentación de recolección de datos aplicada a los usuarios del proyecto indica una percepción mayoritariamente positiva respecto a la implementación del sistema de biodigestión. En la dimensión de satisfacción general, la mayoría de los encuestados expresó estar “muy satisfechos” o “satisfechos”, reflejando una alta aceptación de la tecnología adaptada a las condiciones locales. Además, se constató una valoración positiva respecto al estado de saneamiento, lo que respalda el impacto favorable en la salud pública de la comunidad.

En relación con el manejo y uso operativo del biodigestor, las respuestas mostraron una mayor diversidad, evidenciando la necesidad de fortalecer los procesos de capacitación técnica ofrecidos. Esta observación está en línea con los datos sobre la calidad de la formación recibida, la cual fue calificada mayoritariamente como “buena” o “regular”, señalando áreas susceptibles de mejora en el acompañamiento técnico.

Por otro lado, la utilidad del biogás fue ampliamente reconocida, con la mayoría de los encuestados considerando que es “útil” o “muy útil”, destacando su valor como fuente alternativa de energía. De manera significativa, la mayoría de los participantes manifestó que recomendaría el proyecto, lo que demuestra una alta disposición hacia la replicabilidad en otros contextos. Finalmente, tanto el impacto ambiental percibido como las expectativas de continuidad del sistema fueron valorados positivamente, fortaleciendo la visión del biodigestor como una solución viable, replicable y sostenible para comunidades rurales similares.

Calidad del agua después de la implementación

Después de tres meses de funcionamiento del biodigestor, se realizó un nuevo análisis del agua en puntos cercanos a las descargas. Los resultados alcanzados se compararon con los límites establecidos en la Tabla 5 del Texto Unificado de Legislación Secundaria de Medio Ambiente (TULSMA) en relación con los criterios de calidad de agua, detallados en la tabla 5.

Tabla 5

Comparación de resultados del análisis del agua posterior a la implementación del biodigestor con los límites del TULSMA.

Parámetro analizado	Resultado	Límites establecidos	Unidad	Método de análisis	Comentarios
Coliformes fecales	580	1000	UFC/100 ml	Método estándar membrana filtrante (EPA 9222)	Valor dentro del límite normativo según TULAS
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	72	100	mg/L	Gravimetría (APHA 2540 D)	Nivel aceptable para descarga controlada
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	26	50<	mg/L	Método manométrico (APHA 5210 B)	Indica buena eficiencia en reducción de materia orgánica
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	82	150	mg/L	Método colorimétrico (APHA 5220 D)	Nivel adecuado para efluentes tratados

Nota. Autores, (2025). Resultados de análisis emitidos por el Laboratorio ALS, Quito, Ecuador.

En este mismo contexto, cabe indicar que el pH del efluente debe mantenerse en un rango entre 6.0 y 9.0 para evitar impactos negativos en los ecosistemas acuáticos, los resultados alcanzados demuestran la validación técnica de la eficiencia del sistema. Este impacto no solo contribuye a la conformidad con las normas nacionales de calidad ambiental (NTE INEN 1108:2014), sino que fortalece la noción de que soluciones sencillas, cuando son adecuadas al contexto y gestionadas con participación local, pueden generar transformaciones significativas.

Discusión

Resultados técnicos y cumplimiento normativo

Los datos obtenidos tras la implementación del biodigestor demuestran una significativa mejora en la calidad del agua residual procesada. La comparación de los parámetros antes y después de la instalación revela una reducción del 55,17 % en la demanda bioquímica de oxígeno a 5 días (DBO₅), del 63,75 % en la presencia de coliformes fecales y del 35,71 % en sólidos suspendidos totales. Estos resultados se encuentran dentro de los límites establecidos por la Tabla 9 del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), específicamente en relación con el uso de aguas residuales tratadas para riego agrícola.

El proceso de muestreo se llevó a cabo conforme a la Norma Técnica INEN 1108:2014, asegurando condiciones controladas en la recopilación, conservación y transporte de las muestras. Para los análisis microbiológicos, se utilizaron frascos esterilizados para garantizar la validez técnica y científica de los resultados.

Por otra parte, el funcionamiento constante del biodigestor, con una producción diaria de entre 200 y 300 litros de biogás y la estabilización del pH del digestato en un rango de 6.8 a 7.2, confirma la viabilidad del sistema como una solución descentralizada de tratamiento en comunidades rurales con recursos limitados.

Impacto social y percepción comunitaria

Los resultados sociales reflejan una aceptación elevada del sistema por parte de la comunidad, siendo un factor clave para su sostenibilidad. Más del 90 % de los encuestados expresaron satisfacción con la solución implementada, destacando mejoras en aspectos de higiene, condiciones ambientales y acceso a una fuente alternativa de energía.

La participación activa de la comunidad fue fundamental para el proceso de apropiación del proyecto. La incorporación de actividades formativas y espacios de diálogo originaron el compromiso y la responsabilidad de los usuarios. Esta experiencia coincide con los enfoques de gobernanza comunitaria propuestos por Escobar (2017), quienes resaltan que el empoderamiento local es esencial para el éxito de tecnologías ambientales descentralizadas.

No obstante, se identificaron algunas limitaciones, como dificultades operativas reportadas por ciertos usuarios, principalmente relacionadas con la alimentación del sistema y el uso del biogás, lo que indica la necesidad de fortalecer los programas de capacitación técnica y acompañamiento.

Contribución ambiental y replicabilidad del modelo

Desde una perspectiva ambiental, el biodigestor contribuyó a disminuir las fuentes de contaminación en cuerpos de agua cercanos y a reducir la quema de residuos orgánicos. Además, el uso del digestato como fertilizante ha mostrado efectos positivos en la fertilidad del suelo, promoviendo prácticas de economía circular en el contexto rural.

En términos de replicabilidad, el sistema se presenta como una opción viable para otras comunidades con condiciones similares: recursos limitados, baja cobertura de infraestructura sanitaria, generación de residuos orgánicos y actividad agropecuaria predominante. Su bajo coste, sencillez en su operación y resultados comprobables hacen que pueda adaptarse y escalarse fácilmente, en línea con las recomendaciones de sostenibilidad ambiental de la FAO (2020) y del MAATE (2017).

Limitaciones del estudio y oportunidades de mejora

A pesar de los resultados positivos obtenidos, el estudio presenta algunas limitaciones relevantes. La intervención fue de alcance reducido, involucrando a un número limitado de familias, lo que limita la extrapolación de los hallazgos. Además, el monitoreo de la calidad del agua se realizó en un período breve de tres meses, limitando la evaluación de posibles variaciones estacionales y efectos a largo plazo. No se consideraron variables económicas relacionadas con la utilización del biogás y el biofertilizante, aspectos importantes para la sostenibilidad del proyecto.

Para optimizar el sistema, se recomienda la incorporación de sensores que permitan el control automatizado de parámetros como pH, temperatura y presión, así como el desarrollo de módulos de pretratamiento para residuos más densos, como estiércol animal. Finalmente, sería conveniente explorar la ampliación de la cobertura mediante la creación de una red comunitaria que facilite la recolección y distribución de residuos orgánicos en unidades vecinas, promoviendo una mayor eficiencia y alcance del biodigestor.

Conclusiones

La implementación de un biodigestor de residuos sólidos en esta comunidad ha demostrado ser una alternativa técnica factible, socialmente aceptada y ambientalmente beneficiosa en un contexto rural con limitaciones estructurales en saneamiento. El sistema instalado produjo entre 200 y 300 litros diarios de biogás, permitiendo reducir el uso de leña en los hogares beneficiados, lo que contribuye a la mejora de las condiciones higiénicas en las áreas de cocina y a la disminución de la exposición al humo doméstico. Este cambio potencialmente reduce la incidencia de enfermedades respiratorias, particularmente en mujeres y niños, quienes permanecen en mayor medida en ambientes cerrados.

Desde la perspectiva ambiental, los análisis de la calidad del agua indicaron una reducción del 55 % en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y una disminución del 63 % en la presencia de coliformes fecales, cumpliendo con los parámetros establecidos en la Tabla 9 del TULAS. Esto valida la contribución del biodigestor como complemento eficaz al sistema de saneamiento parcial, ayudando a reducir el vertido de aguas contaminadas en las quebradas cercanas.

En cuanto a la dimensión social, el 93 % de los participantes expresó satisfacción con el funcionamiento del sistema, y el 95 % manifestó interés en replicar la experiencia en otras comunidades similares. No obstante, se identificaron limitaciones operativas que requieren abordaje mediante capacitaciones técnicas más frecuentes y adaptadas al nivel educativo local, con el fin de optimizar su gestión y mantenimiento.

A partir de esta experiencia, se recomienda considerar la expansión del modelo a otras comunidades rurales con condiciones similares, garantizando acompañamiento técnico adecuado y una inversión inicial. Además, resulta pertinente profundizar en estudios sobre el valor económico del digestato como biofertilizante y su impacto en la productividad agrícola. También se sugiere incorporar mejoras tecnológicas en los sistemas, como monitoreo automatizado, y promover su integración en las políticas públicas rurales a través de incentivos y programas de saneamiento impulsados por los gobiernos locales.

En conclusión, el biodigestor implementado constituye una solución tangible y replicable, que no solo contribuye a reducir el impacto ambiental de los residuos orgánicos, sino que también fomenta transiciones hacia modelos de gestión más sostenibles, resilientes y participativos en las comunidades rurales.

Referencias

- Balestrini, M. (2002). *Cómo se elabora el proyecto de investigación (2.ª ed.)*. Editorial Docencia.
- CEPAL. (2021). *Panorama de las zonas rurales de América Latina y el Caribe: Transiciones rurales sostenibles*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. <https://www.cepal.org>
- Escobar, J. (2017). Gobernanza comunitaria y sostenibilidad ambiental en zonas rurales. *Revista Latinoamericana de Desarrollo Sostenible*, 12(3), 45–62.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). *Tecnologías apropiadas para el manejo de residuos agrícolas y ganaderos en América Latina*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2020). *Agricultura ecológica y tecnologías limpias para un desarrollo sostenible*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <https://www.fao.org>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación (6.ª ed.)*. McGraw-Hill.

- INEN. (2014). *Agua potable. Requisitos.*
<https://www.insistec.ec/images/insistec/02-cliente/07-descargas/NTE%20INEN%201108%20-%20AGUA%20POTABLE.%20REQUISITOS.pdf>
- Menéndez Meza, A. (2020). *Diseño de un modelo genérico para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias a través de tanques biodigestores, sitio Chade Cantón Jipijapa.* Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Menéndez Peralta, (2021). *Sistema de tratamiento de aguas residuales domiciliarias con biodigestores para la comunidad El Ramito, parroquia La Unión del cantón Jipijapa.* Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Ministerio del Ambiente del Ecuador. (2017). *Política nacional para el saneamiento ambiental y gestión de residuos sólidos en zonas rurales.* Gobierno del Ecuador.
- Ministerio del Ambiente. (2017). *Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente.* <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/TULSMA.pdf>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Contaminación del aire en interiores y salud respiratoria. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Organización de Naciones Unidas (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Tamayo y Tamayo, M. (2005). *El proceso de la investigación científica.* Limusa Noriega Editores.
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/227860/El_proceso_de_la_investigacion_cientifica_Mario_Tamayo.pdf
- Velásquez-Cajas, A. & Villacís-Torres, S. (2024). Libro de texto de Metodología de investigación. *CLIEE Editorial.* Instituto Superior Universitario Cotopaxi.