

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

**ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UN SISTEMA DE
PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EMPLEANDO PULPA DE
CAFÉ Y AGUAS MIELES**

Autora:

Bach. Karin Yardely Tafur Huayan

Asesores:

Mg. Wildor Gosgot Angeles

M.Sc. Jesús Rascón Barrios

Registro: (.....)

CHACHAPOYAS – PERÚ

2023

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Tafur Huayan Karin Yardely
DNI N°: 72927768
Correo electrónico: 061004A131@untrm.edu.pe
Facultad: Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional: Ingeniería Ambiental

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Análisis del Ciclo de Vida de un Sistema de Producción de Biogás empleando pulpa de café y aguas mieles

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: Gosgot Angeles Wildor
DNI, Pasaporte, C.E N°: 70156443
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-7301-2809>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Rascón Barrios Jesus
DNI, Pasaporte, C.E N°: 001483863
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0002-9305-7203>

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

1.05.00-Ciencias de la Tierra, Ciencias Ambientales; 1.05.08-Ciencias del Medio Ambiente

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación-RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 22 / Agosto / 2023


Firma del autor 1

Firma del Asesor 1


Firma del autor 2

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, salud y las energías para salir adelante. A mi querida madre Lila Irene Huayan Romero y mi hermana mayor Yvany Janina Tafur Huayan que me apoyaron para obtener una educación y por siempre aconsejarme y motivarme a salir adelante, a mi padre Julio Tafur Requejo y a mis 3 hermanitos por su apoyo constante. A mi esposo Joel Briceño Meléndez, por su apoyo incondicional y en especial a mi hijo Thiago Fabricio Briceño Tafur que con su amor me motiva día a día a seguir luchando por mis metas para darle lo mejor de mí y ser un buen ejemplo para él.

Karin.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme salud y vida para poder lograr mis metas.

A mi madre y hermana por apostar siempre por mí.

A mis 3 hermanitos por estar conmigo en las buenas y en las malas siempre animándome a seguir luchando por lo que anhelo.

A mi esposo e hijo por su amor incondicional que cada día recibo de ellos y me alientan siempre a tener buen ánimo y actitud positiva para lo que nos toque luchar juntos.

Al Dr. Erick Bandala González, que pertenece a la Division of Hydrologic Sciences, Desert Research. Agradecida por su asesoramiento y orientación para el desarrollo de este proyecto.

Al Ing. M.Sc. Wildor Angeles Gosgot y Blg. M.Sc Jesús Rascón Barrios por sus consejos y por la confianza en mi persona para poder lograr la ejecución de este proyecto.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, que a través del Laboratorio de PROCICEA a cargo del Ing. M.Sc. Wildor Angeles Gosgot donde me brindaron las facilidades para realizar los viajes a campo y los equipos necesarios para el desarrollo de mi proyecto.

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, mi Alma Mater, en cuyo espacio me he formado profesionalmente en la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, en cuyas aulas mis maestros compartieron con mi persona sus conocimientos y sus valores éticos.

Y en especial a FONDECYT, que mediante el proyecto “SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS MIELES DE CAFÉ MEDIANTE LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS PARA EL SECADO DE CAFÉ Y BIOL PARA CREAR SOLUCIONES HIDROPÓNICAS COMO ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO Y EL DESARROLLO DE AGRICULTURA SOSTENIBLE, CON CONTRATO 107-2021-FONDECYT – BIOGAS”, pude obtener el financiamiento para mi tesis. Estaré agradecida siempre por ayudar a que mediante estos proyectos muchos jóvenes con mucho potencial académico puedan ejecutar estos proyectos de Investigación.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. Jorgue Luis Maicelo Quintana

Rector

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

Vicerrector Académico

Dra. María Nelly Luján Espinoza

Vicerrectora de Investigación

Ph.D. Ricardo Edmundo Campos Ramos

Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

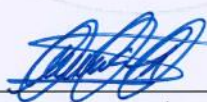
El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Análisis del Ciclo de Vida de un Sistema de Producción de Biogás empleando pulpa de Café y Aguas mieles;

del egresado Karin Yardely Tafur Huayan
de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.



Chachapoyas, 22 de Agosto de 2023


Firma y nombre completo del Asesor
Wildor Gosgot Angeles

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS



ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada Análisis del Ciclo de Vida de un Sistema de Producción de Biogás empleando pulpa de café y aguas mieles; del egresado Karin Yardely Tavor Huayan de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de esta Casa Superior de Estudios.

El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

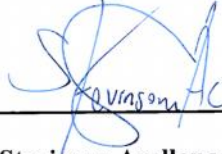
Chachapoyas, 22 de Agosto de 2023


Firma y nombre completo del Asesor

JESÚS RASCOÑ BARRANTES

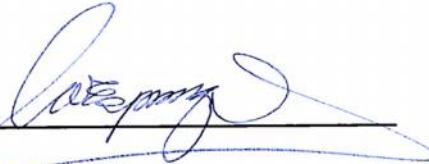


JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Dr. Erick Stevinson Arellanos Carrión

Presidente



Dr. Fernando Issac Espinoza Canaza

Secretario



M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE BIOGÁS
EMPLEANDO PULPA DE CAFÉ Y AGUAS MIELES.

presentada por el estudiante ()/egresado (x) Karin Yardely Tajur Huzyan

de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

con correo electrónico institucional 0610042131@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:

- La citada Tesis tiene 16 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor () / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 4 de Julio del 2023

[Signature]
SECRETARIO

[Signature]
PRESIDENTE

[Signature]
VOCAL

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 25 de Julio del año 2023, siendo las 11:00 horas, el aspirante: TAFUR HUAYAN, KARIN YARDELY, asesorado por Mg. Wilton Gosgot Angeles y Mg. Jesús Rasón Barrios defiende en sesión pública presencial (X) / a distancia () la Tesis titulada: Análisis del Ciclo de Vida de un sistema de producción de biogás empleando pulpa de café y aguas mieles, para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Erick Stevinson Arellano Carrión.

Secretario: Dr. Fernando Isaac Espinoza Canaza.

Vocal: M.Sc. Gino Alfredo Vergara Medina

Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado (X) por Unanimidad (X) / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 12:28 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:
.....

CONTENIDO GENERAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS	vi
VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS	x
CONTENIDO GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xv
ABSTRACT	xvi
I. INTRODUCCIÓN	17
II. MATERIAL Y MÉTODOS	19
2.1 Ubicación del lugar de estudio	19
2.2 Sistema de Biodigestor Tubular	19
2.2.1 Diseño	19
2.2.2 Llenado del Biodigestor	23
2.2.3 Medida de temperatura ambiente y Tiempo de retención hidráulica	24
2.2.4 Control de pH con carbonato de calcio	24
2.2.5 Evaluación Físicoquímica de la mezcla y biol	25
2.2.6 Alimentación Diaria	28
2.2.7 Poder Calorífico del Biogás	29
2.3 Determinación del Análisis de Ciclo de vida (ACV)	31
2.3.1 Objetivos y alcances del ACV	31
2.3.2 Determinación del Inventario de Ciclo de vida	31
2.3.3 Evaluación del Impactos de Ciclo de Vida (EICV)	33
2.3.4 Análisis económico del proyecto	34
III. RESULTADOS	42
3.1 Sistema de Biodigestor Construido	42

3.1.1 Medición de Temperatura ambiente	43
3.1.2 Tiempo de retención hidráulica	44
3.1.3 Poder Calorífico del Biogás	44
3.1.4 Características del Biogás	45
3.1.5 Características del Biol	45
3.2 ACV de un Sistema de Biodigestor Tubular	47
3.2.1 Análisis del Inventario de Ciclo de Vida	47
3.2.2 Evaluación del Impacto	48
3.2.3 Interpretación de resultados	51
3.2.4 Viabilidad Económica	55
IV. DISCUSIÓN	59
V. CONCLUSIONES	62
VI. RECOMENDACIONES	63
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
VIII. ANEXOS	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados de los parámetros evaluados de las muestras a la entrada y salida del Biodigestor.....	27
Tabla 2. Resultados de la Eficiencia de remoción	28
Tabla 3. Costos de materiales para instalación del sistema	35
Tabla 4. Costos por análisis de la muestra en Laboratorio LABISAG.....	37
Tabla 5. Costos directos de mano de obra	37
Tabla 6. Costos estimados de herramientas para la instalación del sistema	38
Tabla 7. Costo total del proyecto para construcción.....	38
Tabla 8. Monto total ahorrado por la sustitución de GLP y biofertilizantes	40
Tabla 9. Costos por funcionamiento del sistema	41
Tabla 10. Mediciones de la temperatura ambiente en °C	43
Tabla 11. Cálculo del poder calorífico del biogás	44
Tabla 12. Concentraciones de la composición del biogás	45
Tabla 13. Resultados del análisis Fisicoquímicos del Biol.....	46
Tabla 14. Contribución de cada etapa, en las categorías de impacto expresados en puntaje y porcentaje de representatividad	49
Tabla 15. Resultados de la evaluación de impactos ambientales	50
Tabla 16. Evaluación económica del proyecto del año 1 al 15.....	56
Tabla 17. Evaluación económica del proyecto desde el año 16 al 30	57
Tabla 18. Resultado de la viabilidad económica	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación donde se realizó el proyecto.....	19
Figura 2. Corte transversal del sistema Instalado	20
Figura 3. Corte longitudinal del sistema Instalado	20
Figura 4. Caseta del Sistema de Biodigestor	21
Figura 5. Tarima de madera para Gasómetro	21
Figura 6. Excavación realizada para la zanja del biodigestor.....	22
Figura 7. Buzones de carga (lado izquierdo) y poza de descarga (lado derecho).....	22
Figura 8. Tablero de purificación y control de presión.....	23
Figura 9. Llenado del Biodigestor con los principales sustratos	23
Figura 10. Mediciones de la temperatura ambiente	24
Figura 11. Mezclado de Cal con la mezcla del Biodigestor	25
Figura 12. Muestra de mezcla(lado derecho), muestra Biol (lado izquierdo)	25
Figura 13. Determinación de DQO en laboratorio	27
Figura 14. Altura de llama a presión requerida de 2.08 kPa(lado izquierdo) y a presión normal (lado derecho)	30
Figura 15. Flujograma estándar del Inventario de Ciclo de Vida del Sistema de Producción de Biogás	32
Figura 16. Relación entre indicadores ambientales, las vías de daño e impactos.....	33
Figura 17. Sistema de Biodigestor Tubular instalado en el caserío Ramos.....	42
Figura 18. ICV de la etapa Instalación del Sistema obtenido de OpenLCA	47
Figura 19. ICV de la etapa de puesta en funcionamiento del sistema	48
Figura 20. Resultados de Evaluación de Impacto de cinco categorías ambientales	51
Figura 21. Resultados de Evaluación de Impacto de cinco categorías ambientales Evaluación de Impactos de tres categorías	52
Figura 22. Resultados de la Evaluación de tres categorías	53
Figura 23. Resultados de evaluación de Impactos de cuatro categorías	54

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue instalar un sistema de producción de biogás y biol, para realizar un Análisis de Ciclo de Vida de este sistema y evaluar los impactos ambientales generados en dicho proceso. Se instaló un biodigestor de 12 m³ con un gasómetro de 3 m³, el cual se alimentó de (estiércol de ganado, pulpa de café y aguas mieles). El Tiempo de Retención Hidráulica fue de 23 días, presión de 3 cm y una producción de biogás de 0.26 m³ diario. Luego se realizó el ACV en donde primero se elaboró un inventario de los materiales utilizados en las etapas de instalación y funcionamiento del sistema, después se realizó la evaluación de los impactos ambientales empleando el software OpenLCA. El método de evaluación usado fue ReCiPe 2016 Midpoint y el método de normalización y ponderación fue World (2010). Se encontró que la etapa que generó mayores impactos fue en la etapa de instalación del sistema, y las categorías de impacto con mayor puntaje fueron ecotoxicidad terrestre, escasez de recursos fósiles, toxicidad humana no carcinógena. Como parte del ACV, se realizó también un análisis económico en el cual se obtuvo un VAN de S/52,971.87, TIR de 25 % y PRI de 5.3 años. En conclusión, la producción de energía renovable como el biogás presenta ventajas ambientales y económicas añadiendo que el manejo del sistema es muy simple por lo que agricultores y ganaderos pueden ser también parte de la mitigación del cambio climático en nuestro país y región.

Palabras claves: pH, tiempo de retención hidráulica, biol.

ABSTRACT

The objective of this study was to install a biogas and biol production system, to carry out a Life Cycle Analysis of this system, to evaluate the environmental impacts generated in said process. A 12 m³ biodigester was installed with a 3 m³ gasometer, which was fed (cattle manure, coffee pulp and honey water). Its Hydraulic Retention Time was 23 days, pressure 3 cm and a biogas production of 0.26 m³ per day. Then the LCA was carried out where first an inventory of the materials used in the installation and operation stages of the system was prepared, then the evaluation of the environmental impacts was carried out using the OpenLCA software. The evaluation method used was ReCiPe 2016 Midpoint (I) and the normalization and weighting method was World (2010). It was found that the stage that generated the greatest impacts was the system installation stage, and the impact categories with the highest score were terrestrial ecotoxicity, scarcity of fossil resources, and non-carcinogenic human toxicity. As part of the LCA, an economic analysis was also carried out in which a NPV of S/52,971.87, IRR of 25% and PRI of 5.3 years was obtained. In conclusion, the production of renewable energy such as biogas presents environmental and economic advantages, adding that the management of the system is very simple, so that farmers and ranchers can also be part of the mitigation of climate change in our country and region.

Keywords: pH, hydraulic retention time, biol.

I. INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas han intensificado la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) y como consecuencia nuestro planeta está presentando un cambio climático. Dentro de estas actividades antropogénicas, en la agricultura tenemos la producción del café, que es uno de los productos más comercializados y que genera ingresos económicos para muchas familias. En el Perú, la mayor concentración de esta actividad abarca los departamentos de Junín, San Martín, Cajamarca, Cusco y Amazonas. En la región Amazonas la población rural se dedica en su mayoría a las actividades agrícolas como el cultivo de café, esta actividad genera gran cantidad de subproductos que no son aprovechados, según (Morales et al., 2021) en su proceso por vía húmeda solo se utiliza el 9.5 % del peso del fruto en estado fresco y el 90.5 % queda en forma de residuo. Este tipo de producción desde la siembra presenta emisiones de fósforo, fosfato, por la aplicación de fertilizantes químicos y emisiones de CO₂ por la aplicación de úrea y cal. Además de ello en el proceso post-cosecha vía húmeda se han estimado emisiones al agua calculadas en kg por kg de café pergamino seco lo que se obtiene valores muy altos en DBO, DQO, PO₄, NH₃(aire), CH₄ (aire) y N₂O (aire) lo que contamina altamente los cuerpos de agua y el aire (Gmünder et al., 2020).

En nuestro país desde el inicio de este siglo ya viene fortaleciendo sus herramientas como leyes, protocolos, subsidios para promover el desarrollo de energías renovables (Ponce & Bustamante, 2020). Una de estas fuentes energéticas renovables esta la producción de biogás que es un producto obtenido mediante la digestión anaeróbica utilizando residuos orgánicos (Velasco, 2020). La Digestión anaeróbica es un proceso bioquímico que depende de una activa comunidad microbiana para llevarse a cabo. Dentro de este proceso existen 4 etapas dentro de las cuales tenemos la hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis, que en ausencia de aire lleva a cabo un proceso de degradación cuyo productos finales son el digestato (biol) y biogás (compuestos de varios gases principalmente el metano) (Bravo, 2021), el biogás se puede utilizar como combustible para generar electricidad, calor o energía a partir de fuentes renovables (Mamani et al., 2021), es por ello que la instalación de biodigestores tiene la finalidad de ser una alternativa en el tratamiento de residuos orgánicos disminuyendo la contaminación y reduciendo costos en las familias al producir biogás (Ruiz- Almazán et al., 2022).

La utilización de esta tecnología ya viene siendo aplicada en muchos países del mundo y en nuestro país poco a poco se está conociendo como consecuencia de la crisis energética por el agotamiento de combustibles fósiles. Además, este proceso minimiza los GEI principalmente el CH₄, esto es importante, ya que su potencial de calentamiento global PCG es veintiún veces mayor que el CO₂ (Trespacios et al., 2018). El análisis de Ciclo de Vida es una herramienta de gestión ambiental que permite analizar objetivamente los impactos generados por un proceso o producto (Haya, 2016).

Para la cuantificación o determinación de los impactos existen 3 tipos de metodologías, en donde dentro de ellas se determinan distintas categorías de impacto, estas son CML 2000, Ecoindicador 99 y ReCiPe (Feijoo & Moreira, 2020). La aplicación del ACV ya se viene realizando en investigaciones demostrando los beneficios que pueden atribuir la instalación de biodigestores como por ejemplo Ioannou-Ttofa et al. (2021), encontró que la mayoría de los impactos ambientales se atribuyeron a la fase operativa del proceso (89 %); (Amado Monica et al., 2021), en sus resultados demostró que una planta para producir energía eléctrica a partir de biogás y bioabonos es una buena alternativa para reducir gases de efecto invernadero (GEI). (Viana et al., 2021), encontró que un biodigestor para que sea de beneficio a la población es necesario que la comunidad entienda su importancia y trabaje para el buen funcionamiento del sistema.

Garfí et al. (2019), determinó que económicamente este proceso redujo el 80 % de los gastos anuales reemplazando el GLP por biogás y los fertilizantes químicos por bioabonos. La contaminación ambiental por falta de alternativas de uso de residuos agroindustriales, el agotamiento de los recursos fósiles, la demanda de energía, justifican la investigación que permitirá la transformación de los residuos húmedos del café y el estiércol de ganado, que son contaminantes y del cual se pueden obtener un producto aprovechable como el biogás. El objetivo general de la investigación fue realizar un análisis de ciclo de vida a un sistema de producción de biogás utilizando aguas mieles, pulpa de café y estiércol de ganado, donde se podrá demostrar que no solo el producto (biogás y biol) es una importante contribución a un desarrollo sostenible sino que todo el sistema utilizado es ambientalmente amigable, para obtener el objetivo general se propuso diseñar y construir un sistema tubular de producción de biogás, determinar y analizar el inventario de ciclo de vida de un biodigestor tubular y evaluar los impactos ambientales del sistema.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Ubicación del lugar de estudio

La investigación se realizó en el caserío Ramos, que pertenece al distrito de Santa Rosa, provincia de Rodríguez de Mendoza. Este distrito limita por el Norte con el distrito de San Nicolás; por el Este con el distrito de Omia; por el Sureste con el distrito de Milpuc; por el Sur con el distrito de Totorá y por el Oeste con el distrito de Huambo (Figura 1). Está ubicado a 1780 m.s.n.m, según (SENAMHI, 2021) presenta una temperatura máxima promedio de 20 °C – 25 °C y una mínima promedio de 15 °C, el tipo de clima que predomina es cálido y templado lluvioso.

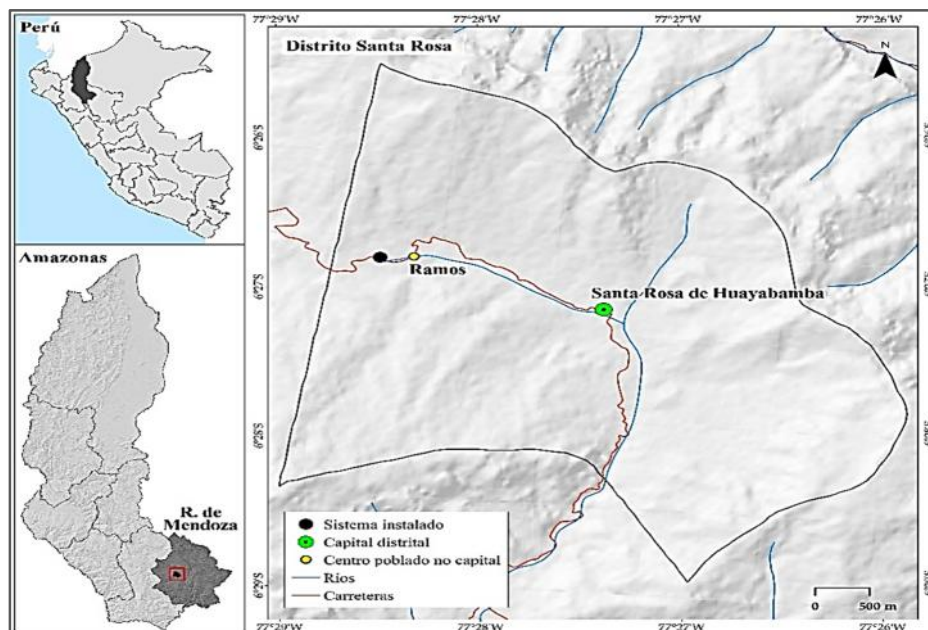


Figura 1. Mapa de ubicación donde se realizó el proyecto

2.2 Sistema de Biodigestor Tubular

2.2.1 Diseño

El diseño del sistema de biodigestor tubular se elaboró teniendo en cuenta el modelo propuesto por Barrena Gurbillón et al. (2019), donde se presenta un plano para especificar las dimensiones que tendrían todos los componentes para la instalación del sistema que se detallan en la Figura 2 y 3, en cortes A-A y B-B, detallándose la construcción del sistema de manera general, cabe resaltar que dicha instalación tendrá un tiempo de vida útil de 30 años.

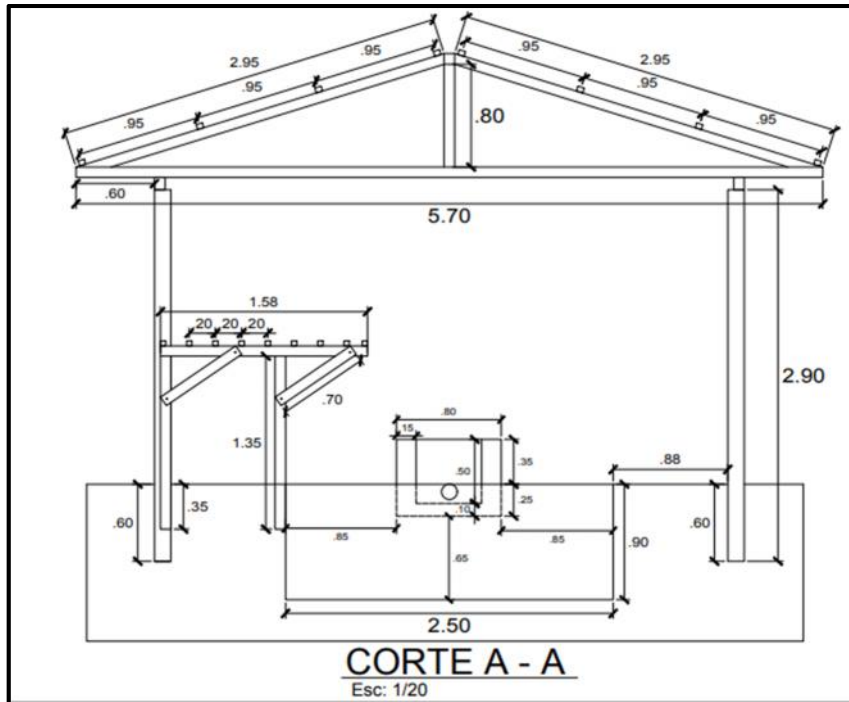


Figura 2. Corte transversal del sistema Instalado

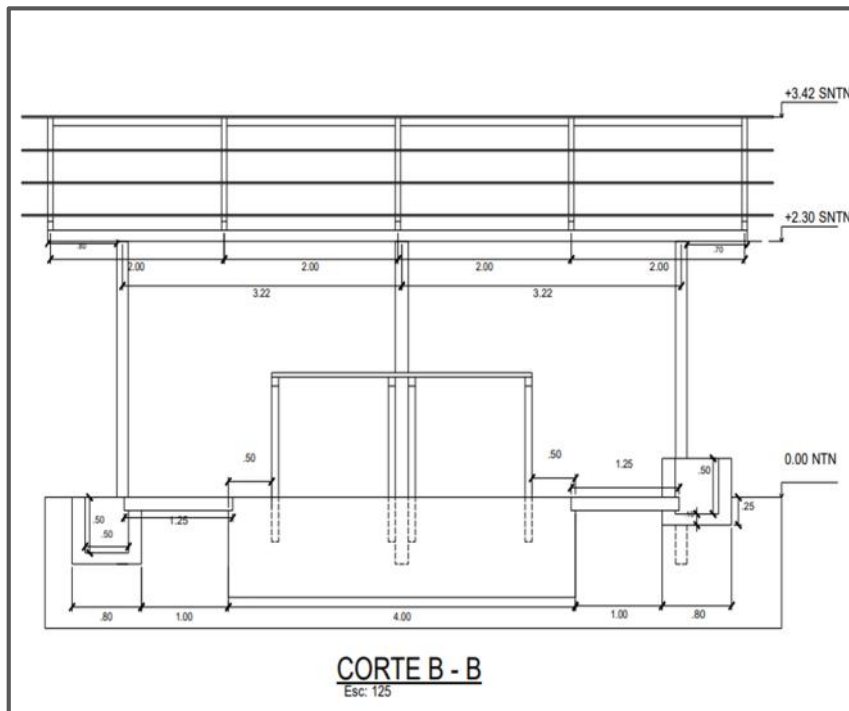


Figura 3. Corte longitudinal del sistema Instalado

i. Caseta del Sistema

La caseta construida tiene una altura de 2.90 m, un ancho de 5.70 m y de largo 7.60 m. Está construida con madera de Pino y techo de calamina, fueron colocados dados de concreto como base en los pilares.



Figura 4. Caseta del Sistema de Biodigestor

ii. Tarima de madera para el Gasómetro

Su objetivo es ser un soporte para instalar el gasómetro, las medidas de este fueron 1.58 m de ancho y su largo de 3 m. Encima de esta tarima se colocó el gasómetro que tiene un volumen de 3 m³.



Figura 5. Tarima de madera para Gasómetro

iii. Zanja del Biodigestor

Se excavó una zanja con dimensiones de: 4 m de largo x 2.5 m de ancho x 0.90 m de profundidad (Figura 6). En el interior se cubrió con un manta de polietileno para mantener caliente la bolsa de biodigestor.



Figura 6. Excavación realizada para la zanja del biodigestor

iv. Buzones de entrada y salida

Ambas pozas fueron hechas de ladrillo y cemento y tuvieron formas cuadradas de 0.50 m de largo, ancho y profundidad, la diferencia fue que la poza de carga se construyó desde el nivel del suelo hacia arriba y para la otra poza de descarga se hizo una excavación para instalarlo desde el nivel del suelo hacia abajo, como se detalla en la Figura 7.



Figura 7. Buzones de carga (lado izquierdo) y poza de descarga (lado derecho)

v. **Tablero de purificación y control de biogás.**

En este tablero se elaboró dos filtros para eliminar el H_2S , se utilizó fierro (clavos y esponja de fierro), tubo de PVC pesado de 2", llaves de paso para eliminar el agua condensada, el manómetro se hizo con manguera transparente de 1/4" fijado con grapas en forma de U y se elaboró un regulador de presión a base de una botella, dentro de la botella se colocó un tubo de PVC de 1/2" con un largo de 30 cm en el cual se realizó ranuras cada cm en un total de 15 cm.



Figura 8. Tablero de purificación y control de presión

2.2.2 Llenado del Biodigestor

La bolsa de biodigestor fue llenada en una proporción de 1:1 para aguas mieles y pulpa de café y 1:3 para estiércol-agua. El total fue de 37 baldes de 20 L de aguas mieles y pulpa de café llenados hasta el borde del balde y 2 250 L de estiércol.



Figura 9. Llenado del Biodigestor con los principales sustratos

2.2.3 Medida de temperatura ambiente y Tiempo de retención hidráulica

Desde que se empezó a llenar los 9 m³ de su volumen de trabajo del biodigestor, se midió la temperatura ambiente en horarios de 8 am, 12 pm y 4 pm. Y los días contados desde el inicio del llenado del biodigestor hasta que el biodigestor y el gasómetro estén completamente llenos de biogás se le tomo como el Tiempo de Retención Hidráulica (TRH).



Figura 10. Mediciones de la temperatura ambiente

2.2.4 Control de pH con carbonato de calcio

Después del llenado del biodigestor se procedió a realizar un análisis con un equipo Analizador de Gases y se comprobó que había 0.2 % Vol. CH₄ y 69 % Vol. de CO₂ y un pH de 3.76. Y la presión estuvo en 0, por lo que fue imposible hacer las pruebas de combustión. Al hacer la búsqueda de información para solucionar este problema, se encontró que (Gómez et al., 2022), menciona que el pH en el biodigestor determina el volumen de biogás producido y sus cualidades, por lo que lo ideal sería llegar a la neutralidad, siendo en la práctica un rango no menor que 6 y no mayor que 8. En el documento emitido por la (FAO, 2011) menciona que para el aumento del pH, es necesario la adición de agentes promotores de la degradación de la materia orgánica, entre ellos está el carbonato de calcio conocido como Cal, para esto (Barrena Gurbillón et al., 2019) recomienda adicionar 500 gr de Cal en 20 L de agua, para evitar que el pH no suba más de lo requerido, se hicieron pruebas en un balde de 20 L sacando muestra líquida del

biodigestor, se comprobó que para que el pH este en el rango de 6 y no pase 8, fue necesario agregar 8 gr Cal/L. Como el biodigestor estaba lleno hasta su nivel de capacidad de trabajo, lo que se hizo fue mezclar la cal (fueron 72 kilos) con la mezcla del biodigestor, utilizando una bomba de agua eléctrica, en la Figura 11 se muestra como se llevó el proceso.



Figura 11. Mezclado de Cal con la mezcla del Biodigestor

2.2.5 Evaluación Físicoquímica de la mezcla y biol

Para este proceso se evaluó la mezcla con que se llenaba el biodigestor y el biol para determinar las cantidades de DQO, ST, DBO₅ y pH, en la Figura 12 se puede observar las muestras obtenidas que se llevaron al Laboratorio para ser analizadas.



Figura 12. Muestra de mezcla(lado derecho), muestra Biol (lado izquierdo)

Las evaluaciones se realizaron en el Laboratorio de Suelos y Agua (LABISAG), que pertenece al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES). Los procedimientos para cada evaluación fueron las siguientes:

Potencial de Hidrógeno (pH)

Se usó el método 4500-H⁺; APHA; AWWA, WEF, que consistió en:

Colocar en un vaso de medición el líquido (muestra de biol). Luego se lavó con agua destilada el electrodo y se secó con papel absorbente. Posteriormente se sumergió el electrodo en el vaso y se esperó que se estabilice el dato en la pantalla y luego se registró el pH. Se realizaron tres repeticiones para esta lectura.

Sólidos Totales (ST)

Se usó el método 2540B; APHA; AWWA, WEF, que consistió en:

Pesar el vaso de medición en una balanza analítica, después de que este fuera secado por completo en una estufa. Luego se colocó 200 ml de la muestra en el vaso y se llevó a un horno a 105 °C y se dejó allí por 24 horas. Los datos obtenidos se utilizaron para calcular los resultados finales.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Método 7000; HACH: Digestión de Reactor, que consistió en:

Precalentar el digestor a 150 °C. Luego se colocó 2 ml de la muestra, en los tubos con solución de digestión y se llevó al digestor DQO durante dos horas. Posteriormente se dejó enfriar por 20 minutos aproximadamente para luego leer en el espectrofotómetro, colocando las muestras en los cuarzos, donde el primero fue el blanco (se colocó agua desionizada). Se realizó tres repeticiones para cada muestra.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Método 7043; HACH: Dilución, que consistió en:

Utilizar botellas Winkler de 250 ml, las diluciones que se hicieron fueron de 5 % (16.5 ml de la muestra) y 10 % (33 ml de la muestra), después de ser colocados en las botellas, se procedió a preparar el agua de dilución, para esto con una pipeta de 1ml se sacó los reactivos Buffer fosfato, cloruro férrico, sulfato de magnesio y cloruro de calcio. Posteriormente

en una fiola de 1L se aforó con agua destilada y se oxigeno por 20 minutos. Con esta agua de dilución se aforaron las botellas con las diluciones de 5 % y 10 %. Finalmente se midió la concentración de oxígeno disuelto en la muestra y se llevó a la incubadora a 20 °C por cinco días para posteriormente volver a leer.



Figura 13. Determinación de DQO en laboratorio

Como resultado se obtuvieron los siguientes datos que se muestran en la Tabla 1, teniendo en cuenta los cuatro parámetros en la muestra de entrada y salida.

Tabla 1. Resultados de los parámetros evaluados de las muestras a la entrada y salida del Biodigestor

Parámetros	U.D	Entrada	Salida
pH	pH	3.76	6.48
Sólidos Totales	mg/L	6628.00	10557.5
D.B.O ₅	m	76.75	58.25
	g/L de O ₂		
D.Q.O	mg/L de O ₂	33972.00	20317

Después de obtener los resultados se procedió a calcular el porcentaje de eficiencia del proceso, en cada parámetro, utilizando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{D_{de} - D_{se}}{D_{de}} \quad \text{Ecuación 1}$$

En la tabla 2 se puede observar cuales fueron los resultados del porcentaje de eficiencia en la remoción de los siguientes parámetros.

Tabla 2. Resultados de la Eficiencia de remoción

Remoción	Resultados %
Sólidos Totales	-59
D.B.O ₅	24
D.Q.O	40

La eficiencia de la reducción de los indicadores químicos y orgánicos como los sólidos totales presentan un valor negativo e indica que la concentración de sólidos ha aumentado, esto puede ser debido a una alta presencia de materia orgánica dentro del biodigestor ya que este fue cargado días antes con 200 L de estiércol de ganado, el DBO₅ fue removido en un 24 % y la DQO en un 40 % demostrando que los microorganismos están trabajando para degradar la Materia Orgánica (MO), donde después de 45 días el biol pueda ser utilizado como biofertilizante.

2.2.6 Alimentación Diaria

Luego de haberse llenado el gasómetro con el biodigestor y obtenido su TRH, se procedió a calcular cuánto sería la alimentación diaria del biodigestor para asegurar la producción de biogás y biol, (Barrena Gurbillón et al., 2019) menciona que para obtener un biol rico en nutrientes es recomendable un TRH de 45 días, y las proporciones para el llenado del biodigestor, alimentados con diferentes tipos de sustrato debe de ser calculando el % (volumen/volumen) de sustrato líquido con respecto al volumen de carga diaria y % (peso/volumen) del sustrato sólido con respecto al volumen de estiércol. Para determinar los porcentajes de los sustratos se realizó según lo aplicado por (Broncano,2019) que adicionó 3 % peso/volumen de pulpa de café con relación al volumen de estiércol y 8 % volumen/volumen de agua miel con relación al volumen de carga diaria del biodigestor. El volumen de la carga es de 200 L, la relación estiércol-agua fue de 1:3; $200/4 = 50$ L de estiércol, 1.5 kg de pulpa de café y 16 L de aguas mieles; luego se añadió agua hasta completar los 200 L de la mezcla. El cambio de las proporciones se realizó con el fin de mejorar la concentración de los sustratos

sólidos utilizados y permitir que los microorganismos puedan degradar la MO más rápido.

2.2.7 Poder Calorífico del Biogás

El poder Calorífico, es la cantidad de energía desprendida en la combustión completa y se expresa como la cantidad de energía por unidad física (ejemplo. Joule por kilogramo) (Arcila, 2022). Para este proceso se utilizó la fórmula aplicada por (Gutierrez & Zelada, 2020) para determinar el poder calorífico del Biogás, utilizando 1 L de agua para hervir.

$$P = \frac{M \times C \times \Delta T}{V} \quad \text{Ecuación 2}$$

PC= Poder Calorífico (Kcal/m³)

M= Masa del Agua (kg)

Ce= Calor Específico del Cuerpo (Kcal/kg °C)

T= T° Final-T° Inicial (°C)

V= Volumen utilizado del biogás (m³).

Cálculo de la presión requerida en el gasómetro

El cálculo de la presión, nos permite conocer la presión a la que trabaja nuestro sistema respecto al tiempo de retención. La presión normal del biogás obtenido fue de 3 cm, utilizando la tabla del Anexo I, trabajo realizado por (Quelal & Ullauri, 2019), se determinó que de acuerdo a lo obtenido en campo, la presión fue de 294 Pa ó 0.294 kPa, resultando que para hervir 1 L agua demanda de más tiempo por lo que se calculó cual sería la presión ideal, para que el tiempo de cocción de cualquier alimento sea menor. Para la obtención de datos del poder calorífico, se tomó datos a presión normal y otras colocando un peso de 70 kg encima del gasómetro y utilizando un espacio de 0.33 m², para este proceso se utilizó la Ecuación 3.

$$F = m * g \quad \text{Ecuación 3}$$

F = Fuerza (N)

m = masa (Kg)

g = gravedad (m/s²)

$$F = 70 \text{ k} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 686.7 \frac{\text{k} \text{ m}}{\text{s}^2} = 686.7 \text{ N}$$

Luego se procedió a calcular la presión en kPa, con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{F}{S} \quad \text{Ecuación 4}$$

P= Presión (kPa)

F= Fuerza (N)

S= Superficie (m²)

$$P = \frac{686.7 \text{ N}}{0.33 \text{ m}^2} = 2080.90 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2.08 \text{ k}$$

Utilizando esta presión en el Gasómetro que es de 2.08 kPa, para hervir un litro de agua tomó un promedio de 11 minutos, de esta manera si se mantiene la presión en el gasómetro, el tiempo de cocción de los alimentos sería menor y así se utilizaría menos tiempo a la hora de preparar los alimentos. En la Figura 14 se muestra la altura de la llama a presión normal y a presión requerida.



Figura 14. Altura de llama a presión requerida de 2.08 kPa(lado izquierdo) y a presión normal (lado derecho)

2.3 Determinación del Análisis de Ciclo de vida (ACV)

2.3.1 Objetivos y alcances del ACV

En este apartado se realizó las dos primeras etapas de desarrollo de un ACV de acuerdo con la norma ISO 14040, para su posterior análisis e interpretación según los resultados obtenidos.

➤ **Definición del Objetivo del ACV**

El objetivo de este estudio es determinar su comportamiento ambiental del sistema y así evaluar los potenciales impactos ambientales de los procesos dentro del sistema de producción de biogás. Además, esta investigación surge de la necesidad de dar a conocer como se llevan a cabo el ACV y tener información, ya que en nuestro país y nuestra región existe carencia de información sobre estos estudios. Este proyecto será publicado en el ámbito de las investigaciones académicas y más investigadores podrán aplicar esta metodología a diferentes proyectos de energías renovables relacionados con el biogás.

➤ **Alcance del ACV**

El ACV se aplicó a un sistema de producción de biogás, utilizando principalmente aguas mieles y pulpa de café. El alcance de este estudio será de la “cuna a la puerta”, es decir desde la compra de materiales y obtención de los desechos orgánicos hasta la obtención de biogás.

➤ **Unidad de medida**

La unidad de medida del sistema será 1m^3 de biogás producido expresado en unidades de energía (Kcal).

2.3.2 Determinación del Inventario de Ciclo de vida

En esta fase se realiza un diagrama de flujo especificando las entradas y salidas del sistema de manera general. Se determinó los insumos utilizados en cada etapa del proceso, en donde se determinó que pasan por 2 etapas importantes, entre los que está, la instalación del sistema y la puesta en funcionamiento del sistema. Como resultado final se obtuvo un cuadro donde se especifica cada insumo, cantidad y unidad de medida donde se colocó para realizar el Inventario de Ciclo de Vida de este proceso. Para la recolección de datos, como las cantidades se realizó en base a mediciones en campo, literatura y consulta al agricultor.

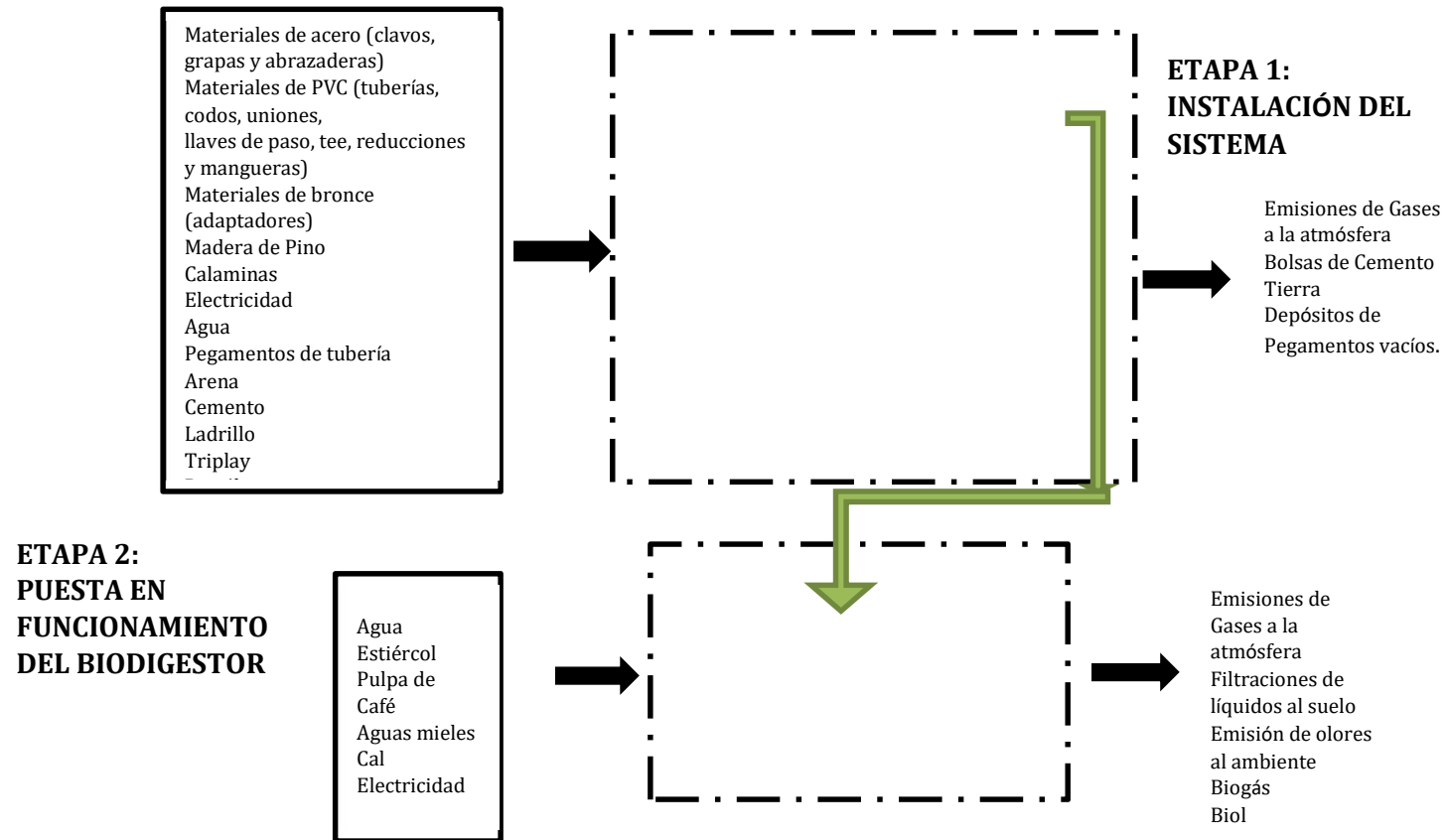


Figura 15. Flujograma estándar del Inventario de Ciclo de Vida del Sistema de Producción de Biogás

Fuente. Adaptado de “Impact assessment of traditional food manufacturing: The case of Grana Padano cheese”, Bava et al., 2018,pg.120

2.3.3 Evaluación del Impactos de Ciclo de Vida (EICV)

Para la EICV, existen diversas formas de obtenerla y calcular los indicadores de la relación que exista entre los resultados del ICV y los daños finales sobre el medio ambiente y la salud humana. Para cualquiera de las metodologías de EICV, se deben agrupar en dos grupos o tipos de impactos ambientales: que pueden ser midpoint o endpoint. Las metodologías Midpoint definen solo el efecto ambiental (ecotoxicidad, acidificación, etc.) mientras que la metodología Endpoint llega a identificar los daños causados al hombre y a los sistemas naturales. En la siguiente Figura 16 se muestra la relación de cada una de las intervenciones ambientales, categorías de impacto y las categorías de daño.

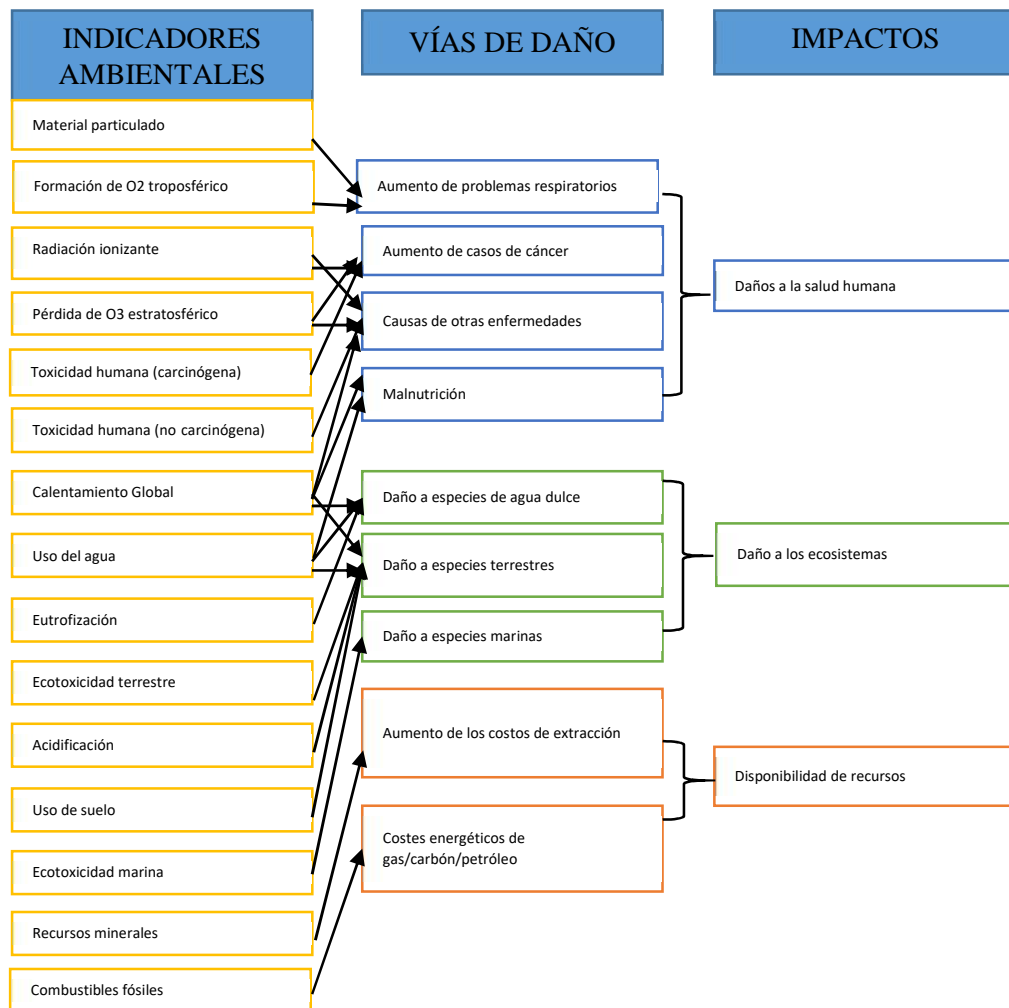


Figura 16. Relación entre indicadores ambientales, las vías de daño e impactos

Fuente. Obtenido de “Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono”, Feijoo & Moreira, 2020, pg 25.

Para la evaluación de los impactos se utilizó el método de Impacto ReCiPe 2016 Midpoint (I) ya que proporciona indicadores con incertidumbre y resultados de categorías midpoint, el método de normalización y ponderación fue World (2010) I y el método de asignación fue causal. Las categorías de impacto ambientales elegidas, para ser utilizadas en el software OpenLCA son:

- ❖ Formación de partículas finas
- ❖ Escasez de recursos fósiles
- ❖ Ecotoxicidad en agua dulce
- ❖ Eutrofización de agua dulce
- ❖ Calentamiento global
- ❖ Toxicidad cancerígena humana
- ❖ Toxicidad humana no cancerígena
- ❖ Radiación ionizante
- ❖ Uso del suelo
- ❖ Escasez de recursos minerales
- ❖ Formación de ozono, Salud humana
- ❖ Formación de ozono, Ecosistemas terrestres
- ❖ Agotamiento del ozono estratosférico
- ❖ Acidificación terrestre
- ❖ Ecotoxicidad terrestre

2.3.4 Análisis económico del proyecto

Como parte de un análisis de Ciclo de Vida, en el proyecto se realizó el análisis económico con el fin de determinar si es viable económicamente, para esto se determinó los costos directos e indirectos.

a) Costos directos

Son todos los costos invertidos para la producción de un solo producto, y por ende debe estar contabilizado en los costos de ese producto (Torres, 2019). En este caso son los gastos realizados para producir un producto final como es el Biogás, y son básicamente los materiales utilizados, los gastos realizados para las evaluaciones químicas y orgánicas en laboratorio y la mano de obra directa. A continuación, se detallan en las siguientes Tablas.

Tabla 3. Costos de materiales para instalación del sistema

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.U (S/.)	TOTAL (S/.)
Estructura de Madera				S/.2505,44
Acerrada				
Pilares	PIE2	198,22	5.00	991.08
Vigas cargadoras	PIE2	46.73	5.00	233.67
Vigas para contrabaras	PIE2	66.64	5.00	333.21
Contrabaras	PIE2	68.28	5.00	341.41
Pilar Soporte de Contrabaras	PIE2	8.20	5.00	41.01
Cumbrera	PIE2	16.53	5.00	82.64
Cintas	PIE2	71.69	5.00	358.43
Clavos 4"	KG	4	8.00	32.00
Clavos 5"	KG	6	10.00	60.00
Clavos 3"	KG	4	8.00	32.00
Techado				S/. 1,798.00
Calamina para techo 0.80 X 3.60 X 0.22mm	UND	50	35.00	1,750.00
Clavos de Calamina 2 1/2"	KG	4	12.00	48.00
Tarima para Gasómetro				S/. 491.90
Pilares	PIE2	26.57	5.00	132.85
Vigas Cargadoras	PIE2	21.16	5.00	105.80
Cintas para Tarima	PIE2	36.91	5.00	184.55
Fijadores (Refuerzo pilar-viga)	PIE2	5.74	5.00	28.70
Clavos 4"	KG	2	8.00	16.00
Clavos 2 1/2"	KG	2	12.00	24.00
Dados y Solado de Concreto para Pilares y Tarima				S/.856.00
Arena fina	M3	1.2	80.00	96.00
Cemento	BLS	19	35.00	660.80
Piedra chancada	M3	1.24	80.00	99.20
Pozas de Carga y descarga				S/. 291.50
Arena fina	M3	0.08	80.00	6.40
Cemento	BLS	1	35.00	35.00
Llave de paso de agua de PVC 4"	UND	1	45.00	45.00
Llave de paso de 1/2"	UND	1	8.00	8.00
Tubo pesado de PVC de 1/2"	UND	1	22.00	22.00
Ladrillo	UND	146	1.20	175.10

Tablero de Purificación y Control de Biogás					S/. 299.40
Tablero OSB 1.22x 2.44 m	UND	1	60.90	60.90	
Tubo pesado de PVC de 2"	UND	1	16.00	16.00	
Reducción PVC de 2 a 1/2" con rosca	UND	4	10.00	40.00	
Codo PVC 1/2" 90° con rosca	UND	5	4.50	22.50	
Tee de PVC 1/2"	UND	4	2.50	10.00	
Adaptadores de PVC de 1/2" con rosca	UND	4	8.00	32.00	
Unión universal de 1/2" con rosca	UND	8	8.00	64.00	
Llave de paso de 1/2"	UND	4	8.00	32.00	
Tubo de PVC pesado de 1/2"	UND	1	22.00	22.00	
Pegamento PVC 16 oz. Azul	UND	4	57.90	231.60	
Regulador de Presión					S/. 25.50
Botella descartable de 2L	UND	1	2.00	2.00	
Tee de PVC de 1/2"	UND	1	2.50	2.50	
Niple PVC de 1/2" DE 10 CM	UND	2	4.50	9.00	
Niple PVC de 1/2" DE 30 CM	UND	1	12.00	12.00	
Manómetro					S/.45.50
Manguera PVC transparente e incoloro 1/4"	M	2	1.00	2.00	
Grapas	KG	1	12.00	12.00	
Llave de paso de PVC de 1/2"	UND	1	8.00	8.00	
Tee de PVC 1/2"	UND	1	2.50	2.50	
Adaptadores de bronce de 1/2" a 1/4" macho	UND	1	6.00	6.00	
Abrazaderas de 1/2"	UND	10	1.50	15.00	
Biodigestor					S/. 6,102.00
Tubo de PVC de 4"	UND	1	38.00	38.00	
Tubo PVC pesado de 1/2"	UND	1	22.00	22.00	
Llave de paso PVC de 1/2"	UND	1	8.00	8.00	
Reducción PVC de 1 A 1/2"	UND	1	6.00	6.00	
Codo PVC 1/2" 90°	UND	4	2.50	10.00	
Bolsa de Biodigestor, Gasómetro, manta geotextil y kit de instalación	UND	1	6,018.00	6,018.00	
Gasómetro					S/. 60.00
Tubo de PVC pesado de 1/2"	UND	1	22.00	22.00	
Llave de paso PVC de 1/2"	UND	2	8.00	16.00	
Reducción de PVC de 1 A 1/2"	UND	2	6.00	12.00	
Codo PVC 1/2 90°	UND	4	2.50	10.00	
OTROS					
Cocina Industrial de 1 Hornilla	UND	1	150.00	150.00	
Transporte	GBL	72	20.75	1,494.00	
TOTAL					S/. 14,119.24

Tabla 4. Costos por análisis de la muestra en Laboratorio LABISAG

Cotización LABISAG-A-2023			
Tipo de Análisis	Cantidad	C.U (S/.)	Costo Total (S/.)
pH	2	12.50	25.00
Sólidos Totales	2	15.00	30.00
Demanda Química de			
Oxígeno	2	75.00	150.00
Demanda Bioquímica de			
Oxígeno	2	75.00	150.00
Total			S/. 355.00

La mano de obra directa es el segundo elemento del costo de producción, y es el tiempo invertido de los trabajadores en el proceso para la construcción del Sistema (Torres, 2019).

Tabla 5. Costos directos de mano de obra

Costos de Mano de Obra	
Actividad	Precio (S/.)
Limpieza del terreno	420.00
Excavación de la poza de biodigestor	420.00
Construcción de las pozas de entrada y salida	300.00
Construcción de la caseta y tarima	1,000.00
Total	S/ 2,140.00

b) Costos indirectos

Son aquellos costos que son necesarios de manera indirecta en la ejecución del proyecto y tienen una importancia relativa frente a los costos directos (Torres, 2019).

Tabla 6. Costos estimados de herramientas para la instalación del sistema

Presupuesto de Herramientas utilizadas para la instalación del Biodigestor			
Material	Cantidad	Precio (S/.)	Total (S/.)
Pala	1	45.00	45.00
Pico	1	80.00	80.00
SERRUCHO	1	45.00	45.00
Alicate	1	35.00	35.00
Martillo	1	38.00	38.00
Nivel de mano	1	34.00	34.00
Total			S/. 277.00

c) Costo Total del Proyecto

Obteniendo todos los gastos realizados se pudo obtener el costo total del Proyecto del Sistema de Producción de Biogás y fue de **S/ 16,891.24**, tal como se detalla en la Tabla 7.

Tabla 7. Costo total del proyecto para construcción

Descripción	Precio
	S/
Costos Directos	16,614.24
Costos Indirectos	S/277.00
Total	S/ 16,891.24

d) Ingresos Anuales por biogás

Para el desarrollo del análisis económico del uso de biogás se tuvo en cuenta los resultados obtenidos en donde el sistema produce 0.26 m³ diario, sabiendo que el gasómetro y el biodigestor se mantienen llenos, entonces el volumen de biogás es de 6 m³ por lo que mensualmente abastecería a los miembros del hogar para la cocción de sus alimentos. (Guardado, 2007), menciona que una cocina de uso doméstico, cada usuario gasta al día 0.45 m³ de biogás.

Por lo tanto, teniendo en cuenta lo mencionado, una familia de 4 personas utiliza un promedio de 1.8 m³/día y 54 m³/mes, de esto se podría decir que la producción diaria de biogás en el sistema abastecería a la familia. Por consiguiente, el ahorro anual de la familia sería de S/.720.00 ya que cada balón cuesta S/. 60.00.

e) Ingresos anuales por Biol

La producción de Biol se considera un ingreso económico ya que se evitará la compra de fertilizantes o abono orgánico, mediante los cálculos se determinó que la alimentación del biodigestor debería ser de 200 L de la mezcla y por ende se debe sacar la misma cantidad de Biol. Los abonos orgánicos utilizados en la producción de café según la información brindada del agricultor son 10 sacos de Guano de Isla y 10 sacos de roca fosfórica que son aplicados a un promedio de 2963 plantas (obtenidos a partir del área, distancia entre plantas y distancia entre surco), en total hace un gasto anual de S/2,850.00 considerando los precios de los abonos y tres abonamientos al año. Para el abonamiento con biol se recomienda diluir 2 litros de Biol y el resto de agua, en una mochila fumigadora de 20 L, si se utiliza la técnica de ferdín aplicada en el trabajo de (Gamboa, 2019), donde esta técnica suministra el biol en las raíces de las plantas mediante una varilla inyectora, con un volumen de 200 ml por planta, entonces solo se necesitaría 592.6 L de Biol por cada abonamiento. En la tabla 8 se describen los montos ahorrados por cada producto sustituido por la familia.

Tabla 8. Monto total ahorrado por la sustitución de GLP y biofertilizantes

Productos Sustituídos	Dinero Ahorrado
GLP	S/.720.00
Biofertilizantes	S/.2,850.00
Total	S/.3,570.00

En resumen, los ingresos obtenidos por utilizar biogás y biol es de S/. 3,570.00 al año. Estos precios podrían variar periódicamente por la inflación que se presenta en la economía nacional. Hasta ahora se ha calculado los gastos por instalación y los ingresos por la sustitución de la fuente de energía y productos utilizados anteriormente para el abonamiento, ahora se calculará los gastos realizados para el buen funcionamiento del Sistema.

f) Costos por funcionamiento del Sistema

Para que el biodigestor funcione y se tenga biogás diariamente, es necesario que este siendo llenado diariamente, reparando las averías que se podrían presentar en el transcurso y además haya siempre un control del pH.

Insumo para control de pH

Como en este proceso se utiliza aguas mieles y pulpa de café lo que origina un pH bajo por lo que sería necesario que se adicione cal orgánica nuevamente para esta actividad, se considera un gasto mensual de S/. 5.00 y al año S/.60.00.

Consumo de agua

Para la preparación de la mezcla es necesario utilizar agua de caño, en el caserío Ramos donde está ubicado el sistema, todas las familias cuentan con agua que es tratada por la Municipalidad de Santa Rosa y se hace el pago mensual de S/.1.00, para este proyecto se considera el monto total de pago por consumo de agua al año.

Mantenimiento del Sistema

Para el buen funcionamiento del sistema es importante reparar agujeros o arreglar tuberías despegadas para esta actividad, se considera solo el pegamento que sería de S/.10.00 mensual, ya que, si el biodigestor o el

gasómetro presenta agujeros, este puede pegarse con parches del mismo material, y ya se cuenta con ese material porque viene dentro del Kit de compra.

Tabla 9. Costos por funcionamiento del sistema

Proceso	Costo Anual
Insumo para control de pH	S/.60.00
Consumo de agua	S/.12.00
Mantenimiento del Sistema	S/.120.00
Total	S/.192.00

III. RESULTADOS

3.1 Sistema de Biodigestor Construido

El Sistema quedó instalado de acuerdo a los planos elaborados, con todas las partes que son involucradas en este sistema las cuales fueron: caseta y tarima para el gasómetro; la primera fue hecha para evitar daños al gasómetro y al biodigestor por las lluvias o rayos solares intensos y la segunda sirve como soporte para la bolsa de gasómetro; buzones de entrada y salida: son estructuras que permitieron recibir la mezcla de los sustratos, y el otro en recibir el biol; tablero de purificación y control del biogás: se hizo para eliminar el H_2S de la corriente de biogás que tiene olor a desagüe y el control de biogás sirve para dejar escapar cierta parte del biogás cuando la presión es alta en el biodigestor, evitando que este pueda estallar; biodigestor: en este se almacenó la mezcla de pulpa de café, aguas mieles y estiércol con un volumen total de 12 m^3 , un volumen de trabajo de 9 m^3 y 3 m^3 de espacio para almacenar el biogás producido.

Para la esquematización de este tipo de Sistema, se tuvo en cuenta los diseños ya hechos en las investigaciones presentadas en el libro del “*Biogás: producción y aplicaciones*”, de (Barrena Gurbillón et al., 2019).



Figura 17. Sistema de Biodigestor Tubular instalado en el caserío Ramos.

3.1.1 Medición de Temperatura ambiente

Como se mencionó en la metodología se hicieron mediciones de temperatura ambiente desde el primer día en que se empezó a llenar el biodigestor hasta su llenado, en la Tabla 10, indica los días en que fue medida la temperatura ambiente el promedio fue de 20.7 °C.

Tabla 10. Mediciones de la temperatura ambiente en °C

Día	Horario		
	8:00 a.m. (°C)	12:00 p.m.(°C)	4:00 p. m (°C)
Día 1	17.3	24.6	20.5
Día 2	18.4	20.7	19.5
Día 3	19.4	21.1	19.7
Día 4	18.3	23.8	19.7
Día 5	17.8	22.8	20.8
Día 6	18.8	24.3	21.8
Día 7	18.5	20.7	19.8
Día 8	17.6	19.3	16.9
Día 9	19.3	25.4	23.6
Día 10	18.6	20.4	18.7
Día 11	18.8	22.3	20.8
Día 12	19.6	25.9	22.6
Día 13	18.5	23.9	21.9
Día 14	20.8	28	23.5
Día 15	15.6	18.4	16.5
Día 16	18.3	20.2	19.8
Día 17	19.5	21.1	19.6
Día 18	21.4	28.8	26.1
Día 19	17.2	20.1	18.8
Día 20	19.5	23.4	22.1
Promedio	18.7	22.8	20.6

Temperatura ambiente promedio 20.7 °C

3.1.2 Tiempo de retención hidráulica

Es el tiempo desde que se empezó a llenar el biodigestor en la totalidad de su volumen de trabajo hasta que se observe la producción de biogás en el gasómetro y biodigestor completamente inflados. El tiempo de retención hidráulica real obtenido en el proyecto fue de 23 días con una presión de 3 cm, se obtuvo una producción aproximada de 0.26 m³ diario. Luego de obtener estos resultados se procedió a calcular el TRH teórico utilizando la ecuación presentada por (Barrena Gurbillón et al., 2019), $TRH = -44,705 \ln(T^\circ) + 160.394$, en donde el resultado fue de 25 días, un resultado próximo a lo obtenido en campo.

3.1.3 Poder Calorífico del Biogás

Para la evaluación, se tomó las siguientes consideraciones:

La masa de agua fue de 1 kg

La temperatura del agua inicial fue de 19 °C

La temperatura final de agua en su punto de ebullición se tomó de la Investigación realizada de (Quelal Chugá & Ullauri Cueva, 2019) ya que las condiciones climáticas y la altitud son iguales que de este proyecto que fue de 97.56 °C

Y el volumen utilizado de biogás se calculó por cada repetición.

Tabla 11. Cálculo del poder calorífico del biogás

Tipo de Presión	Cantidad N° Repeticiones	Masa 1kg	Ce Kcal/kg °C	Temperatura de Transferencia T°Final-T°Inicial	Poder Calorífico Kcal/m ³	Volumen m ³	Tiempo Minutos
Presión Normal	1	1	1	78.56 °C	245.5	0.32	34
	2	1	1	78.56 °C	261.87	0.30	32
	3	1	1	78.56 °C	290.96	0.27	29
	4	1	1	78.56 °C	270.89	0.29	31
Presión 2.08 kPa	5	1	1	78.56 °C	872.88	0.09	10
	6	1	1	78.56 °C	714.18	0.11	12
	7	1	1	78.56 °C	714.18	0.11	12

En la Tabla 11 se obtuvieron los cálculos de poder calorífico obtenidos a presión normal y utilizando una presión de 2.08 kPa, en donde el promedio del poder calorífico a presión normal fue de 267.305 kPa/m³, este resultado se utilizó para el ACV en el Software OpenLCA como unidad de medida.

3.1.4 Características del Biogás

Después de haber agregado la Cal, la producción de biogás aumento por lo que se procedió a evaluarlo con un equipo de analizador de gases, donde los resultados se presentan en la siguiente Tabla 12, indicando que el biogás obtenido tiene buenas cualidades energéticas.

Tabla 12. Concentraciones de la composición del biogás

pH	Metano % Vol.	Dióxido de Carbono % Vol.	O₂ % Vol.	H₂S PPM	CO PPM
6.48	58	49	11.7	484	62

3.1.5 Características del Biol

En la siguiente Tabla 13 se muestra los resultados del análisis de Biol en el que nos detalla el contenido nutricional del bioabono y que podría ser utilizado para el cultivo del café.

Tabla 13. Resultados del análisis Fisicoquímicos del Biol

RESULTADOS DE ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS				
PARÁMETROS FÍSICOS Y DE AGREGACIÓN				
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D	R. E.	MUESTRA
pH	Método 4500- H ⁺ ;APHA;AWWA,WEF	pH	0.02	6.48
Conductividad eléctrica	Método 4500- OG;APHA,AWWA,WEF.	μS/cm ²	0.1	4.2
D.B.O ₅	Método 7043;HACH:Dilución	mg/L de O ₂	< 0.01	58.25
DQO	Método 7000;HACH: Digestión de Reactor	mg/L de O ₂	< 0.7	20317.00
PARÁMETROS INORGÁNICOS NO METÁLICOS				
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D	I.D.	MUESTRA
Nitratos	Método 7039,HACH.	ppm N- NO ₃	<0.1	6800
Nitritos	Método 7507;HACH	ppm N- NO ₂	< 0.001	6.1
Sulfatos	Método 375.4;EPA	ppm SO ₄ ²⁻	< 1.0	314
Fosfatos	Método 7190;HACH	ppm PO ₄ ³⁻	< 0.04	470.7
Amonio	Método 4500 NH ₃ C;APHA,AWWA,WEF.	ppm N- NH ₃	< 0.02	179.3
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE METALES TOTALES				
PARÁMETROS INÓRGANICOS METÁLICOS				
PARÁMETROS	MÉTODO	U.D	I.D.	MUESTRA
Boro		ppm B	< 0.005	67.64
Calcio		ppm Ca	< 0.005	1.42
Cobre		ppm Cu	< 0.005	29.80
Hierro		ppm Fe	< 0.005	371.950
Magnesio	Método 3120- B;APHA,AWWA,WEF:Método de plasma de acoplamiento inductivo	ppm Mg	< 0.005	3255.76
Manganeso	(ICP) para MP-AES	ppm Mn	< 0.005	130.880
Potasio		ppm K	< 0.005	7,447.100
Sodio		ppm Na	< 0.005	3055.01
Zinc		ppm Zn	< 0.005	42.290
Molibdeno		ppm Mo	< 0.005	< 0.005

3.2 ACV de un Sistema de Biodigestor Tubular

3.2.1 Análisis del Inventario de Ciclo de Vida

En este proceso se cuantificó las entradas y salidas de la instalación y puesta en funcionamiento del Sistema en los Anexos del 2 al 7, donde se detalla el procedimiento de cuantificación de cada entrada y salida. Sólo se colocaron aquellas salidas donde su cálculo fue accesible. Estas fueron subidas al software OpenLCA para luego calcular los impactos según las categorías de impacto elegidas.

P Inputs/Outputs: Instalación del Sistema

▼ Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/R...	Uncerta...	Avcide...	Provider	Data qu...	Descri...
Fe clay brick	Materials product...	347.21700	m ³		none				
Fe crushed stone 16/32	Materials product...	43.40000	kg		none				
Fe diesel	Energy carriers, an...	77.00000	gal...		none				
Fe landfill of wood produ...	End-of-life treatm...	21.0000	kg		none				
Fe Occupation, constructi...	Resource/land	43.32000	m ² a		none				
Fe pine wood	Materials product...	603.00000	kg		none				
Fe polyvinylchloride resin ...	Materials product...	25.25000	kg		none				
Fe polyvinylchloride resin ...	Materials product...	1.80000	kg		none				
Fe portland cement (CEM I)	Materials product...	850.00000	kg		none				
Fe sand 0/2	Materials product...	2048.00000	kg		none				
Fe Steel hot-dip galvane...	Materials product...	273.00000	kg		none				
Fe Steel sections	Materials product...	21.90000	kg		none				
Fe water	Materials product...	108.80000	l		none				

▼ Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/R...	Uncerta...	Avcide...	Provider	Data qu...	Descri...
Fe Biogas	Energy carriers a...	267.30500	kcal		none				
Fe Carbon dioxide, fossil	Emission to air/h...	699.45000	kg		none				
Fe tierra	Wastes/Construct...	11.00000	m ³		none				

Figura 18. ICV de la etapa Instalación del Sistema obtenido de OpenLCA

La siguiente figura fue obtenida de Software OpenLCA, es el Inventario de Ciclo de Vida de la etapa Instalación del sistema, en este apartado se agregó todas las entradas y salidas, también se agregó las cantidades de cada insumo o material utilizado y obtenido.

Inputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Reve...	Uncertainty	Avoided we...	Provider	Data quality...	Description
F ₂ Calcium carbonate (> 63 microns)	Materials production/Oth...	72.00000	kg		none				
F ₃ Luffe honey waters	Wastes/Production residu...	740.00000	l		none	<input type="checkbox"/>			
F ₃ coffee pulp	Wastes/Production residu...	140.00000	l		none	<input type="checkbox"/>			
F ₂ electricity from hydroelectric po...	Energy carriers and techn...	110.00000	kWh		none				
F ₃ organic waste (unspecified)	Wastes/Production residu...	2250.00000	kg		none	<input type="checkbox"/>			
F ₂ water	Materials production/Wat...	5270.00000	l		none				
Outputs									
Flow	Category	Amount	Unit	Costs/Reve...	Uncertainty	Avoided pr...	Provider	Data quality...	Description
F ₂ Biogas	Energy carriers and tech...	267.30500	kcal		none				
F ₂ Bicl	Production residues in lif...	200.00000	l		none	<input type="checkbox"/>			
F ₂ Carbon dioxide, fossil	Emission to air/high pop...	75.82000	kg		none				

Figura 19. ICV de la etapa de puesta en funcionamiento del sistema

La siguiente figura también fue obtenida de Software OpenLCA, es el Inventario de Ciclo de Vida de la etapa Puesta en funcionamiento del Sistema, en este apartado se agregó todas las entradas y salidas, al igual que las cantidades de cada insumo o material utilizado y obtenido.

3.2.2 Evaluación del Impacto

Este segmento aborda los impactos del ciclo de vida resultantes del Sistema de producción de Biogás. Se utilizó el método de evaluación ReCiPe 2016 Midpoint para calcular el efecto de que causa la instalación y puesta en funcionamiento del sistema, teniendo como producto el Biogás en 267.305 kcal. A continuación, se presenta en la Tabla 14 los resultados de forma general obtenidas en el software OpenLCA.

Tabla 14. Contribución de cada etapa, en las categorías de impacto expresados en puntaje y porcentaje de representatividad

Categoría de Impacto	Unidad de Medida	Construcción del Sistema	%	Puesta en funcionamiento del Sistema	%	Emisiones Totales	Total (%)
Toxicidad humana no cancerígena	kg 1,4-DCB	101.15	88.02	13.77	11.98	114.92	100
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	25.56	37.70	42.23	62.30	67.79	100
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	210.68	94.10	13.22	5.90	223.9	100
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	339.88	97.22	9.72	2.78	349.6	100
Calentamiento global	kg CO ₂ eq	46.47	93.11	3.44	6.89	49.91	100
Formación de partículas finas	kg PM 2.5 eq	0.98	98.99	0.01	1.01	0.99	100
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	2.67	41.14	3.82	58.86	6.49	100
Agotamiento del ozono estratosférico	kg CFC11 eq	0.7	75.27	0.23	24.73	0.93	100
Uso del suelo	m ² crop eq	0.005123	100.00	0	0.00	0.005123	100
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	0.000221	99.10	0.000002	0.90	0.000223	100
Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	40	91.18	3.87	8.82	43.87	100
Ecotoxicidad en agua dulce	kg 1,4-DCB	38.91	30.18	90	69.82	128.91	100
Formación de ozono, Salud humana	kg NOx eq	33.01	98.92	0.36	1.08	33.37	100
Formación de ozono, Ecosistemas terrestres	kg NOx eq	39.09	98.81	0.47	1.19	39.56	100
Acidificación terrestre	kg SO ₂ eq	45.26	93.74	3.02	6.26	48.28	100

Después de obtener estos resultados se realizó la evaluación de los impactos teniendo en cuenta la ISO 14043, en donde menciona como se debe llevar a cabo la evaluación del ACV y así identificar los impactos más significativos en cada una de las dos etapas. En este proceso se realizó un análisis de predominio en el cual por medio de la técnica de clasificación cuantitativa se examinan las contribuciones notables o significativas, para lo cual se utilizó los siguientes criterios:

- A: máxima importancia, influencia significativa, es decir, contribución > 50 %
- B: muy importante, influencia pertinente, es decir, 25 % < contribución < 50 %
- C: apenas importante, alguna influencia, es decir, 10 % < contribución < 25 %
- D: poco importante, influencia menor, es decir, 2,5 % < contribución < 10 %
- E: no importante, influencia insignificante, es decir, contribución < 2,5 %.

Tabla 15. Resultados de la evaluación de impactos ambientales

Categoría de Impacto	Construcción del Sistema	Puesta en funcionamiento del Sistema
Toxicidad humana no cancerígena	A	C
Radiación ionizante	B	B
Ecotoxicidad terrestre	A	D
Escasez de recursos fósiles	A	D
Calentamiento global	A	D
Formación de partículas finas	A	E
Eutrofización de agua dulce	B	A
Agotamiento del ozono estratosférico	A	C
Uso del suelo	A	E
Escasez de recursos minerales	A	E
Toxicidad cancerígena humana	A	D
Ecotoxicidad en agua dulce	B	A
Formación de ozono, Salud humana	A	E
Formación de ozono, Ecosistemas terrestres	A	E
Acidificación terrestre	A	D

Como se puede observar en el siguiente cuadro que las contribuciones notables ya sea de máxima importancia o muy importante, lo presenta la etapa de Instalación del sistema, por lo que las recomendaciones se deben basar especialmente en esta etapa.

3.2.3 Interpretación de resultados

Luego de obtener los resultados de los impactos se procedió a interpretar cada categoría de impacto realizando un análisis de cual serían las razones ya sea por las entradas utilizadas o por las salidas obtenidas, cabe resaltar que las numeraciones son puntos acumulados según la unidad de referencia.

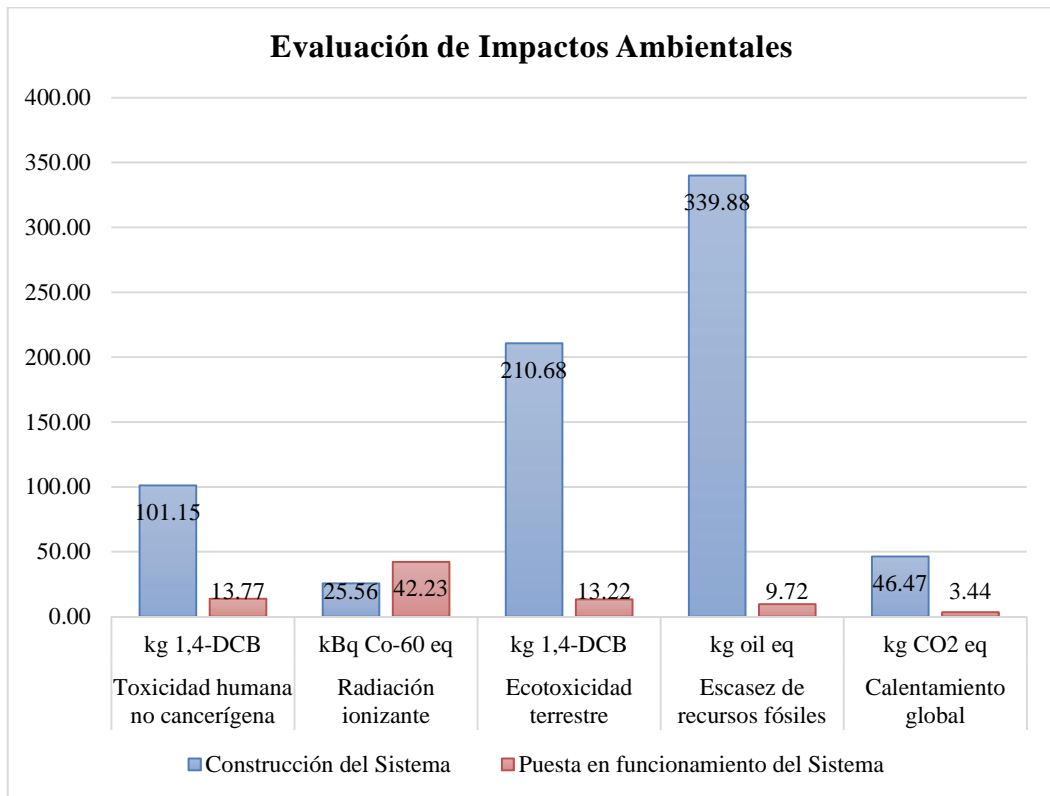


Figura 20. Resultados de Evaluación de Impacto de cinco categorías ambientales

Como se puede observar en la figura 20, el mayor aporte de las 5 categorías lo tiene la primera etapa de Construcción del Sistema y en menor aporte la etapa de Puesta en funcionamiento del Sistema. Las categorías de Escasez de recursos fósiles, ecotoxicidad terrestre y radiación Ionizante son altas debido al uso de combustible en el transporte de materiales desde Chachapoyas hasta el caserío Ramos y también por la utilización de arena. La categoría Calentamiento Global es la más alta en la etapa de Construcción debido a los materiales utilizados como; cemento, arena, diésel, acero y PVC, utilizados en esta etapa lo que produjo 46.47 Kg CO_{2eq}.

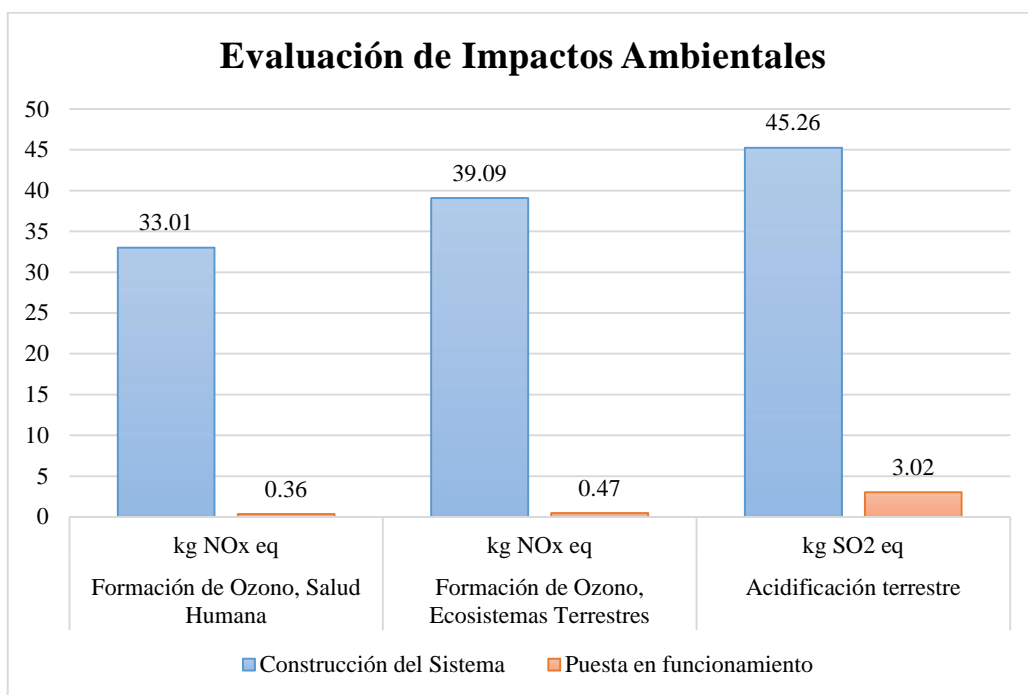


Figura 21. Resultados de Evaluación de Impacto de cinco categorías ambientales
Evaluación de Impactos de tres categorías

En esta Figura 21 se observa que nuevamente la Construcción del Sistema es la que presenta mayor aporte en 3 categorías, en la etapa de Construcción del sistema, la categoría de formación ya sea con afectación a la salud humana o a los ecosistemas es debido al uso del combustible diésel, seguido del uso de arena, cemento y en menor contribución es por el uso de piedra chancada, PVC y material OSB. Para la etapa de funcionamiento del sistema, las emisiones son mínimas debido al uso de la electricidad y carbonato de calcio utilizado.

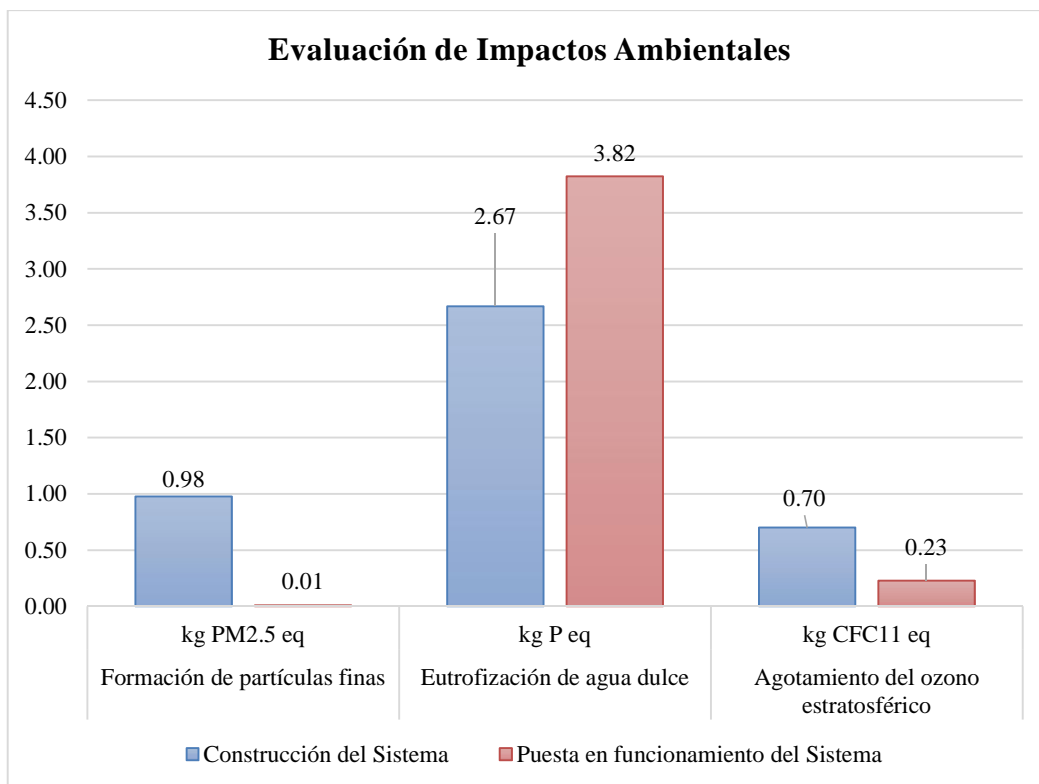


Figura 22. Resultados de la Evaluación de tres categorías

En la Figura 22 se observa que los impactos son mínimos y que la primera etapa es la que presenta más puntajes. La formación de partículas finas en la primera etapa es debido a la arena y cemento que son los principales materiales que contribuyen a este impacto. La eutrofización de agua dulce en segunda etapa es más alta por el biol obtenido, debido a los procesos de hidrólisis que se lleva a cabo dentro de la digestión anaeróbica., y en la primera etapa es por el uso de diésel. El agotamiento del ozono estratosférico es mínimo y su mayor contribución lo representan el uso de diésel, arena y cemento, y en la segunda etapa por el uso de electricidad.

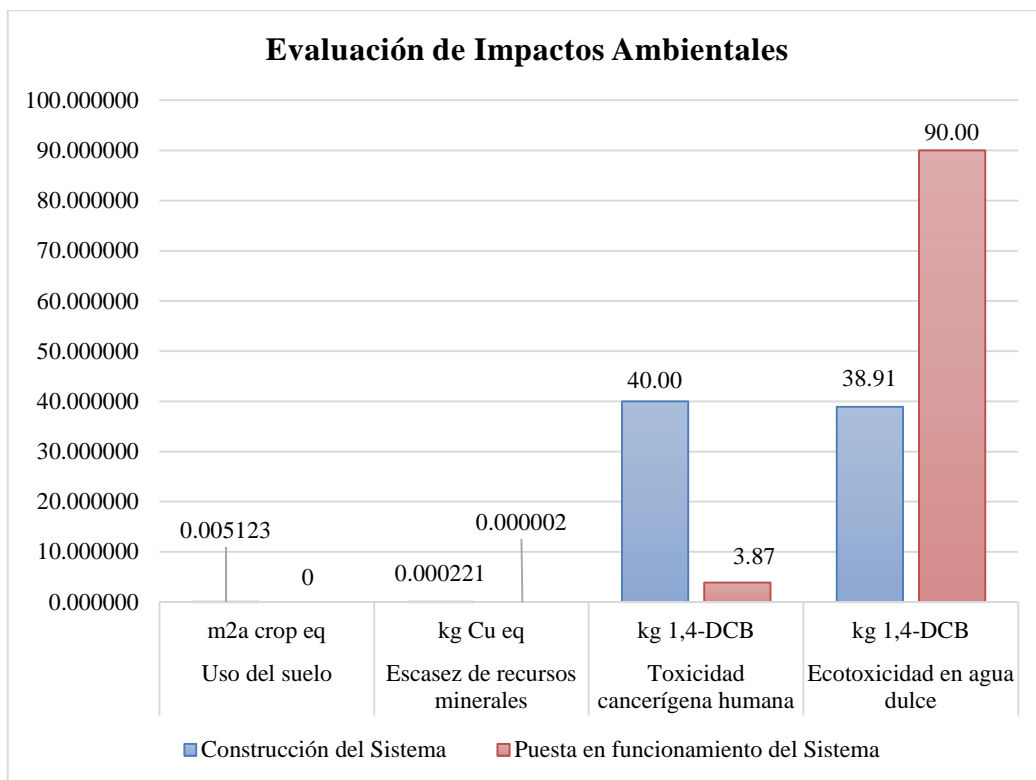


Figura 23. Resultados de evaluación de Impactos de cuatro categorías

En esta última figura se observa que los impactos uso de suelo es mínimo en ambos debido a que área utilizada no representa ningún daño además que después del tiempo de vida útil del sistema este volverá a ser utilizado como áreas de reforestación, el impacto con más puntaje es la Ecotoxicidad en agua dulce, es por el uso de electricidad y carbonato de calcio. El biol afecta la categoría de impacto eutrofización de agua dulce si estos no fueran utilizados como biofertilizantes afectarían cuerpos de agua.

3.2.4 Viabilidad Económica

Para los resultados sobre el análisis económico del proyecto se realizó primero un flujo de caja para 30 años, que está considerado el tiempo de vida útil del proyecto y cada 15 años se considera el cambio de los materiales de plástico y de madera. En las cantidades sobre ingresos y egresos, se ha realizado un aumento del 4.29 % ya que es la tasa de inflación pronosticado para este año, según Reporte del Mes de febrero 2023 del BCR del Perú. Para los ingresos del año cero es de S/. 3570.00 y los egresos son de S/.192.00 en donde la tasa de inflación se aplicó a partir del año 1. La inversión se considera como capital propio.

Suposiciones:

- ❖ Se toma la suposición que anualmente el dinero incrementa en un 4.29 % debido a la tasa de inflación calculada por el BCR en el mes de febrero 2023 acumulada a 12 meses (Banco Central de Reserva del Perú, 2023).
- ❖ Se toma la suposición de que la tasa de Interés para el COV es de un 6.25 % ya que es la tasa anual aplicada por el monto invertido en el Banco de Crédito del Perú a plazo fijo de un año (<https://www.viabcp.com/deposito-plazo-fijo>).

Tabla 16. Evaluación económica del proyecto del año 1 al 15

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
INGRESOS DE CAJA		S/3,723.15	S/3,882.88	S/4,049.45	S/4,223.17	S/4,404.35	S/4,593.29	S/4,790.35	S/4,995.85	S/5,210.17	S/5,433.69	S/5,666.80	S/5,909.90	S/6,163.44	S/6,427.85	S/6,703.60
Inversión Inicial																6703.602094
Por ahorro de la compra de GLP		750.89	783.10	816.70	851.73	888.27	926.38	966.12	1007.57	1050.79	1095.87	1142.88	1191.91	1243.05	1296.37	1351.99
Por ahorro de la compra de abono orgánico		2972.27	3099.78	3232.76	3371.44	3516.08	3666.92	3824.23	3988.29	4159.38	4337.82	4523.91	4717.99	4920.39	5131.47	5351.62
EGRESOS DE CAJA		S/200.24	S/208.83	S/217.79	S/227.13	S/236.87	S/247.03	S/257.63	S/268.68	S/280.21	S/292.23	S/304.77	S/317.84	S/331.48	S/345.70	S/10,343.64
Compras de Cal		62.57	65.26	68.06	70.98	74.02	77.20	80.51	83.96	87.57	91.32	95.24	99.33	103.59	108.03	112.67
Compras de materiales por averías		125.15	130.52	136.12	141.96	148.05	154.40	161.02	167.93	175.13	182.65	190.48	198.65	207.17	216.06	225.33
Consumo de Agua		12.51	13.05	13.61	14.20	14.80	15.44	16.10	16.79	17.51	18.26	19.05	19.87	20.72	21.61	22.53
Gastos por cambio de Material de plástico																1908.74
Gastos por cambio de Madera																8074.37
Flujo de Efectivo	-S/16,891.24	S/3,522.92	S/3,674.05	S/3,831.67	S/3,996.04	S/4,167.47	S/4,346.26	S/4,532.71	S/4,727.17	S/4,929.96	S/5,141.46	S/5,362.03	S/5,592.06	S/5,831.96	S/6,082.15	-S/3,640.04
Flujo efectivo a valor presente		S/3,315.69	S/3,254.52	S/3,194.48	S/3,135.56	S/3,077.71	S/3,020.94	S/2,965.21	S/2,910.51	S/2,856.82	S/2,804.12	S/2,752.39	S/2,701.62	S/2,651.78	S/2,602.87	-S/1,466.13
Flujo efectivo acumulativo	-S/16,891.24	-S/13,575.55	-S/10,321.03	-S/7,126.55	-S/3,990.99	-S/913.28	S/2,107.66	S/5,072.87	S/7,983.39	S/10,840.21	S/13,644.33	S/16,396.72	S/19,098.35	S/21,750.13	S/24,353.00	S/22,886.87

Tabla 17. Evaluación económica del proyecto desde el año 16 al 30

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
INGRESOS DE CAJA	S/6,991.19	S/7,291.11	S/7,603.90	S/7,930.10	S/8,270.31	S/8,625.10	S/8,995.12	S/9,381.01	S/9,783.45	S/10,203.16	S/10,640.88	S/11,097.37	S/11,573.45	S/12,069.95	S/12,587.75
Por ahorro de la compra de GLP	S/1,409.99	S/1,470.48	S/1,533.56	S/1,599.35	S/1,667.96	S/1,739.52	S/1,814.14	S/1,891.97	S/1,973.13	S/2,057.78	S/2,146.06	S/2,238.13	S/2,334.14	S/2,434.28	S/2,538.71
Por ahorro de la compra de abono orgánico	S/5,581.20	S/5,820.63	S/6,070.34	S/6,330.76	S/6,602.34	S/6,885.59	S/7,180.98	S/7,489.04	S/7,810.32	S/8,145.38	S/8,494.82	S/8,859.25	S/9,239.31	S/9,635.68	S/10,049.05
EGRESOS DE CAJA	S/376.00	S/392.13	S/408.95	S/426.49	S/444.79	S/463.87	S/483.77	S/504.52	S/526.17	S/548.74	S/572.28	S/596.83	S/622.44	S/649.14	S/19,422.87
Compras de Cal	S/117.50	S/122.54	S/127.80	S/133.28	S/139.00	S/144.96	S/151.18	S/157.66	S/164.43	S/171.48	S/178.84	S/186.51	S/194.51	S/202.86	S/211.56
Compras de materiales por averías	S/235.00	S/245.08	S/255.59	S/266.56	S/277.99	S/289.92	S/302.36	S/315.33	S/328.86	S/342.96	S/357.68	S/373.02	S/389.02	S/405.71	S/423.12
Consumo de Agua	S/23.50	S/24.51	S/25.56	S/26.66	S/27.80	S/28.99	S/30.24	S/31.53	S/32.89	S/34.30	S/35.77	S/37.30	S/38.90	S/40.57	S/42.31
Gastos por cambio de Material de plástico															S/3,584.16
Gastos por cambio de Madera															S/15,161.72
Flujo de Efectivo	S/6,615.19	S/6,898.98	S/7,194.95	S/7,503.61	S/7,825.52	S/8,161.23	S/8,511.35	S/8,876.48	S/9,257.29	S/9,654.42	S/10,068.60	S/10,500.54	S/10,951.01	S/11,420.81	-S/6,835.11
Flujo efectivo a valor presente	S/2,507.72	S/2,461.46	S/2,416.05	S/2,371.49	S/2,327.74	S/2,284.80	S/2,242.65	S/2,201.28	S/2,160.67	S/2,120.82	S/2,081.69	S/2,043.29	S/2,005.60	S/1,968.60	-S/1,108.86
Flujo efectivo acumulativo	S/25,394.59	S/27,856.05	S/30,272.11	S/32,643.59	S/34,971.33	S/37,256.13	S/39,498.78	S/41,700.06	S/43,860.73	S/45,981.55	S/48,063.24	S/50,106.53	S/52,112.13	S/54,080.73	S/52,971.87

Según las Tablas 15 y 16, se obtiene los flujos de caja que nos permite determinar las herramientas financieras para analizar si es rentable o no el proyecto, donde el VAN nos indica que hay un excedente luego de haber recuperado todo el capital, y el TIR según el resultado nos indica que al ser mayor que el costo del capital el proyecto es viable, por lo tanto, el proyecto es viable porque la tasa del costo de oportunidad es menor a la tasa del proyecto. El período de recuperación que indica en cuanto tiempo se recuperará el capital invertido.

Tabla 18. Resultado de la viabilidad económica

Valor Actual Neto	S/. 52,971.87
Tasa Interna de Retorno	25 %
Período de recuperación de la Inversión	5.3 años

IV. DISCUSIÓN

En el siguiente proyecto de investigación se construyó un biodigestor tubular para producir biogás y biol, se instaló un biodigestor de 12 m³ y un gasómetro de 3 m³. El sistema tuvo una producción de 0.26 m³/día, siendo este más alto que lo obtenido por (Cubas, 2018) que instaló un Sistema con las mismas capacidades tanto del biodigestor como el gasómetro y obtuvo una producción de biogás de 0.21 m³/día, utilizando solamente estiércol de ganado, enfatizando de esta manera lo que menciona (Quinchía-Jaramillo et al., 2019), que la producción de biogás es más beneficioso si se utiliza diferentes tipos de residuos (como pulpa de café y aguas mieles), ya que de esa manera hay producción por el alto potencial que tienen gracias a su variada composición química. Con los resultados del análisis fisicoquímico se obtuvo una concentración de Potasio (macronutriente importante para nutrición vegetal) de 7,447.100 mg/L, más alto que el obtenido por (Méndez et al., 2018) que fue de 232.5 mg/L, proceso en el cual solo se utilizó estiércol vacuno. La presión normal del sistema fue 0.29 kPa, donde para hervir un litro de agua demoró 32 minutos y ejerciendo una presión de 2.08 kPa hirviendo la misma cantidad solo demoró un promedio de 11 minutos, resultados próximos de presión normal al trabajo realizado por (Quelal & Ullauri, 2019) donde construyeron un biodigestor con un volumen total de 22 m³ y con presión normal de 0.34 kPa y una presión requerida que fue de 1.63 kPa, con esta última presión se pudo hervir un 1 litro de agua en 30 minutos. Por otro lado también se calculó el poder calorífico y se obtuvo un promedio de 267.305 Kcal/m³ a presión normal y ejerciendo una presión de 2.08 kPa se obtuvo un promedio de poder calorífico de 767.08 Kcal/m³ con este último resultado se comparó al obtenido por (Flores & Rodríguez) donde calculó el poder calorífico del biogás obtenido a partir de material fecal de un camal municipal, obteniendo un resultado de 958.4 Kcal/m³ y en el cual comparó el resultado del poder calorífico del GLP que fue de 1048.90 Kcal/m³. (FAO, 2011) menciona que mientras más se remueva el CO₂ el poder calorífico del biogás aumentará y generará un gas de calidad similar al del gas natural, se espera que en el presente proyecto la concentración del 48 % de CO₂ disminuya para así tener mejores resultados.

Por otro lado, se evaluó las concentraciones de ST, DBO₅, DQO y pH, con muestras de mezcla obtenida antes de ingresar al biodigestor y a la salida del biodigestor en un lapso de 14 días y se obtuvo que, el pH aumentaba acercándose a la neutralidad que paso de

5.32 a 6.48, los sólidos totales presentaron una eficiencia de reducción de -59 %, la demanda bioquímica de oxígeno obtuvo una eficiencia de reducción de 24 % y la demanda química de oxígeno obtuvo una eficiencia de reducción de 40 %. (Morales & Mejía, 2015) también evaluó las mismas concentraciones a la entrada y salida en un lapso de 10 días y los resultados fueron en términos de remoción la DQO disminuyó en un 60.44%, ST 95.14% y DBO₅ 38.56 % y el pH se mantuvo siempre en 4 unidades. (Huerta, 2020) evaluó a la entrada y salida del biodigestor (a la salida se obtuvo a los 14 días), el pH fue de 4.16 a 5.85, DQO 69 %, DBO₅ 78 %, en ambas investigaciones incluido la presente investigación existe una remoción o disminución de las concentraciones de DBO₅ y DQO. Mientras los sólidos totales aumentaron, esto es parecido al resultado obtenido por (Balseca de la Cadena & Cabrera, 2011) en donde obtuvo una reducción del -17 % concluyendo que fue debido a dos aspectos; el primero es debido a la concentración de estiércol que se introduce en el biodigestor y el segundo debido a que la pulpa de café presenta lignina que le hace resistente a la biodegradación, este comentario lo comprueba (Widjaja et al., 2021) donde demostró que cuando se realiza un pretratamiento a la pulpa de café puede reducir sus compuestos inhibidores como (cafeína, tanino y fenoles libres) y de esta manera obtener mayores porcentajes de remoción de DQO y ST.

Barrena et al., (2017) determinó que la altura sobre el nivel del mar y el volumen del biodigestor no influyen sobre el TRH, y que el que influye directamente con el TRH es la temperatura ambiente, esta veracidad se puede reflejar en estas dos comparaciones; por ejemplo este proyecto fue instalado a una altitud de 1780 m.s.n.m., temperatura ambiente de 20.7 °C, volumen de trabajo de 9 m³ y tuvo un TRH de 23 días, que al compararlo con el trabajo de (Broncano, 2019) que utilizó los mismos insumos, fue instalado a 1320 m.s.n.m., con un volumen de trabajo de 4.25 m³, temperatura ambiente de 20.2 °C, obtuvo un TRH de 25 días.

Para el proceso de evaluación de impactos se hizo utilizando la metodología ReCiPe 2016 Midpoint, el impacto más relevante en la etapa de Construcción del sistema fue Escasez de recursos fósiles (339.88 kg oil eq) obtenidas por el transporte realizado al instalar el sistema, para la segunda etapa la categoría con mayor impacto es Ecotoxicidad de agua dulce (90.00 kg 1,4-DCB) y es debido a como lo menciona (Esteves et al., 2019) que su alto puntaje es por el producto como el biol si este no fuera usado como biofertilizante y se fuera desechado en cuerpos de agua estos serían contaminados, por otro lado los resultados obtenidos en este proyecto, en la etapa de Instalación del sistema y Puesta en

funcionamiento, en la categoría de calentamiento global fueron de 46.47 y 3.44 kg CO_{2eq}), mientras (Ioannou-Ttofa et al., 2021) de un sistema de 4 m³ sus resultados fueron de 1.96 y 2.52 kg CO_{2eq}. La explicación de porqué en este trabajo la primera etapa es mayor a la segunda, es porque la utilización de combustible se hace en la primera y no en la segunda, en cambio en los trabajos analizados es lo contrario. Por otro lado, según los resultados obtenidos en la etapa de funcionamiento del sistema este proyecto tuvo un proceso de codigestión produjo 2.52 kg CO_{2eq} mucho menor que lo obtenido por (Hou et al., 2017) donde su sistema de 8m³ que llevó un proceso de monodigestión produjo 2794 kg CO_{2eq}. La razón lo explica (Esteves et al., 2019) ya que según los estudios evaluados en su investigación determinó que aquellos trabajos que llevaron un proceso de codigestión las emisiones de GEI fueron menores que las que llevaron un proceso de monodigestión además de ello la producción de biogás es mayor ya que produce entre un 36 % y 96 % más metano que en procesos de monodigestión.

Esteves et al., (2019), en los estudios que analizó, menciona que en la etapa de funcionamiento del sistema por lo general los mayores impactos están en las categorías de Eutrofización de agua dulce y Ecotoxicidad, y esto también se puede ver reflejado en este proyecto, autores como (Ioannou-Ttofa et al., 2021) y (Zhang et al., 2015) mencionan que si el biol no fuera usado como biofertilizante contaminarían cuerpos de agua y aguas subterráneas por el alto contenido de fosfato que presentan.

Como parte del ACV al realizar un análisis económico se obtuvo que la inversión total del proyecto fue de S/ 16,891.24 soles y anualmente se obtiene un ahorro de S/. 3,570.00 calculado en el año cero. Obteniendo un VAN de S/. 52,971.87, TIR 25% y un PRI de 5.3 años. Estos resultados positivos también se pueden observar en el trabajo realizado por (Aldana et al., 2017) que instaló un biodigestor tubular con una inversión de S/. 16,216.00 soles y un costo de mantenimiento de S/.761.48, obteniendo un VAN de S/. 62,884.00 y un TIR 86.16 % y un PRI de 2 años, los resultados son mejores debido a que en este proyecto se incluyó la venta del biol con un ingreso anual de S/. 10,789.00. El trabajo realizado por (Díaz & Torres, 2020) que también instaló un biodigestor tubular con una inversión de \$ 206.38, un VAN de \$ 181.49 y un TIR de 43 %. Deduciendo que los 3 proyectos demostraron ser rentables independiente de su vida útil ya que el sistema tubular con flujo continuo tipo Taiwán, es económico su construcción y mantenimiento, además de que se puede obtener buenos ingresos gracias a los productos obtenidos.

V. CONCLUSIONES

- ✓ Se concluye que la instalación de sistemas tubulares es el más recomendable debido a que la fermentación se da horizontalmente, presenta un desplazamiento lento de la materia y el proceso es continuo. Con el uso de biodigestores se logró un porcentaje de reducción de DQO de 40 % lo que hace posible para los caficultores, al hacer uso de este sistema como un sistema de reducción de la carga contaminante, por otro lado, la DBO₅ al obtener un resultado del 24 % de reducción, indica la descontaminación de la mezcla ya que las aguas mieles destruyen las fuentes de agua al disminuir la disponibilidad de oxígeno, si estas hubieran sido vertidas directamente en ellas, es por esto que con este sistema estaríamos cuidando estas fuentes de agua, y las vidas de flora y fauna que están dentro de ella. Es por esto que se puede deducir que el sistema aporta un buen manejo de los residuos húmedos del café, contribuyendo a que estos sistemas no solo tratan la carga contaminante que presentan los insumos utilizados, sino que se obtiene un aprovechamiento energético por medio del uso del biogás y nutrientes por medio del uso del biol.
- ✓ El TRH no se ve influenciada por la altitud a la que se instala el sistema ni su capacidad de trabajo, en este proyecto como en otros más, solo influyó la temperatura ambiente promedio del lugar, es por esto que es importante el hacer las mediciones de temperatura.
- ✓ Como muchos estudios de ACV, este proyecto incluyó limitaciones en cuanto a los alcances y el ICV, por ende, la comparación con otros trabajos no pudo ser directa, sin embargo, se logró comparar por la unidad funcional utilizada que fue la misma en este proyecto. Las categorías de impacto ambiental con mayor puntaje estuvieron en la primera etapa debido a que el transporte fue de largas distancias. Se concluye además que el volumen del biodigestor no influye en su sostenibilidad ambiental.
- ✓ En cuanto a la viabilidad económica se concluye que este proyecto es una inversión rentable, ya que se recupera el capital invertido en 5 años, y la utilidad neta total es más alta que la invertida, permitiendo así que los agricultores y ganaderos mejoren sus ingresos económicos.

VI. RECOMENDACIONES

- Los sistemas de Biodigestor deben ser instalados en lugares donde los elementos utilizados se encuentren cerca del mismo para evitar que estos sistemas dejen de funcionar debido al tiempo que pueden ocupar las personas que realicen el mantenimiento y buen funcionamiento de este y así la inversión realizada sea aprovechada.
- Si se utiliza residuos húmedos del café hay que tener en cuenta el pH que tiene el sistema, ya que de este dependerá que haya alta producción de biogás y de buena calidad. El uso de la Cal es una buena opción para controlar el pH, ya que es de bajo costo y es eficiente.
- Para la instalación de sistemas con capital propio, es recomendable utilizar materiales de menor costo o materiales con que cuenten en su zona, para que el capital invertido sea mínimo y pueda estar al alcance de muchos agricultores y ganaderos.
- Cerciorarse al momento de la instalación y la puesta en marcha de que los tubos estén bien pegados y que no haya agujeros para evitar fugas de gases contaminantes al ambiente.
- Hacer los diseños de los sistemas teniendo en cuenta la cantidad de los elementos (sustratos e inóculos) disponibles en el lugar y los requerimientos de producción de biogás que la familia necesita.
- Se debe realizar una capacitación técnica sobre la operación y mantenimiento de estos sistemas y las acciones a realizar si es que estos presentan problemas, a fin de garantizar un buen funcionamiento acorde a la vida útil estimado del sistema.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldana, D. M., Talledo, A. P., & de Piura, U. (2017). ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE UN SISTEMA BIODIGESTOR PARA USUARIOS COMERCIALES EN LA REGIÓN PIURA. *Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú.* URI <https://hdl.handle.net/11042/3236>
- Amado Monica, Carrasco Jessica, Ochoa Laura D., Rangel Carol J., Becerra Ana P., Cabeza Ivan O., & Acevedo Paola A. (2021). Technical and Environmental Analysis of Large-scale Pig Manure Digestion Through Process Simulation and Life Cycle Assessment. *Chemical Engineering Transactions*, 87, 439-444. <https://doi.org/10.3303/CET2187074>
- Arcila, K. A. B. (2022). Subproductos del café como alternativa energética en industria solubilizadora de café. *[Monografía]Repositorio Institucional UNAD.* <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/51786>
- Balseca de la Cadena, D., & Cabrera, J. C. (2011). Producción de biogás a partir de aguas mieles y pulpa de café. *Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería en Desarrollo Socioeconómico y Ambiente, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras, 27.* <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/454>
- Barrena G., M., Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Olivares M., V., Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Taramona R., L., Universidad Le Cordon Bleu, Chauca R., N., & Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. (2017). Influencia de la temperatura ambiente sobre la producción de biogas. *Revista de*

Investigaciones de la Universidad Le Cordon Bleu, 4(1), 15-25.

<https://doi.org/10.36955/RIULCB.2017v4n1.002>

Barrena Gurbillón, M. Á., Maicelo Quintana, J. L., Gamarra Torres, O. A., Oliva Cruz, S. M., Leiva Espinoza, S. T., Taramona Ruíz, L. A., Huanes Mariños, M. A., & Ordinola Ramírez, C. M. (2019). Biogás: Producción y aplicaciones. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM*.

<http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/1841>

Esteves, E. M. M., Herrera, A. M. N., Esteves, V. P. P., & Morgado, C. do R. V. (2019a).

Life cycle assessment of manure biogas production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 219, 411-423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.091>

Esteves, E. M. M., Herrera, A. M. N., Esteves, V. P. P., & Morgado, C. do R. V. (2019b).

Life cycle assessment of manure biogas production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 219, 411-423. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.091>

Garfí, M., Castro, L., Montero, N., Escalante, H., & Ferrer, I. (2019). Evaluating environmental benefits of low-cost biogas digesters in small-scale farms in Colombia: A life cycle assessment. *Bioresource Technology*, 274, 541-548.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.007>

Gómez, J. A., Regino, F. J., & Jaramillo, H. Y. (2022). Desarrollo de un sistema de supervisión de las variables de temperatura, presión y pH en un Biodigestor Anaeróbico. *Revista Ingenio*, 19(1), 37-42.

<https://doi.org/10.22463/2011642X.3035>

Gutierrez, C. E. F., & Zelada, J. A. R. (2020). Comparación del poder calorífico y rendimiento térmico del biogás producido a partir de residuos sólidos orgánicos y el gas licuado de petróleo. *Tesis de Pregrado. Universidad de Cajamarca*.

<http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1387>

- Haya Leiva, E. (2016). *Análisis de ciclo de vida / EOI* [Investigativa]. EOI SAVIA. <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/25482/analisis-de-ciclo-de-vida>
- Hou, J., Zhang, W., Wang, P., Dou, Z., Gao, L., & Styles, D. (2017). Greenhouse Gas Mitigation of Rural Household Biogas Systems in China: A Life Cycle Assessment. *Energies*, *10*(2), 239. <https://doi.org/10.3390/en10020239>
- Ioannou-Ttofa, L., Foteinis, S., Seifelnasr Moustafa, A., Abdelsalam, E., Samer, M., & Fatta-Kassinos, D. (2021a). Life cycle assessment of household biogas production in Egypt: Influence of digester volume, biogas leakages, and digestate valorization as biofertilizer. *Journal of Cleaner Production*, *286*, 125468. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125468>
- Ioannou-Ttofa, L., Foteinis, S., Seifelnasr Moustafa, A., Abdelsalam, E., Samer, M., & Fatta-Kassinos, D. (2021b). Life cycle assessment of household biogas production in Egypt: Influence of digester volume, biogas leakages, and digestate valorization as biofertilizer. *Journal of Cleaner Production*, *286*, 125468. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125468>
- Mamani, J., Llumipanta, F., Ramos, S., Rea, J., Alucho, J., Saltos, D., Llanos, F., & Jácome, C. (2021). Biogas production systems: Rationale, improvement techniques, advantages and disadvantages. *Agroindustrial Science*, *11*(2), 239-247. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.02.14>
- Méndez, M., Peña Peña, E., Amado, S., Hechemendía, L., Yero, Y., & Hechavarría, A. (2018). *Título: Producción de biol y determinación de sus características físico-químicas*. https://mirevistadigital.files.wordpress.com/2017/07/publicacion3b3nm_pc3a9rez.pdf
- Morales Rojas, E., Hurtado Burga, R., Chavez Quintana, S., Collazos Silva, E. M., & Sanchez Santillan, T. (2021). Sistemas de tratamiento y reutilización de aguas

- mieles de café: Un enfoque de desarrollo sustentable para los caficultores de países en desarrollo. *Revista Científica Pakamuros*, 9(2), 97-110. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i2.185>
- Ponce, F. A. J., & Bustamante, C. E. O. (2020). ¿Necesidad o Eficiencia? Apuntes sobre el desarrollo de las energías renovables en el Perú. *Revista De Derecho Administrativo*, 19, 53-83. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/derechoadministrativo/article/view/24303>
- Quelal Chugá, K. A., & Ullauri Cueva, D. R. (2019). *Implementación de un biodigestor para la producción de biogás* [BachelorThesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5535>
- Quinchía-Jaramillo, Y. A., Pérez-Serna, J., Doria Herrera, G. M., & Sánchez Acosta, Y. (2019). Parámetros de calidad de producción de biogás a partir de pulpa de café. *Agricolae & Habitat*, 2(1). <https://doi.org/10.22490/26653176.3521>
- Ruiz- Almazán, L., Legarreta-González, M., Briseño-García, A., Castruita-Esparza, L., & Rivas-Lucero, M. (2022). Implementación de mejoras técnicas para incrementar la eficiencia en la producción de biogás. *Abanico Agroforestal*, 4. <https://doi.org/10.37114/abaagrof/2022.2>
- Trespalcios, J., Blanquicett, C., & Carrillo, P. (2018). Gases y efecto invernadero. *Desarrollo Sostenible para todos. Instituto de Desarrollo Sostenible, Vol IV*, 1-38. <https://www.local2030.org/library/585/Gases-y-efecto-invernadero.pdf>
- Viana, A. P. Q., Senna, G. de M., Teixeira, J. V. S., Monteiro, L. A., Pêgo, K. A. C., & Pereira, A. F. (2021). *Inventário do Ciclo de Vida de um biodigestor: Uma perspectiva quantitativa para Design Sistêmico no território do Serro/MG*. 12.
- Widjaja, T., Nurkhamidah, Altway, A., Iswanto, T., & Grady, E. (2021). *Performance of Biogas Production from Coffee Pulp Waste with Cow Dung and Cattle Rumen*

Fluid as Inoculum in a Batch Reactor: International Conference on Sustainable Biomass (ICSB 2019), Bandar Lampung, Indonesia.
<https://doi.org/10.2991/aer.k.210603.045>

Zhang, S., Bi, X. T., & Clift, R. (2015). Life cycle analysis of a biogas-centred integrated dairy farm-greenhouse system in British Columbia. *Process Safety and Environmental Protection*, 93, 18-30. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.02.017>

VIII ANEXOS
ANEXO 1

Valores de presión en Pa y mbar de acuerdo a los mm de columna de agua

Altura (mm)	Pa	mbar	Altura (mm)	Pa	mbar
1	9.8	0.098	51	499.8	4.998
2	19.6	0.196	52	509.6	5.096
3	29.4	0.294	53	519.4	5.194
4	39.2	0.392	54	529.2	5.292
5	49	0.490	55	539	5.390
6	58.8	0.588	56	548.8	5.488
7	68.6	0.686	57	558.6	5.586
8	78.4	0.784	58	568.4	5.684
9	88.2	0.882	59	578.2	5.782
10	98	0.980	60	588	5.880
11	107.8	1.078	61	597.8	5.978
12	117.6	1.176	62	607.6	6.076
13	127.4	1.274	63	617.4	6.174
14	137.2	1.372	64	627.2	6.272
15	147	1.470	65	637	6.370
16	156.8	1.568	66	646.8	6.468
17	166.6	1.666	67	656.6	6.566
18	176.4	1.764	68	666.4	6.664
19	186.2	1.862	69	676.2	6.762
20	196	1.960	70	686	6.860
21	205.8	2.058	71	695.8	6.958
22	215.6	2.156	72	705.6	7.056
23	225.4	2.254	73	715.4	7.154
24	235.2	2.352	74	725.2	7.252
25	245	2.450	75	735	7.350

26	254.8	2.548	76	744.8	7.448
27	264.6	2.646	77	754.6	7.546
28	274.4	2.744	78	764.4	7.644
29	284.2	2.842	79	774.2	7.742
30	294	2.940	80	784	7.840
31	303.8	3.038	81	793.8	7.938
32	313.6	3.136	82	803.6	8.036
33	323.4	3.234	83	813.4	8.134
34	333.2	3.332	84	823.2	8.232
35	343	3.430	85	833	8.330
36	352.8	3.528	86	842.8	8.428
37	362.6	3.626	87	852.6	8.526
38	372.4	3.724	88	862.4	8.624
39	382.2	3.822	89	872.2	8.722
40	392	3.920	90	882	8.820
41	401.8	4.018	91	891.8	8.918
42	411.6	4.116	92	901.6	9.016
43	421.4	4.214	93	911.4	9.114
44	431.2	4.312	94	921.2	9.212
45	441	4.410	95	931	9.310
46	450.8	4.508	96	940.8	9.408
47	460.6	4.606	97	950.6	9.506
48	470.4	4.704	98	960.4	9.604
49	480.2	4.802	99	970.2	9.702
50	490	4.900	100	980	9.800

Fuente: Obtenidas del trabajo “ *Implementación de un biodigestor para la producción de biogás*” , Quelal & Ullauri , 2019.Pág 78

ANEXO 2

Calculo de entradas y salidas de materiales y residuos en la etapa de Instalación del Sistema.

Etapa de Instalación del Sistema		
Entradas		
Madera Pino pátula (pilares, vigas cargadoras, etc.)	1.34 m ³ /603 kg	Anexo 4 y utilizando la densidad calculada de (Cóndor y Pardo, 2021)
Metal(clavos, grapas y abrazaderas)	21.90 kg	Dato obtenido por cantidades compradas
Materiales de PVC(tuberías, codos, uniones, llaves de paso, tee, reducciones)	25.25 kg	Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Downloads/Ficha-Tecnica-Tuberias-Agua-Fria-Pavco-Wavin (1).pdf
Calamina para techo 0.22 mm 0.80 x 3.60 metros/50 Hojas	273 kg	Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/tesis biogás/promart.pdf
Material OSB	21.1 kg	Obtenido de https://trimafor.pe/ficha_tec/osb/osb_18mm.pdf
Agua	11 Lt	Anexo 5 Cálculo obtenido del libro (Copeco,2003)
Pegamentos de tubería de 16 Onza	1.8 kg	Peso del producto
Arena	1.28 m ³ /2048kg	Peso del insumo que es 1600 kg/m ³ de arena
Cemento	0.56 m ³ /850 kg	Peso del producto
Ladrillo	146 Ladrillos/347.217 kg	Obtenido de https://ifcsoluciones.com/ladrillos-piramide/
Diésel	72 gal/784.8 km recorrida	Dato obtenido por cantidades compradas y la distancia calculada en google maps
Superficie utilizada 7.6m x 5.7m	43.32 m ²	Dato obtenido en el proceso
Piedra chancada	1.24m ³ /43.40 kg	Peso del producto
Salidas		
Tierra	11 m ³	Anexo 6
CO ₂ eq		Anexo 7
	699.45 kg CO ₂ eq	

ANEXO 3

Calculo de entradas y salidas de materiales, productos y residuos en la etapa de Funcionamiento del Sistema

Puesta en funcionamiento del sistema		
Entradas		
Agua	5270 Lt	Cálculo obtenido en el proceso
Estiércol	2250 Lt	Cálculo obtenido en el proceso
Aguas Mieles	740 Lt	Cálculo obtenido en el proceso
Pulpa de Café	740 Lt	Cálculo obtenido en el proceso
Mantenimiento cal	72 kg	Cálculo obtenido en el proceso
Electricidad consumida por un motor de agua de 0.5 HP/3horas/370 Watts	1110 kwh	Cálculo obtenido de la potencia de la potencia del producto por el tiempo de uso
Salidas		
Biogás	1 m ³ /día	Cálculo obtenido en el proceso
Biol	200 Lt/día	Cálculo obtenido en el proceso
CO ₂ eq	731.82 CO ₂ eq	Anexo 8

ANEXO 4

CÁLCULO DE LA MASA DE LA MADERA DE PINO

Para obtener las cantidades en m³ lo que se hizo es utilizar las medidas de cada estructura, para los datos en pulgadas se ha multiplicado por 0.0254 para ser convertido en metros y a partir de ello obtener el volumen en m³.

Estructura de Madera Acerrada	Medidas			Volumen (m ³)	Cantidad	Volumen Total
	Alto (pulg)	Ancho (pulg)	Largo (Metros)			
Pilares	5	5	2.9	0.047	10	0.47
Vigas cargadoras	3.5	3	8.14	0.055	2	0.11
Vigas para contrabaras	3	2.5	6.5	0.031	5	0.16
Contrabaras	3	2.5	3.33	0.016	10	0.16
Pilar Soporte de Contrabaras	3	2.5	0.8	0.004	5	0.02
Cumbrera	3	2.5	4.03	0.019	2	0.04
Cintas	2	1.5	8.74	0.017	10	0.17
Tarima para Gasómetro						
Pilares	3	3	1.35	0.008	8	0.06
Vigas Cargadoras	3	2.5	2.58	0.012	4	0.05
Cintas para Tarima	1.5	2	3	0.006	15	0.09
Fijadores (Refuerzo pilar-viga)	2.5	1.5	0.7	0.002	8	0.01
Total (m ³)						1.34

Después se procedió a utilizar el dato de la densidad de la madera de Pino Pátula (0.45 g/cm³), obtenida del trabajo de (Pardo & Córdor, 2021). Aplicando la fórmula para hallar la masa de la madera de Pino Pátula se obtuvo una masa de:

$$m = d * v$$

$$m = 0.45 \text{ g cm}^{-3} * 1340000 \text{ cm}^3 = 603000 \text{ g} = 603 \text{ kg}$$

ANEXO 5

CÁLCULO PARA DETERMINAR EL TOTAL DE AGUA UTILIZADA EN LA CONSTRUCCIÓN DE LAS POZAS DE ENTRADA Y SALIDA OBTENIDA DEL LIBRO “COSTOS Y PRESUPUESTOS DE LA EDIFICACIÓN (Cámara Peruana de la Construcción, 2003).

En este proceso se utilizaron las fórmulas presentadas en dicho libro y se obtuvo la cantidad de agua utilizada para este proceso constructivo sin tomarse en cuenta el % de desperdicio y el tipo de asentado fue en soga, a continuación, se detalla el cálculo:

$$C = \frac{1}{(L + J) * (H * J)}$$

C= Cantidad de ladrillos (Uni/m²)

L= Longitud del ladrillo (m)

J= Espesor de la junta en metros

H= Altura del ladrillo colocado

$$C = \frac{1}{(0.2 + 0.0) * (0.0 * 0.0)} = 3.0 \text{ m}^2$$

Como el cálculo obtenido es la cantidad de ladrillos en 1 m² y el muro de cada poza es de 0.25 m², se obtiene que para cada muro se utilizan solo 9.26 ladrillos. Después de eso, se calculó el volumen de la mezcla para un muro 0.25 m² que es el área del muro.

$$V = V - n$$

Vmo=Volumen de mortero (m³/m²)

Vmu= Volumen del muro m³/m²

n= número de ladrillos por m²

Vla= Volumen de ladrillos en m³

$$V = 0.0 - (9.2)(0.0) = 0.0 \text{ m}^3/\text{m}^2$$

Se utilizó los datos presentados en dicho libro, donde especifica la cantidad de agua utilizada para una proporción de 1:4 de arena y cemento ya que esta proporción es la recomendada para pegar ladrillos en muros.

Proporción	Relación a/c	Cantidad de material por m ³ de
		Agua (L)
1:4	0.72	272

Se realizó una regla de 3 simples y se obtuvo que para cada muro se utiliza 13.6 litros de agua y en las dos pozas se obtuvo un total de 108.8 litros de agua.

ANEXO 6

CÁLCULO PARA OBTENER LA CANTIDAD DE TIERRA RETIRADA PARA HACER LA ZANJA DEL BIODIGESTOR Y LA POZA SALIDA.

En este proceso se realizó según el procedimiento propuesto por (Londoño, 2020) y su Coeficiente de esponjamiento de 1.20 para tierra común.

$$V = l \cdot a \cdot p$$

$$VT \text{ (zanja del biodigestor)} = 9 \text{ m}^3$$

$$VT \text{ (poza de salida)} = 0.125 \text{ m}^3$$

Total, de volumen teórico de excavación es de 9.125 m³.

$$V = V \cdot C \text{ ónd s: } a e$$

$$\text{Volumen Real} = 9.125 \text{ m}^3 \cdot 1.20 = 10.95 \text{ m}^3 = 11 \text{ m}^3.$$

ANEXO 7

CÁLCULO DE EMISIONES DE POR EL USO DE COMBUSTIBLE DIÉSEL.

En este procedimiento primero se convirtió el consumo del combustible diésel en unidades de energía (J) luego se obtener esto se calculó las emisiones de CO_{2eq}.

$$V \text{ (L)} \times \rho \text{ (kg/L)} \times D \text{ (Gj/kg)} = E \text{ (Gj)}$$

$$V = 272.55 \text{ L} \times 0.851 \text{ kg/L} \times 0.04 \text{ Gj/kg} = 9.28 \text{ Gj} = 927.76 \times 10^7 \text{ J}$$

Ahora se procederá a convertir la cantidad de energía en emisiones de gases de efecto invernadero:

$$\sum E \text{ (Gj)} \times e \text{ (kg/Gj)} = E \text{ (kg)} \quad \text{*Factor de emisión*PCG}$$

$$927.76 \times 10^7 \text{ J} \times 74100 \text{ kg}/10^{12} \text{ J} \times 1 = 687.47 \text{ kg } CO_2$$

$$927.76 \times 10^7 \text{ J} \times 3.90 \text{ kg}/10^{12} \text{ J} \times 21 = 0.76 \text{ kg } CO_2$$

$$927.76 \times 10^7 \text{ J} \times 3.90 \text{ kg}/10^{12} \text{ J} \times 310 = 11.22 \text{ kg } CO_2$$

Por consiguiente el valor total de las emisiones fue de 699.45 kg CO_{2e} .

ANEXO 8

EMISIONES DE CO₂eq ORIGINADAS POR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA



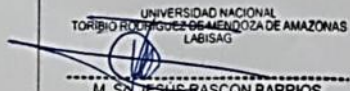
En este apartado el resultado se obtiene multiplicando la cantidad de energía Eléctrica (kWh) por el factor de emisión, calculado para la matriz energética de Perú.

$$E \quad d \text{ CO}_2\text{eq} = E \quad \text{í a T} \quad (k \ h) * F \quad (0.6593 \frac{k \text{ CO}_2\text{eq}}{\text{kWh}})$$

$$E \quad d \text{ CO}_2\text{eq} = 1110 \text{ k} \ h * 0.6593 \frac{k \text{ CO}_2\text{e}}{\text{k}} = 731.82 \text{ k} \text{ CO}_2\text{eq}$$




ANEXO 9

RESULTADOS DEL PRIMER ANÁLISIS DE LABORATORIO.

	 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Código: CCFT-0036	Versión: 03 09/05/22	
	INFORME DE ENSAYO		Página: 01	
INFORME DE ENSAYO N°		LAB22-AA-809		
DATOS GENERALES				
NOMBRE COMPLETO O RAZON SOCIAL	KARIN YARDELY TAFUR HUAYAN			
TÉLEFONO	996255052			
E-MAIL	NO ESPECIFICA			
DIRECCIÓN	SANTA ROZA - RODRIGUEZ DE MENDOZA			
RUC / DNI	72927768			
REFERENCIA	AMAZONAS			
PROCEDENCIA	RODRIGUEZ DE MENDOZA			
PRESENTACION	01 FRASCO TRASLUCIDO DE 500ML.			
MUESTREADO POR	KARIN YARDELY TAFUR HUAYAN			
FECHA Y HORA DE COLECTA	domingo, 07 de agosto de 2022	10:20:00 a.m.		
FECHA Y HORA DE RECEPCION	lunes, 08 de agosto de 2022	02:35:00 p.m.		
FECHA Y HORA DE INICIO DE ENSAYOS	lunes, 08 de agosto de 2022	02:00:00 p.m.		
FECHA Y HORA DE EMISIÓN DEL INFORME DE ENSAYO	viernes, 18 de noviembre de 2022	09:12:19 a.m.		
CÓDIGO DE MUESTRA CLIENTE	MEZCLA ESTIÉRCOL:AGUA			
TIPO DE AGUA	MEZCLA ESTIÉRCOL: AGUA			
ÁREA DE DESARROLLO DE LOS ANALISIS	FQ			
AUTORIZADO POR: Jesús Rascon Barrios	FUNCIONES: Responsable del Laboratorio	FIRMA:  UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS LABISAG M. SC. JESUS RASCON BARRIOS RESPONSABLE		
RESULTADOS DE ANÁLISIS FISIQUÍMICOS.				
PARÁMETROS FÍSICOS Y DE AGREGACIÓN				
PARÁMETROS	MÉTODO	U. D.	R. E.	MUESTRA
pH	Método 4500-H ⁺ - APHA, AWWA, WEF	pH	0.02	3.76
SOLIDOS TOTALES	Método 2540 B, APHA, AWWA, WEF	mg/L	-	6628.00
RESULTADOS DE ANÁLISIS DE MATERIA ORGÁNICA				
PARÁMETROS MATERIA ORGÁNICA				
PARÁMETROS	MÉTODO	U. D.	L. D.	MUESTRA
D.B.O. ₅	Método 7043, HACH Dilución	mg/L de O ₂	<0,01	76.75
D.Q.O.	Método 7000, HACH Digestión de Reactor	mg/L de O ₂	<0,7	33972.00
R.E. = Resolución Equipo. L. D. = Límite máximo de detección del método. U. D. = Unidad de Medida. MB=Área de Análisis Microbiológico. FQ= Área de Análisis Físicoquímico. EEA= Área de Espectrofotometría de Emisión Atómica				
* OBSERVACIONES	MEZCLA ESTIÉRCOL AGUA FUERA DEL ALCANCE DE ACREDITACIÓN			
Este laboratorio está acreditado de acuerdo a la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.				
Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras ensayadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LABISAG. Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce				
Recibí Conforme		Firma de Conformidad		
Nombre:		_____		
DNI:		_____		
Fecha y Hora:		_____		
Calle Rigoberto Uscanga 17740-300-200 - Calle Universitaria 97504 - Chachapuyo - Amazonas - Perú laboratorio@unam.edu.pe labirag@unam.edu.pe				
"FIN DEL DOCUMENTO"				

ANEXO 10

RESULTADOS DEL SEGUNDO ANÁLISIS DE LABORATORIO

	 UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	Código: CCFT-0036	Versión: 03 09/05/22	
		INFORME DE ENSAYO		Página: 01
INFORME DE ENSAYO N° :		LAB23-AA-023		
DATOS GENERALES				
NOMBRE COMPLETO O RAZON SOCIAL TELÉFONO E-MAIL DIRECCIÓN RUC / DNI REFERENCIA PROCEDENCIA PRESENTACIÓN MUESTREADO POR FECHA Y HORA DE COLECTA FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN FECHA Y HORA DE INICIO DE ENSAYOS FECHA Y HORA DE EMISIÓN DEL INFORME DE ENSAYO CÓDIGO DE MUESTRA CLIENTE TIPO DE AGUA ÁREA DE DESARROLLO DE LOS ANALISIS	KARIN YARDELY TAFUR HUAYAN 965255052 kyth1515@gmail.com PROLONGACIÓN SANTO DOMINGO N° 260 72927768 RODRIGUEZ DE MENDOZA CASERIO RAMOS KARIN YARDELY TAFUR HUAYAN viernes, 10 de febrero de 2023 11:30:00 a.m. jueves, 13 de febrero de 2023 12:00:00 a.m. sábado, 25 de febrero de 2023 10:20:00 a.m. martes, 21 de marzo de 2023 03:31:01 p.m.			
AUTORIZADO POR: Jesús Rascón Barrios		FUNCIONES: Responsable del Laboratorio	FIRMA:  M. Sc. JESÚS RASCON BARRIOS RESPONSABLE	
RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUÍMICOS.				
PARÁMETROS FÍSICOS Y DE AGREGACIÓN				
PARAMETROS	MÉTODO	U. D.	R. E.	MUESTRA
pH	Método 4500-H ⁺ ; APHA, AWWA, WEF	pH	0.02	6.49
SÓLIDOS TOTALES	Método 2540 B; APHA, AWWA, WEF	mg/L	-	1887.50
RESULTADOS DE ANALISIS DE MATERIA ORGÁNICA				
PARÁMETROS MATERIA ORGÁNICA				
PARAMETROS	MÉTODO	U. D.	L. D.	MUESTRA
D.B.O. ₅	Método 7901; HACH; Difusión	mg/L de O ₂	<0.01	48.25
D.Q.O.	Método 7900; HACH; Digestión de Reactor	mg/L de O ₂	<0.7	20317.00
R.E. = Rasterización Espesa; L. D. = Límite máximo de detección del método; U. D. = Unidad de Medida; MB= Área de Análisis Microbiológico; PQ= Área de Análisis Fisicoquímico; EEA= Área de Espectroscopía de Emisión Atómica				
* OBSERVACIONES		SIN OBSERVACIONES		
Este laboratorio está acreditado de acuerdo a la norma internacional reconocida ISO / IEC 17025. Esta acreditación demuestra la competencia técnica para un alcance definido y el funcionamiento de un sistema de gestión de calidad de laboratorio. (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA. Los resultados son aplicables para las muestras tal y como fueron recibidas. Los resultados presentados son válidos únicamente para las muestras analizadas. Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin la autorización escrita del LABISAG. Los resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce				
Fecha y Hora:		Firma de Conformidad		
Nombre: DNI: Fecha y Hora:		_____		
Calle Hiper Uno 5715, TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA 57004 - Chachapoyas - Amazonas - Perú labisag@unatm.edu.pe - labisag@unatm.edu.pe				
"FIN DEL DOCUMENTO"				