



Esta obra está bajo una [Licencia  
Creative Commons Atribución-  
NoComercial-Compartirigual 2.5 Perú.](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/)

Vea una copia de esta licencia en  
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**Eficiencia de biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la  
remoción de aguas residuales del matadero municipal de Rioja 2017**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental**

**AUTOR:**

**Harold Jefferson Ordoñez Mori**

**ASESOR:**

**Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez**

**Código N° 6050317**

**Moyobamba – Perú**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**

**FACULTAD DE ECOLOGÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**




**Eficiencia de biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la  
remoción de aguas residuales del matadero municipal de Rioja 2017**

**AUTOR:**

**Harold Jefferson Ordoñez Mori**

**Sustentada y aprobada el 31 de marzo del 2021, por los siguientes jurados:**

  
.....  
**Ing. Dr. Yrwin Francisco Azabache Liza**  
**Presidente**

  
.....  
**Ing. M.Sc. Mirtha Felicita Valverde Vera**  
**Secretario**

  
.....  
**Ing. Angel Tuesta Casique**  
**Miembro**

  
.....  
**Blgo. M.Sc. Luis Eduardo Rodríguez Pérez**  
**Asesor**

## Declaratoria de autenticidad



**Harold Jefferson Ordoñez Mori**, con DNI N° 71657278, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín, autor de la tesis titulada: **Eficiencia de biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de Rioja 2017.**

Declaro bajo juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda la información que contiene la tesis no ha sido auto plagiada;
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados ni copiados, por tanto, la información de esta investigación debe considerarse como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la Universidad Nacional de San Martín.

Moyobamba, 31 de marzo del 2021.

  
  
**Bach, Harold Jefferson Ordoñez Mori**

DNI N° 71657278

**Formato de autorización NO EXCLUSIVA para la publicación de trabajos de investigación, conducentes a optar grados académicos y títulos profesionales en el Repositorio Digital de Tesis**

**1. Datos del autor:**

Apellidos y nombres: ORDOÑEZ MORI HAROLD JEFFERSON	
Código de alumno : 105154	Teléfono: 985779779
Correo electrónico : hijordonezm@alumno.unsm.edu.pe	DNI: 71657278

(En caso haya más autores, llenar un formulario por autor)

**2. Datos Académicos**

Facultad de: ECOLOGÍA
Escuela Profesional de: INGENIERIA AMBIENTAL

**3. Tipo de trabajo de investigación**

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de investigación	<input type="checkbox"/>
Trabajo de suficiencia profesional	<input type="checkbox"/>		

**4. Datos del Trabajo de investigación**

Título : EFICIENCIA DEL BIOPRESTOR DE MANGAS CON CONSORCIOS MICROBIANOS NATIVOS EN LA REMOCION DE AGUAS RESIDUALES DEL MATADERO MUNICIPAL DE PISOA 2017
Año de publicación: 2021

**5. Tipo de Acceso al documento**

Acceso público *	<input checked="" type="checkbox"/>	Embargo	<input type="checkbox"/>
Acceso restringido **	<input type="checkbox"/>		

Si el autor elige el tipo de acceso abierto o público, otorga a la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto, una licencia **No Exclusiva**, para publicar, conservar y sin modificar su contenido, pueda convertirla a cualquier formato de fichero, medio o soporte, siempre con fines de seguridad, preservación y difusión en el Repositorio de Tesis Digital. Respetando siempre los Derechos de Autor y Propiedad Intelectual de acuerdo y en el Marco de la Ley 822.

En caso que el autor elija la segunda opción, es necesario y obligatorio que indique el sustento correspondiente:

--

**6. Originalidad del archivo digital.**

Por el presente dejo constancia que el archivo digital que entrego a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, como parte del proceso conducente a obtener el título profesional o grado académico, es la versión final del trabajo de investigación sustentado y aprobado por el Jurado.

## 7. Otorgamiento de una licencia *CREATIVE COMMONS*

Para investigaciones que son de acceso abierto se les otorgó una licencia *Creative Commons*, con la finalidad de que cualquier usuario pueda acceder a la obra, bajo los términos que dicha licencia implica

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/pe/>

El autor, por medio de este documento, autoriza a la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, publicar su trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Digital de Tesis, al cual se podrá acceder, preservar y difundir de forma libre y gratuita, de manera íntegra a todo el documento.

Según el inciso 12.2, del artículo 12° del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales - RENATI "Las universidades, instituciones y escuelas de educación superior tienen como obligación registrar todos los trabajos de investigación y proyectos, incluyendo los metadatos en sus repositorios institucionales precisando si son de acceso abierto o restringido, los cuales serán posteriormente recolectados por el Repositorio Digital RENATI, a través del Repositorio ALICIA".

  
.....  


Firma del Autor

## 8. Para ser llenado en el Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto de la UNSM - T.

Fecha de recepción del documento.

24 / 05 / 2022

  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología  
e Innovación de Acceso Abierto - UNSM.  
.....  
Ing. Grecia Vanessa Fachin Ruíz  
Responsable

**\*Acceso abierto:** uso lícito que confiere un titular de derechos de propiedad intelectual a cualquier persona, para que pueda acceder de manera inmediata y gratuita a una obra, datos procesados o estadísticas de monitoreo, sin necesidad de registro, suscripción, ni pago, estando autorizada a leerla, descargarla, reproducirla, distribuirla, imprimirla, buscarla y enlazar textos completos (Reglamento de la Ley No 30035).

**\*\* Acceso restringido:** el documento no se visualizará en el Repositorio.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo de investigación en primer lugar a Dios, por ser el quién nos inspira, nos da las fuerzas de continuar, seguir adelante enfrentar y superar los retos que nos da la vida.

A mí adorada madre Yolanda la cual es la fuente más importante de mi vida; por darme su amor incondicional y siempre creer en mí. A mis padres Zenaida y Nixon que con sus consejos supieron impulsarme a seguir adelante.

A mis tíos y tías quienes quiero y admiro por su dedicación, quienes con su ayuda y comprensión son parte fundamental de mi vida. A Tatyana que siempre estuvo brindándome su apoyo incondicional y darme la fuerza de seguir adelante.

A mis profesores, agradezco su tiempo, apoyo y compartir sus conocimientos en el desarrollo de mi formación profesional.

## **Agradecimiento**

A mi familia por hacer que este proyecto se haga realidad y por brindarme siempre sus sabios consejos, a la mujer que me acompaña día a día y me da la fortaleza de seguir adelante, a mi asesor por su paciencia, generosidad y brindarme la oportunidad de recurrir a su capacidad y experiencia científica en el marco de la confianza, afecto y amistad, indispensables y fundamentales para la creación de este trabajo de investigación. Gracias a todas las personas por su apoyo directo e indirecto en la realización de esta investigación.

## Índice General

Dedicatoria.....	x
Agradecimiento.....	vii
Índice General.....	viii
Índice de tablas .....	x
Índice de figuras.....	xi
Resumen .....	xii
Abstract.....	xiii
Introducción.....	1
CAPITULO I.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
1.1. Antecedentes de la investigación.....	4
1.2. Bases Teóricas .....	10
1.2.1. Clasificación de aguas residuales Aguas residuales urbanas:.....	10
1.2.2. Características.....	11
1.2.3. Manejo de Aguas Residuales Municipales .....	18
1.2.4. Microorganismos .....	20
1.2.5. Factores que afectan al crecimiento de los microorganismos.....	22
1.2.6. Biomasa .....	23
1.2.7. Biodigestores .....	28
1.2.8. Características del digestor .....	30
1.2.9. Tipos de Biodigestores.....	30
1.2.10. Ventajas del uso del biol.....	38
1.2.11. Desventajas del uso biol. ....	39
1.2.12. Como utilizar el biol (Aplicación) .....	39
1.2.13. Biosol.....	40
1.2.14. Biogás .....	41
1.3. Definición de términos.....	43
CAPITULO II.....	44
MATERIAL Y MÉTODO.....	44
2.1. Materiales.....	44

2.2. Métodos	44
2.2.1. Recolección de las aguas residuales para el tratamiento.....	44
2.2.2. Instalación del biodigestor .....	44
2.2.3. Cargado del biodigestor .....	45
2.2.4. Determinación de la temperatura, pH y sustratos .....	45
CAPITULO III.....	46
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	46
3.1. Resultados.....	46
3.1.1. Dimensionamiento del biodigestor de mangas: .....	46
3.1.2. Niveles de (DBO, DQO, N, P y K) pre y post tratamiento. ....	46
3.1.3. Eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales y su comparación con los LMP.....	47
3.1.4. Contribución del biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de las aguas residuales.....	48
3.2. Discusión .....	49
CONCLUSIONES .....	52
RECOMENDACIONES.....	53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS .....	60

## Índice de tablas

Tabla 1. Niveles de los parámetros establecidos pre y post tratamiento.....	46
Tabla 2. Niveles de otros parámetros pre y pos tratamiento.....	47
Tabla 3. Eficiencia del biodigestor de mangas en la remoción de aguas residuales.....	47
Tabla 4. Comparación de los parámetros pos tratamiento con los LMP .....	48
Tabla 5. Datos transformados al logaritmo para Prueba de hipótesis.....	48

## Índice de figuras

Figura 1. Tecnologías de conversión de la biomasa y residuos .....	28
Figura 2. Planta de biogás comercializada por CAMARTEC, Tanzania .....	33
Figura 3. Diseño de biodigestor taiwanés .....	36
Figura 4. Curva de rechazo .....	49
Figura 5. Colocación del tubo de ingreso de residuos del matadero del biodigestor.....	67
Figura 6. Colocación del tubo de salida de gas. ....	67
Figura 7. Colocación de la trampa en el tubo de la salida del gas para mitigar los olores. ....	68
Figura 8. Instalación del biodigestor de mangas. ....	68
Figura 9. Cargado del biodigestor con las aguas residuales del matadero. ....	69
Figura 10. Cargado del biodigestor con la levadura <i>Saccharomyces cereviceae</i> y microorganismos eficaces.....	69
Figura 11. Cargado del biodigestor con el rumen y microorganismos eficaces.....	70
Figura 12. Colocada de tubos para el llenado del biodigestor.....	70

## Resumen

En el presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo general determinar la eficiencia del biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de la ciudad de Rioja. El trabajo de investigación es aplicado, con un diseño de investigación experimental. Se usó un biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos para la remoción de aguas residuales procedentes de aguas residuales del matadero municipal. El biodigestor se construyó de bolsa de polietileno de 1.5 m de diámetro y 2.5 m de largo, para una capacidad de carga 0.5 m<sup>3</sup>, el mismo que se instaló en una zanja de 1.5 m de profundidad, 2.5 m de largo y 1.5 m de ancho. La carga del biodigestor de mangas fue de 80 L de capacidad para su funcionamiento efectivo, agregándose microorganismos eficaces en una cantidad de 30 L, constituido por 30 L de rumen de vaca y 200 g de levaduras de *Saccharomyces cereviceae*. El proceso de fermentación duró cuatro semanas. Los niveles de DBO, DQO, N, P y K pre tratamiento fueron: 785,36 mg/L, 2 356,63 mg/L, 1,26%, 0,31% y 0,12% respectivamente y post tratamiento: 485,63 mg/L, 1 325,36 mg/L, 0,45%, 0,163%, y 0,045%. El promedio de la eficiencia de remoción de la materia orgánica de las aguas residuales es de 0.51%, mostrando una disminución significativa en el post tratamiento respecto al pre tratamiento. Finalmente, el biodigestor de mangas evidencio significativamente un 95% de eficiencia en la remoción de las aguas residuales del matadero municipal.

**Palabras clave:** Microorganismos eficaces, eficiencia, camal, aguas residuales.

## Abstract

The general objective of this research was to determine the efficiency of the sleeve biodigester with native microbial consortia in the removal of wastewater from the municipal slaughterhouse of the city of Rioja. The research work is applied, with an experimental research design. A sleeve biodigester with native microbial consortia was used for the removal of wastewater from the municipal slaughterhouse wastewater. The biodigester was constructed out of a polyethylene bag 1.5 m in diameter and 2.5 m long, for a loading capacity of 0.5 m<sup>3</sup>, which was installed in a trench 1.5 m deep, 2.5 m long and 1.5 m wide. The loading of the sleeve biodigester was of 80 L for its effective operation, adding effective microorganisms in an amount of 30 L, constituted by 30 L of cow rumen and 200 g of *Saccharomyces cereviceae* yeasts. The fermentation process lasted four weeks. The levels of BOD, COD, N, P and K pre-treatment were: 785.36 mg/L, 2 356.63 mg/L, 1.26%, 0.31% and 0.12% respectively and post-treatment: 485.63 mg/L, 1 325.36 mg/L, 0.45%, 0.163%, and 0.045%. The average organic matter removal efficiency of the wastewater is 0.51%, showing a significant decrease in post treatment compared to pretreatment. Finally, the sleeve biodigester showed a significant 95% efficiency in the removal of wastewater from the municipal slaughterhouse.

**Key words:** Efficient microorganisms, efficiency, litter, slaughterhouse, waste water.



## **Introducción**

A menudo a nivel mundial se habla sobre grandes sistemas capaces de convertir materia orgánica como excretas de animales en biogás, biol y biosol, el cual es usado comúnmente para cocinar, producir energía eléctrica, abonos con alto contenido de nutrientes. Los residuos líquidos producidos en un matadero son efluentes que contienen sangre, rumen, pelos, grasas, proteínas. La generación de vertidos de aguas residuales tiene una carga orgánica y de nutrientes media-alta con un contenido importante de sólidos en suspensión (SALAS & CONDORHUAMÁN, 2008), para ello la presente investigación, propone el uso del biodigestor tubular, considerando los beneficios de esta tecnología y su bajo costo en la implementación (HERRERO, 2008).

En Perú, en algunas ciudades como Lima y Arequipa, existe este tipo de desarrollo, sistemas de producción de biogás a mediana escala no sofisticados cuyos propietarios son personas dedicadas al negocio agropecuario, el proceso productivo de la carne, mediante los camales y mataderos, genera una gran cantidad de residuos que son vertidos al medio ambiente, y muchas de estas instalaciones no cuentan con sistemas de tratamiento de residuos sólidos, líquidos y gaseosos, siendo fuente de contaminación medio ambiental emanados al exterior.

En el Perú existen gran número de mataderos para el sacrificio de animales domésticos, se reportan más de 200 camales no autorizados por el SENASA; sin embargo, estos locales funcionan con total normalidad incumpliendo con las normativas vigentes, frente a esto, la municipalidad cumple un rol fundamental como organismo competente para administrar estos locales y la fiscalización constante, certificando aquellos que posean las condiciones mínimas necesarias (JIMÉNEZ & PESANTES, 2020).

En el Perú según el D.S. 22-95-AG Reglamento Tecnológico de Carnes; para el trámite de construcción de camales, es un requisito indispensable el estudio del impacto ambiental, igualmente un sistema de tratamiento y eliminación de las aguas servidas. Los camales ya construidos deberán reacondicionar estos requisitos, en Rioja desde hace muchos años se viene protestando por los gases que emana este camal en condiciones precarias, donde a simple vista se nota la falta de higiene y las condiciones en las que viven los animales antes

de ser sacrificados, en tal sentido y como estrategia para poder mitigar el efecto que esta produce se planteó la elaboración de un biodigestor.

Ante la problemática que aqueja la ciudad de Rioja, se planteó realizar este trabajo de investigación, bajo la siguiente hipótesis: la eficiencia de biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos es significativa en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de Rioja. Teniendo como variable dependiente a la eficiencia de biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos, y la remoción de aguas residuales del matadero municipal, como variable dependiente. El método principal que se empleo fue la construcción del biodigestor de mangas, tratando de usar recursos económicos, por otro lado, el análisis de la muestra se llevó a cabo en laboratorio de suelos, aguas y foliares de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín. Como instrumentos se usaron, fichas de campos y de toma de datos.

La ciudad de Rioja cuenta con un matadero municipal que trae muchos inconvenientes a la población uno de ellos y el de los más importantes el problema de la contaminación por aguas residuales que trae consigo la emanación de olores, moscas y una serie de vectores infecciosos que atenta contra la salud pública. Ante esta importante situación se ha planteado la siguiente pregunta, ¿Cuál es la eficiencia del biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de Rioja - 2017? Así mismo se tuvo como objetivo general: Determinar la eficiencia del biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de Rioja - 2017, además los objetivos específicos fueron: Dimensionar el funcionamiento de un biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos para la remoción de las aguas residuales; determinar los niveles de (DBO, DQO, P y K) pre y post tratamiento y evaluar la eficiencia de remoción de la materia orgánica de las aguas residuales y su comparación con los LMP.

Al no existir ningún tratamiento previo de las aguas residuales que diariamente emana el matadero municipal producto de sus actividades de matanza de los animales, las cuales se vierten directamente al desagüe, lo que origina contaminación en las quebradas aledañas. Es de vital importancia realizar esta investigación, ya que urge la necesidad de tratar estas aguas, para disminuir su poder contaminante y al mismo tiempo darle un valor agregado, a través de la producción de biogás, biol y biosol, utilizando como aliados a un consorcio de microorganismos eficaces.

En cuanto a la estructura de la tesis, en el capítulo I se exponen los estudios previos que sustentan la investigación, así como la definición de los principales términos relacionados con el ruido.

En el capítulo II se consideraron los materiales y métodos utilizados en la investigación, técnicas de recolección de datos e instrumentos de procesamiento y análisis de datos

En el capítulo III se presentan los resultados de la investigación, así como la discusión de los mismos de acuerdo a los estudios previos descritos en el capítulo II de la investigación.

Finalmente se presentan las principales conclusiones deducidas de la investigación, así como las recomendaciones, referencias bibliográficas y los anexos pertinentes al estudio realizado.

# CAPITULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes de la investigación

#### **Internacional**

VARGAS & PULIDO (2021), en su trabajo de investigación “Diseño de un biodigestor tipo manga para granja ubicada en la zona rural de Usme”, cuyo objetivo general fue diseñar un biodigestor tipo manga para la granja de Mary en la localidad de Usme. Eligieron el modelo manga o tubular debido dado su bajo costo y la simplicidad de su tecnología. Para lograr el objetivo se recopilaron información primaria y secundaria, el diseño del biodigestor, su zanja y su red de conducción; la puntualización de sus requisitos constructivos y operativos, y el análisis costo-beneficio de la hipotética implementación del biodigestor. Concluyeron que el diseño del biodigestor fue exitoso, ya que este: produce biogás más que suficiente para suplir la demanda de la granja y el potencial energético de la misma hacer proveer su producción será aún mayor, su costo de inversión no superó al SMMLV actual. Finalmente, su periodo de recuperación se dará a mediano plazo y generará ingresos para la granja culminado este periodo.

SOLIS (2015) en su trabajo de investigación “Evaluación económica del cultivo de acelga (*Beta Vulgaris* var. Cicla) usando Biol como fertilizante orgánico”, concluye que es posible la aplicación de biol de estiércol de cerdo para mejorar el cultivo de acelga y eliminar la necesidad del uso de fertilizantes químicos, lo cual traerá un beneficio económico, ya que se producirán acelgas de mayor tamaño y peso, así como un beneficio ambiental, al reducir los efectos colaterales del uso de fertilizantes químicos.

PINTO & QUIPUZCO (2015) en su investigación “Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria”, concluyeron que, las aguas grises y las aguas amarillas, como parte de las aguas residuales domésticas producidas por la población, son residuos líquidos que pueden ser reutilizados como sustitutos del agua de pozo para la alimentación de biodigestores para la producción de biogás y fertilizante líquido, además de que el

biol producido en los dos tratamientos presenta micronutrientes: Nitrógeno, Fósforo y Potasio en su composición en donde la calidad del biol para el tratamiento con aguas residuales presenta concentraciones mayores de macronutrientes que el biosol.

CABOS RODRÍGUEZ (2014) en su tesis de pregrado “Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del Biol y Biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo”, llega a la conclusión de que el Nitrógeno se encuentra en mayor concentración en ambos efluentes (biol y biosol), también menciona que al comparar las concentraciones de Nitrógeno, Fosforo y Potasio de los efluentes biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno, se observa que ambos componentes tienen estadísticamente la misma concentración de Nitrógeno, Fósforo y Potasio y por último propone en primer lugar al biol y al biosol como fertilizantes orgánicos para así poder disminuir la contaminación ambiental por el uso excesivo de agroquímicos.

TOALA MURRIETA (2014) en su tesis “Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica”, concluyó que: El estiércol de ganado vacuno, posee % de residuos orgánicos y carga bacteriana, lo cual genera un riesgo biológico para las personas y animales del rancho, aumentando la contaminación por la acumulación excesiva. Cada uno de los biodigestores de polietileno trabajará con una eficiencia del 90,42%, en relación a la energía producida en el proceso anaerobio.

RUIZ (2010), en su trabajo de investigación “Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos, Lima, Perú”, tuvo como objetivo general fue la búsqueda de una solución integral al grave problema social, económico y ambiental en que viven día a día cientos de familias asentadas en el Parque Porcino de Ventanilla, en Lima-Perú. Se analiza, se adapta y hace viable la aplicación de las tecnologías existentes a la utilización de las excretas y orines de los cerdos y de las aguas residuales de las viviendas como materia prima para la producción de biogás y otros subproductos, que sirvan como: fuente de energía, de insumos para la producción orgánica, para el uso racional del agua, la planificación

del territorio y sobre todo para la mejora de los ingresos de las familias, todo ello priorizando el uso de los recursos locales y que sea asumible por las familias para su operación, mantenimiento y réplica, lo cual ha significado trabajar en una metodología participativa involucrando a las familias en el proceso.

### **Nacional**

MORI (2021), en su trabajo de investigación “Eficiencia de un biodigestor tubular en la remoción de la carga orgánica y sólidos de un efluente del beneficio cárnico, en Celendín”, cuyo objetivo fue determinar la eficiencia de un biodigestor tubular en la remoción de la carga orgánica y sólidos suspendidos del efluente de un centro de beneficio cárnico, en la ciudad de Celendín, Cajamarca, Perú. Instalaron un biodigestor tubular con un volumen de 7.2 m<sup>3</sup> y 5,7 m de longitud, se realizaron cargas diarias de 0.03 m<sup>3</sup>/día rumen y 0.09 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales del efluente de beneficio cárnico, haciendo una relación 1:3. Evaluaron DBO, DQO y sólidos suspendidos totales, 45 días después de la instalación del biodigestor y continuaron cada 15 días hasta 180 días. Los resultados evidenciaron que la eficiencia del biodigestor tubular es notoria a partir de los 120 días, obteniendo los valores promedios del efluente de biodigestor tubular de 293.5mg/L para DBO5, 355.9mg/L para DQO y 70 mg/L para SST; estos resultados fueron comparados con los valores máximos admisibles (VMA), para la descarga de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario DS N°021 – 2009, verificando el cumplimiento con la norma. Por tanto, concluyeron que el biodigestor tubular es eficiente en el tratamiento de efluentes del beneficio cárnico, logrando porcentajes máximos de remoción de 99.72% para DBO, 98.98 % para DQO y 99.17 % para SST, en un tiempo de retención de 180 días.

NINA VENTURA (2020), en su trabajo de investigación “Obtención de combustible biogás a base de desechos orgánicos mediante la construcción de un biodigestor, Arequipa 2020”, cuyo objetivo fue obtener biogás a base de los desechos sólidos orgánicos producidos en una vivienda promedio, mediante la construcción de un biodigestor casero. La investigación fue descriptiva explicativa, de nivel aplicada. Utilizó las técnicas de la observación, la entrevista y la encuesta. Dentro de sus resultados, se tuvo que la producción promedio de residuos sólidos de una vivienda

familiar es 20.45 kg. en 07 días. Además, mencionan que el volumen total de residuos sólidos necesarios para abastecer al equipo debe ser de 02 familias durante 30 días. La cantidad de biogás fue de 0,402 m<sup>3</sup>/día, suficiente para abastecer a una cocina con dos hornillas durante 60 horas continuas, obteniendo un volumen de 12,06 m<sup>3</sup>/mes, equivalente a tres balones de gas de 10kg.

MONTENEGRO (2020), en su trabajo de investigación “Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas”, para lograr el objetivo de la investigación se procesó el estiércol de bovino y se instaló un biodigestor tubular de geomembrana de PVC de 12 m<sup>3</sup> de volumen total; los 9 m<sup>3</sup> de volumen de trabajo son ocupado por la mezcla estiércol: agua en la relación de 1:5, los 3 m<sup>3</sup> restantes fueron ocupados por el biogás producido, luego de un tiempo de retención hidráulica de 20 días, con una temperatura ambiente promedio de 21,9 °C. El biogás producido cada día en el biodigestor, fue usado como combustible en la cocina para la preparación de alimentos de la familia, con un rendimiento promedio de 4,30 h/día. Los bioabonos fueron utilizados como fertilizantes orgánicos en parcelas experimentales de alfalfa. Finalmente el autor manifiesta que los beneficios de este sistema de energías limpias favorecen considerablemente al medio ambiente, de esta forma se mitiga los gases de efecto invernadero que serían emanados a la atmósfera por la descomposición del estiércol del ganado al pastoreo libre; al mismo tiempo, se reduce la utilización de fertilizantes químicos en la agricultura ya que los abonos orgánicos producidos en el biodigestor son muy eficaces para los cultivos de alfalfa.

ARRIETA (2016) en su investigación “Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado”, concluyó que: De los tipos de biodigestores domésticos evaluados, se concluye que el más adecuado, por ser el más económico y el que menos dificultades presenta, tanto para su instalación como para su operación, es el biodigestor tubular de plástico. La aplicación de la digestión anaeróbica en biodigestores domésticos es una fuente de energía renovable (biogás), la cual puede reemplazar a combustibles fósiles como el gas natural o el GLP. Además, permite obtener un fertilizante orgánico de calidad (biol) y evita la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición incontrolada de la materia orgánica, lo que cobra mayor importancia en la actualidad debido a los

efectos que está causando el calentamiento global. Debido a que nuestro país tiene un potencial ganadero importante, el estado debería incentivar la masificación de los biodigestores domésticos mediante el otorgamiento de créditos o de subsidios para las familias de bajos recursos, tal como se hace con el Fondode Inclusión Social Energético (FISE) para la compra de balones de gas.

ZEA BELTRAN *et al.* (2015) en su investigación denominada “Biodigestores de escala a 50 litros, una solución para la producción de gas, abono y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos”, concluyó que, La propuesta de biodigestores a escala es trabajar un prototipo a bajo costo, empleando materiales encontrados habitualmente en las casas y fincas es una de las soluciones viables para generar energía biodegradable para uso doméstico. El realizar la caracterización de materiales orgánicos permite optimizar la biomasa para poner a funcionar el biodigestor eficientemente para la producción del gas y de abono. En el semillero de investigación se está trabajando actualmente en la caracterización de las fincas para seguir con la instalación de prototipos y estudio de la biomasa.

LOZANO (2012) En su investigación denominada “Diseño de biodigestores para las familias caprinocultoras de la cuenca baja del río Chillón”, llegó a las siguientes conclusiones: La instalación de un biodigestor lineal de 10 m<sup>3</sup> alimentado con excretas caprinas en Lima Norte cubriría las necesidades diarias familiares de gas y permitiría el acceso a nuevos mercados (queso pasteurizado) y la reducción del impacto ambiental de la crianza. Es absolutamente necesario determinar el número de animales y las condiciones de manejo que tornan una explotación caprina en Lima Norte rentable. Asimismo, se hace imprescindible la reconversión genética del ganado.

APAZA (2013), en su trabajo de investigación “Compostaje y biodigestión con subproductos de camal en Puno-Perú”, cuyo objetivo general determinar el método más adecuado de elaboración de compost y biodigestión con sub productos de camal en altura. Evaluó dos métodos de biodigestión y la calidad de los productos finales. En los procesos de biodigestión se registró una fermentación psicrófila y mesófila. El biol y biosol, presentaron diferencias en los niveles de pH, conductividad y fósforo. El biol 1 y 2, mostraron diferencias en niveles de nitrógeno total de 0.05,

0.13%; potasio total 2.04, 5.7%; sodio 6.48, 8.40% y relación C/N 1123.05, 430.06, respectivamente. Los tratamientos no influyeron sobre los niveles de materia orgánica en todos los productos de la biodigestión; en el biosol 1 y 2 los tratamientos no influyeron sobre los niveles de humedad 79.01 y 77.02%, nitrógeno total 2.24 y 2.18%, potasio total 16.56 y 17.10%, sodio 12.72 y 13.72%, y relación C/N 24.5 y 25.0, respectivamente; obteniéndose una baja concentración de metales; el segundo tratamiento de biodigestión presentó una mayor concentración de nutrientes en sus productos y una mayor remoción de Coliformes fecales.

### **Local**

CHAVEZ & VÁSQUEZ (2017), en su trabajo de investigación “Determinación de la composición física, química y bacteriológica de efluentes de residuos sólidos orgánicos del camal municipal de Moyobamba, con la finalidad de uso sostenible local”, cuyo objetivo fue determinar las composiciones física, químicas y bacteriológicas de efluentes de residuos sólidos orgánicos del camal municipal de Moyobamba. Los parámetros evaluados fueron la turbiedad, pH, Conductividad, Coliformes fecales, SST, DBO5, DQO, Fósforo total y Nitrógeno amoniacal. La determinación se realizó en laboratorio, luego comparamos con los Límites Máximos Permisibles (LMP). Los resultados del análisis de tres muestras de efluentes tomadas en el exterior del perímetro del camal Municipal de Moyobamba, en distintas épocas del año, reportaron que contienen en promedio, Turbiedad 301.44 UNT; Nitrógeno amoniacal 36.39 mg/L; Fósforo Total 17.33 mg/L; DQO 717.11 mg/L; DBO5 391.56 mg/L; Sólidos Solubles Totales 371.22 mg/L; Coliformes Fecales 3534.78 UFC/100mL; pH 4.72. Los valores obtenidos para cada parámetro en los tres análisis son mayores a los LMP en la Turbiedad, DQO, DBO5, SST, Coliformes Fecales; mientras que están por debajo de los LMP los valores de Nitrógeno amoniacal, Fósforo total y pH. Al recolectar efluentes del Camal Municipal para el análisis físico, químico y bacteriológico y su composición en el suelo irrigado para fines de uso sostenible local, encontraron que existen altos contenidos de elementos necesarios para las plantas. Finalmente, los autores proponen colectar los efluentes en tanques, hacer agregados con soluciones de ceniza de la cascarilla de arroz procedente de las ladrilleras (al 20%), más agregados de lechadas de magnecal (al 10%), con la finalidad de obtener abono foliar.

## 1.2. Bases Teóricas

**Agua:** Es un recurso natural escaso, indispensable para la vida y el ejercicio de la inmensa mayoría de las actividades económicas; es irremplazable, fácilmente vulnerable y susceptible de usos sucesivos. Uno de los problemas asociados al progreso es la incorporación al medio natural de los residuos procedentes de los distintos procesos, que el hombre utiliza para aumentar su bienestar. Uno de los medios naturales más afectados por esta contaminación es el hídrico (BECERRA *et al.*, 2014).

**Aguas residuales:** Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

### 1.2.1. Clasificación de aguas residuales **Aguas residuales urbanas:**

Son aquellas que proceden de la contaminación en los núcleos urbanos: Servicios domésticos y públicos, limpieza de locales, drenado de aguas pluviales (LUTENBERG, 2010).

#### **Aguas residuales industriales:**

Son las que proceden de cualquier taller o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua, incluyéndose los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración (LUTENBERG, 2010).

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA, 2014).

#### **Aguas residuales domésticas:**

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA, 2014).

#### **Aguas residuales municipales:**

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con

aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

### **1.2.2. Características**

Comúnmente se menciona que las aguas residuales están compuestas aproximadamente en un 99% de agua y en un 1% de sólidos en suspensión, coloidales y disueltos. Aunque la composición exacta de las aguas residuales varía, obviamente, según las diferentes fuentes y a lo largo del tiempo, el agua sigue siendo, sin duda, su principal componente. Las distintas fuentes de aguas residuales pueden presentar otros tipos de componentes en concentraciones variable (UNESCO, 2017).

Las características de las aguas residuales están contempladas en tres grupos, dentro de los cuales tenemos las físicas, químicas y biológicas.

#### **➤ Físicas.**

##### **Color**

La coloración de las aguas residuales determina cualitativamente el tiempo de las mismas. Generalmente varía del beige claro al negro. Si el agua es reciente, suele presentar coloración beige clara; oscureciéndose a medida que pasa el tiempo, pasando a ser de color gris o negro, debido a la implantación de condiciones de anaerobiosis, por descomposición bacteriana de la materia orgánica (GARCÍA-RODRÍGUEZ, 2014).

##### **Olor**

Se debe principalmente a la presencia de determinadas sustancias producidas por la descomposición anaerobia de la materia orgánica: ácido sulfhídrico, indol, escatoles, mercaptanos y otras sustancias volátiles. Si las aguas residuales son recientes, no presentan olores desagradables ni intensos. A medida que pasa el tiempo, aumenta el olor por desprendimiento de gases como el sulfhídrico o compuestos amoniacales por descomposición anaerobia (GARCÍA-RODRÍGUEZ,

2014).

### **Temperatura.**

La temperatura del agua residual es generalmente más alta que la del suministro, debido a la adición de agua caliente procedente de la casa y de actividades industriales. Como el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas de las aguas residuales observadas son más altas que las temperaturas locales del aire durante la mayor parte del año y sólo son más bajas durante meses más cálidos del verano.

Según la localización geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía de 10°C a 21°C, siendo, pues 15°C un valor representativo (METCALF & EDDY, 1995).

### **Sólidos.**

De forma genérica, los sólidos son todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua residual que no son agua ni gas. Entre los efectos negativos sobre los medios hídricos, caben destacar entre otros, disminución en la fotosíntesis por el aumento de la turbidez del agua, deposiciones sobre los vegetales y branquias de los peces, pudiendo provocar asfixia por colmatación de las mismas; formación de depósitos por sedimentación en el fondo de los medios receptores, favoreciendo la aparición de condiciones anaerobias o aumentos de la salinidad e incrementos de la presión osmótica (METCALF Y EDDY, 1995).

### **Materia orgánica.**

Los componentes orgánicos pueden ser de origen vegetal o animal, aunque cada vez, y con mayor frecuencia, las aguas residuales urbanas también contienen compuestos orgánicos sintéticos. Las proteínas, hidratos de carbono y lípidos, así como sus derivados, son los compuestos orgánicos que principalmente aparecen en este tipo de aguas. Son biodegradables y su eliminación por oxidación es

relativamente sencilla (MARTÍN, 2006) Es la fracción más relevante de los elementos contaminantes en las aguas residuales domésticas y municipales debido a que es la causante del agotamiento de oxígeno de los cuerpos de agua. Está formada principalmente por CHONS (Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Azufre) constituyendo las proteínas (restos de origen animal y vegetal), los carbohidratos (restos de origen vegetal), los aceites y grasas (residuos de cocina e industria) y los surfactantes entre ellos los detergentes (LOZANO, 2012).

Las proteínas suponen entre el 40 y el 60% de la materia orgánica de un agua residual, y junto con la urea, son los principales responsables de la presencia de nitrógeno en las aguas residuales. La existencia de grandes cantidades de proteínas en el agua residual puede ser origen de olores desagradables debido a los procesos de descomposición. Los hidratos de carbono representan entre un 25 y 50% de la materia orgánica. Desde el punto de vista del volumen y la resistencia a la descomposición, la celulosa es el hidrato de carbono cuya presencia en el agua residual es la más importante.

En las aguas residuales urbanas, sin componente industrial, la presencia de grasas y aceites suele ser baja, no más de un 10%, lo que no evita que puedan provocar problemas. tanto en la red de alcantarillado como en las plantas de tratamiento. Si no se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con los organismos existentes en las aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables, impidiendo en determinadas ocasiones la realización de actividades como la fotosíntesis, respiración y transpiración

Junto con las proteínas, los hidratos de carbono, las grasas y los aceites, en el agua residual urbana aparecen pequeñas cantidades de moléculas orgánicas sintéticas, cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente compleja. Entre estas moléculas orgánicas sintéticas, destacan los agentes tensoactivos.

### **Materia inorgánica.**

Dentro de los compuestos inorgánicos se incluyen a todos los sólidos de origen generalmente mineral, como las sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas, y ciertos compuestos como sulfatos, carbonatos, etc., que pueden sufrir algunas transformaciones como fenómenos de óxido-reducción y otros (MARTÍN, 2006).

### **La turbiedad.**

Es como medida de las propiedades de transmisión de la luz de un agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz (METCALF & EDDY, 1995).

### ➤ **Químicas.**

#### **Potencial hidrógeno (pH).**

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El intervalo de concentraciones adecuado para la adecuada proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas (GARCÍA-RODRÍGUEZ, 2014).

#### **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).**

El parámetro de contaminación orgánica más ampliamente empleado, tanto a aguas residuales como a aguas superficiales, es la DBO a 5 días (DBO5). La determinación del mismo está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los

resultados de los ensayos de DBO se emplean para: 1) determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; 2) dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; 3) medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento, y 4) controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (GARCÍA-RODRÍGUEZ, 2014).

### **Demanda química de oxígeno (DQO).**

El ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse. El bicromato potásico proporciona excelentes resultados en este sentido. El ensayo debe hacerse a elevadas temperaturas. Para facilitar la oxidación de determinados tipos de compuestos orgánicos es preciso emplear un catalizador (sulfato de plata). Puesto que algunos compuestos orgánicos interfieren con el normal desarrollo del ensayo, deben tomarse medidas adecuadas para eliminarlos antes del ensayo (GARCÍA-RODRÍGUEZ, 2014).

### **Nitrógeno.**

Los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico. No obstante, el nitrógeno y el fósforo son, en la mayoría de los casos, los principales elementos nutritivos. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante procesos biológicos. Cuando el contenido de nitrógeno sea insuficiente, será preciso añadirlo para hacer tratable el agua residual (LOZANO, 2012).

El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato (GARCÍA-RODRÍGUEZ, 2014).

El nitrógeno amoniacal se encuentra en solución acuosa, bien en forma de ion amonio o como amoníaco, en función del pH de la solución. A niveles de pH superiores a 7, el equilibrio se desplaza hacia la izquierda, muestra en el ion amonio es predominante a valores de pH menores que 7.

El nitrógeno del nitrito, es relativamente inestable y fácilmente oxidable a la forma de nitrato. Es un indicador de la contaminación anterior al proceso de estabilización y raramente excede la cantidad de 1 mg/l en el agua residual, y 0,1 mg/l en el caso de aguas subterráneas y superficiales. Con pequeñas concentraciones, los nitritos tienen gran importancia en el estudio de aguas residuales y contaminación de aguas, dada su gran toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas. Se pueden oxidar aplicando cloro, lo cual aumenta la cantidad de cloro a dosificar y por lo tanto el coste de la desinfección.

El nitrógeno del nitrato es la forma más oxidada del nitrógeno que se puede encontrar en las aguas residuales. Cuando un efluente secundario deba ser recuperado para la recarga de agua subterránea, la concentración del nitrato es importante. En aguas potables no debe exceder de cantidades de 45 mg/l.

### **Fósforo.**

Es, junto con el nitrógeno, un nutriente esencial para el crecimiento de los microorganismos. No obstante, valores elevados pueden causar problemas de hipereutrofización en los cuerpos de agua lóticos (MARTÍN, 2006).

### **Gases.**

La componente gaseosa de las aguas residuales urbanas contiene diversos gases en diferente concentración, entre los que destacan

(MARTÍN, 2006):

### **Oxígeno disuelto.**

Es fundamental para la respiración de los organismos aerobios presentes en el agua residual. El control de este gas a lo largo del tiempo, suministra una serie de datos fundamentales para el conocimiento del estado del agua residual. La cantidad presente en el agua depende de muchos factores, principalmente relacionados con la temperatura y actividades químicas y biológicas, entre otros.

### **Ácido sulfhídrico.**

Es un gas que se forma en un medio anaerobio por la descomposición de ciertas sustancias orgánicas e inorgánicas que contienen azufre. Su presencia se manifiesta fundamentalmente por el olor repulsivo característico que produce. Anhídrido carbónico: se produce en las fermentaciones de los compuestos orgánicos de las aguas residuales.

### **Metano.**

Se forma en la descomposición anaerobia de la materia orgánica, apareciendo sobre todo en cierto tipo de estaciones depuradoras, donde se llevan a cabo procesos de estabilización de fangos vía anaerobia, ofreciendo algunas posibilidades de aprovechamiento como combustible.

### **Otros gases.**

Se trata principalmente de gases malolientes, como ácidos grasos volátiles, indol, escatol y otros derivados del nitrógeno.

### ➤ **Biológicas.**

Las características biológicas de las aguas residuales urbanas vienen dadas por una gran variedad de organismos vivos de alta capacidad metabólica, y gran potencial de descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. El componente orgánico de las aguas residuales es un medio de cultivo que permite el desarrollo de los

microorganismos que cierran los ciclos biogeoquímicos de elementos como el carbono, el nitrógeno, el fósforo o el azufre.

Los organismos que principalmente se encuentran en las aguas residuales urbanas son: algas, mohos, bacterias, virus, flagelados, ciliados, rotíferos, nemátodos, anélidos, larvas, etc. (MARTÍN, 2006).

Los contaminantes de las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Normalmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas servidas.

Es por esto que las aguas residuales dependiendo de la cantidad de estos componentes se clasifican en fuerte, media y débil. Debido a que la concentración como la composición va variando con el transcurso de tiempo, con los datos siguientes solo se pretende dar una orientación para la clasificación de las aguas servidas (DOMÍNGUEZ *et al.*, 2013).

### **1.2.3. Manejo de aguas residuales municipales**

Las EPS Saneamiento u otras entidades similares, captan el agua de cuerpos receptores como ríos, lagos, manantiales, pozos subterráneos, y les brindan un tratamiento con la finalidad de hacerlas aptas para consumo humano (CONAGUA, 2013).

El agua para consumo humano es empleada para el desarrollo de actividades domésticas, comerciales e industriales, que terminan generando aguas residuales municipales. Estas últimas son vertidas a la red de alcantarillado de las EPS Saneamiento u otras similares. Las aguas residuales que no son descargadas a una red de alcantarillado se vierten sin tratamiento a los cuerpos de agua naturales, terrenos baldíos o son utilizadas para el riego de cultivos (CONAGUA, 2011).

Parte de las aguas descargadas a la red de alcantarillado es derivada a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para su tratamiento, empleando diversas tecnologías como: lagunas facultativas, lagunas

aireadas, lodos activados o filtros percoladores, entre otros. Posteriormente, estas aguas tratadas son empleadas para el riego de cultivos, áreas verdes, piscicultura o vertidas a cuerpos de agua natural (CONAGUA, 2011).

### **Mataderos urbanos**

Son los rastros que se encuentran en el perímetro urbano y cumplen determinadas normas o especificaciones. Este servicio lo ofrece la municipalidad a la población y consiste en el destace o sacrificio de ganado mayor o menor. El producto se destina al consumo humano y debe cumplir determinadas normas sanitarias que se especifican en el capítulo correspondiente (GARCÍA, 2005).

### **Mataderos rurales**

No es muy común que la municipalidad tenga suficiente capacidad para sostener una red de mataderos rurales, pero pueden existir mataderos rurales privados o administrados en concesión por acuerdos con la Alcaldía. Sin embargo, en todo caso, tales instalaciones no deben diferenciarse en nada de un rastro urbano y están obligados a cumplir con los mismos requisitos que se establecen para los rastros municipales urbanos, especialmente las exigencias sanitarias (GARCÍA, 2005).

### **Intendencia**

La Intendencia del rastro o matadero municipal es la gerencia o administración del servicio, la cual se encarga de velar por el buen funcionamiento de todo el servicio, las instalaciones, los horarios, el transporte, la limpieza, las labores del personal, la higiene, el cumplimiento de las normas legales relacionadas con el servicio, el aseo de las instalaciones, entre otros menesteres (GARCÍA, 2005).

### **Corrales**

Es el sitio del rastro destinado a recibir la llegada del ganado a pie o en camión. Sirve para pesarlo, tener encerrado el ganado que se destina para el sacrificio, controlar la inscripción, la observación, la inspección sanitaria, inspección antemortem y asearlo antes del destace.

La inspección sanitaria la realizan inspectores sanitarios capacitados y autorizados, y debe hacerse en los corrales, por lo menos unas 12 horas antes del sacrificio. Si existen situaciones irregulares o anormales, los inspectores están autorizados para hacer decomisos inmediatos (GARCÍA, 2005).

### **Salas de sacrificio**

Esta área del rastro o matadero sirve para insensibilizar al ganado, degüello, corte de miembros del animal, descuere o desprendimiento de la piel, evisceración, izamiento, sangría, pesaje, inspección sanitaria, división de la res sacrificada en canal y limpieza de vísceras blancas. Esta sala debe tener un régimen de limpieza permanente debido a que hay una constante exposición de sangre y vísceras en ella (GARCÍA, 2005)

### **Consumo de carne de res**

Para efectos de cálculos generales de consumo de reses en una población, se puede asumir que un consumo semanal bajo por persona, corresponde a unos 290 gramos. Un consumo promedio puede ser de unos 480 gramos por persona a la semana. Un consumo semanal alto se puede considerar alrededor de unos 670 gramos o más, por persona.

Estas cifras son teóricas y su utilización depende de varios factores, tales como las costumbres, la capacidad adquisitiva familiar, la región geográfica de que se trate, ya que el volumen y peso de la carne de consumo varían dependiendo de qué tipo de carne se analice (carne de res, de tortuga, de pescado, etc.) (GARCÍA, 2005).

#### **1.2.4. Microorganismos**

Los microorganismos constituyen un importante grupo de organismos primitivos y simples, la mayoría unicelulares microscópicos y otros microscópicos filamentosos o cenocíticos, capaces de realizar innumerables procesos biológicos, que han surgido muy temprano en la evolución, pero que se han adaptado a las condiciones ambientales actuales.

Este grupo está integrado por las bacterias, algas, hongos, protozoos. Estos

organismos cumplen con los 5 principios característicos de las células vivas.

**Auto alimentación o nutrición:** Las células toman las sustancias químicas del ambiente, las transforman, liberan energía o productos de desecho.

**Auto duplicación o desarrollo:** Las células son capaces de dirigir sus propias síntesis. Al crecer, se dividen dando dos células idénticas a la original.

**Diferenciación:** La mayor parte de las células pueden presentar cambios en su forma o función. La diferenciación suele ser parte del ciclo de vida celular: se forman estructuras especializadas con los 5 principios característicos de las células vivas.

**Señalamiento químico:** Interactúan o se comunican con otras células, por señales químicas.

**Evolución:** Es la introducción de cambios hereditarios como resultado de la selección natural. Consecuencia de estos cambios (que ocurren a velocidad baja pero regular en todas las células) es la selección de los organismos mejor capacitados para vivir en determinado ambiente (FRIONI, 1999).

### **Consorcios microbianos**

Un consorcio microbiano es un conjunto de diversas especies de microorganismos que interactúan para su mutuo beneficio, dentro de una comunidad. Los consorcios microbianos degradan desechos orgánicos complejos e incluso en forma mucho más eficiente que las cepas individuales, en las que se aprovechan sus diferentes habilidades metabólicas.

Existen casos de mezclas de cepas microbianas en las cuales las interacciones presentadas no conservan una estabilidad como comunidad al someterse a condiciones ambientales adversas.

En un mismo consorcio microbiano es posible hallar diversas funciones y habilidades metabólicas, debido a la variedad de microorganismos allí presentes, lo cual permite la realización de un trabajo conjunto en la

degradación de diferentes compuestos.

Los consorcios microbianos tienen la capacidad de degradar múltiples compuestos, además presentan mayor resistencia ante factores ambientales adversos y cuentan con mejores habilidades competitivas que los microorganismos individuales.

Esto se debe a que la cooperación en las poblaciones microbianas funciona como un mecanismo protector frente a factores ambientales hostiles tal como ocurre en las poblaciones formadoras de biopelículas, las cuales presentan mayor resistencia a los agentes antimicrobianos que las suspensiones celulares de estos mismos organismos.

En términos generales, se conoce que una elevada densidad de población probablemente actúa como escudo protector para algunos miembros, permitiendo el crecimiento de la población (GARCÍA-RODRÍGUEZ, 2014).

#### **1.2.5. Factores que afectan al crecimiento de los microorganismos**

Todos los microorganismos, igual que todos los seres vivos, necesitan un conjunto de factores que les permita crecer/vivir en un determinado medio ambiente. Estos factores son, obviamente, diferentes para cada microorganismo.

**Temperatura:** La temperatura es uno de los parámetros ambientales más importantes que condicionan el crecimiento y la supervivencia de los microorganismos. La temperatura afecta a la velocidad de crecimiento (por lo tanto, al tiempo de generación). Podemos distinguir tres puntos característicos llamados temperaturas cardinales:

- Temperatura mínima: por debajo de ella no hay crecimiento.
- Temperatura máxima: por encima de ella tampoco existe crecimiento.
- Temperatura óptima: permite la máxima tasa de crecimiento.

El margen entre la temperatura mínima y la máxima se suele llamar “margen de crecimiento”, y en muchas bacterias suele comprender unos 40

grados. Por encima de la temperatura mínima la tasa de crecimiento va aumentando proporcionalmente hasta alcanzar la temperatura óptima, debido a que las reacciones metabólicas catalizadas por enzimas se van aproximando a su óptimo.

**Efecto pH:** La mayoría de las bacterias pueden crecer dentro de un margen de pH de su medio, manteniendo al mismo tiempo su pH interno óptimo prácticamente constante. Por ejemplo, *E. coli* puede crecer entre pH 6 y pH 8, pero su pH interno es siempre 7.6 o cercano a este valor. Según el margen normal de pH a los que crecen las bacterias, estas se pueden clasificar en:

- **Neutrófilas:** Si crecen de modo óptimo en torno a la neutralidad (pH entre 5,5 y 8).
- **Acidófilas:** Si crecen de modo óptimo entre pH 0 y 5.
- **Alcalófilas:** Si crecen de modo óptimo entre pH 8,5 y 11,5.

La mayor parte de las bacterias son neutrófilas. Muchas bacterias neutrófilas modifican el pH del medio, y resisten entornos relativamente ácidos o alcalinos. Por ejemplo, algunas bacterias fermentativas excretan ácidos, mientras otras alcalinizan el medio, p. Ej., produciendo amonio a partir de desaminación de aminoácidos. Aunque los microorganismos pueden crecer en un margen más o menos amplio de pH (alrededor de un óptimo), los cambios bruscos pueden ser lesivos (afectando a la membrana y al transporte de solutos, e inhibiendo enzimas). Si el pH citoplásmico cae rápidamente hasta 5 o menos, la bacteria puede morir.

**Otros factores:** Deseccación, radiaciones, ondas sonoras, presión, desinfectantes y antisépticos (CAIMANQUE & ESCUDERO, 2015).

#### 1.2.6. Biomasa

En general cualquier substrato puede ser utilizado como biomasa en cuanto contengan carbohidratos, proteínas, grasas, celulosa y hemicelulosa como componentes principales. Para seleccionar la biomasa se deben tener en cuenta los siguientes puntos.

- El contenido de sustancias orgánicas debe ser el apropiado para el tipo de fermentación elegido.
- El valor nutricional de la sustancia orgánica se relaciona directamente con el potencial de formación de biogás, por ende, se busca que sea lo más alto posible.
- El sustrato debe estar libre de agentes patógenos que puedan inhibir el proceso de fermentación.
- El contenido de sustancias perjudiciales o tóxicas debe ser controlado para permitir una tranquila evolución de la fermentación.
- Es importante que el resultado final del sustrato (después de haber aprovechado la fermentación para generar biogás) sea un desecho utilizable como por ejemplo fertilizante (PÉREZ *et al.*, 2010).

Para la obtención de biomasa a utilizarse en la producción de energía cubre un amplio rango de materiales y fuentes:

- Los residuos de la industria forestal
- Desechos agrícolas
- Los residuos de la acuicultura
- El estiércol de animales
- Desechos industriales
- Los residuos de los desechos urbanos
- Se usan generalmente, para procesos modernos de conversión que involucran la generación de energía a gran escala, enfocados hacia la sustitución de los combustibles fósiles.
- Los residuos agrícolas, como la leña y el carbón vegetal, han sido usados en procesos tradicionales en los países en vías de desarrollo como fuentes de calor y en usos primarios en pequeña escala, por ejemplo, para la cocción de alimentos o en pequeñas actividades productivas como panaderías, secado de granos, etc.

Los residuos de la industria forestal, son una importante fuente de biomasa

que actualmente es poco explotada. Se considera que de cada árbol extraído para la producción maderera, sólo se aprovecha comercialmente un porcentaje cercano al 20%. Se estima que un 40% es dejado en él, en las ramas y raíces, a pesar de que el potencial energético es mucho y otro 40% en el proceso de aserrío, en forma de astillas, corteza y aserrín.

La mayoría de los desechos de aserrío son aprovechados para generación de calor, en sistemas de combustión directa, y en algunas industrias se utilizan para la generación de vapor. Los desechos de campo, en algunos casos, son usados como fuente de energía por comunidades aledañas, pero la mayor parte no es aprovechada por el alto costo del transporte.

### **Desechos agrícolas**

La agricultura genera cantidades considerables de desechos: se estima que, en cuanto a desechos de campo, el porcentaje es más del 60%, y en desechos de proceso, entre 20% y 40%.

Se incluye en este grupo los residuos de las actividades del llamado sector primario de la economía (agricultura, ganadería, pesca, actividad forestal y cinegética) y los producidos por industrias alimenticias, desde los mataderos y las empresas lácteas hasta las harineras y el tabaco, industrias vinícolas, etc.

Son todos aquellos residuos que se generan a partir de cultivos de leña o de hierba y los producidos en el desarrollo de actividades propias de estos sectores. Estos desechos se obtienen de los restos de cultivos o de limpiezas que se hacen del campo para evitar las plagas o los incendios y pueden aparecer en estado sólido, como la leña, o en estado líquido, como los purines u otros elementos residuales obtenidos en actividades agropecuarias. Los dos grupos de residuos se generan por necesidades forestales, no energéticas, y son materiales que no tienen calidad suficiente para otras aplicaciones que no sean las energéticas.

Al igual que en la industria forestal, muchos residuos de la agroindustria son dejados en el campo. Aunque es necesario reciclar un porcentaje de la biomasa para proteger el suelo de la erosión y mantener el nivel de nutrientes

orgánicos, una cantidad importante puede ser recolectada para la producción de energía. Ejemplos comunes

De este tipo de residuos son la cascarilla en cultivos transitorios como el arroz; el bagazo en cultivos permanentes como la caña de azúcar.

Existen plantaciones energéticas en el sector agrícola como son las plantaciones de árboles o plantas cultivadas que al ser procesadas cumplen con el fin específico de producir energía. Para ello se seleccionan árboles o plantas de crecimiento rápido y bajo mantenimiento, las cuales usualmente se cultivan en tierras de bajo valor productivo. Su período de cosecha varía entre los tres y los diez años. También se utilizan arbustos que pueden ser podados varias veces durante su crecimiento, para extender la capacidad de cosecha de la plantación. (PÉREZ *et al.*, 2010). Existen también muchos cultivos agrícolas que pueden ser utilizados para la generación de energía como caña de azúcar, maíz, sorgo y trigo. Igualmente, se pueden usar plantas oleaginosas como palma africana, girasol o soya.

#### **Los residuos de la acuicultura.**

Algunas plantas acuáticas como Jacinto de agua o las de algas, son utilizadas para producir combustibles líquidos como el etanol y el biodiesel.

#### **El estiércol de animales.**

Por otro lado, las granjas producen un elevado volumen de residuos húmedos en forma de estiércol de animales. La forma común de tratar estos residuos es esparciéndolos en los campos de cultivo, con el doble interés de disponer de ellos y obtener beneficio de su valor nutritivo. Sin embargo, cuando existen cantidades elevadas de estiércol esta práctica puede provocar una sobre fertilización de los suelos y la contaminación de las cuencas hidrográficas (ARCE, 2011).

#### **Desechos industriales**

La industria alimenticia genera una gran cantidad de residuos y subproductos, que pueden ser usados como fuentes de energía; los provenientes de todo tipo de carnes (avícola, vacuna, porcina) y vegetales

(cáscaras, pulpa) cuyo tratamiento como desechos representan un costo considerable para la industria. Estos residuos son sólidos y líquidos con un alto contenido de azúcares y carbohidratos, los cuales pueden ser convertidos en combustibles gaseosos. Otras industrias también generan grandes cantidades de residuos que pueden ser convertidas para su aprovechamiento energético, entre estas tenemos a la industria del papel, del plástico, las destilerías, etc. (ARCE, 2011).

### **Desechos urbanos**

Los centros urbanos generan una gran cantidad de biomasa en muchas formas, por ejemplo: residuos alimenticios, papel, cartón, madera y aguas negras. La carencia de sistemas adecuados para el procesamiento de estos residuos genera grandes problemas de contaminación de suelos y cuencas, sobre todo por la inadecuada disposición de la basura y por sistemas de recolección y tratamiento con costos elevados de operación.

Por otro lado, la basura orgánica en descomposición produce compuestos volátiles (metano, dióxido de carbono, entre otros) que contribuyen a aumentar el efecto invernadero. Estos compuestos tienen considerable valor energético que puede ser utilizado para la generación de energía limpia (ARCE, 2011).

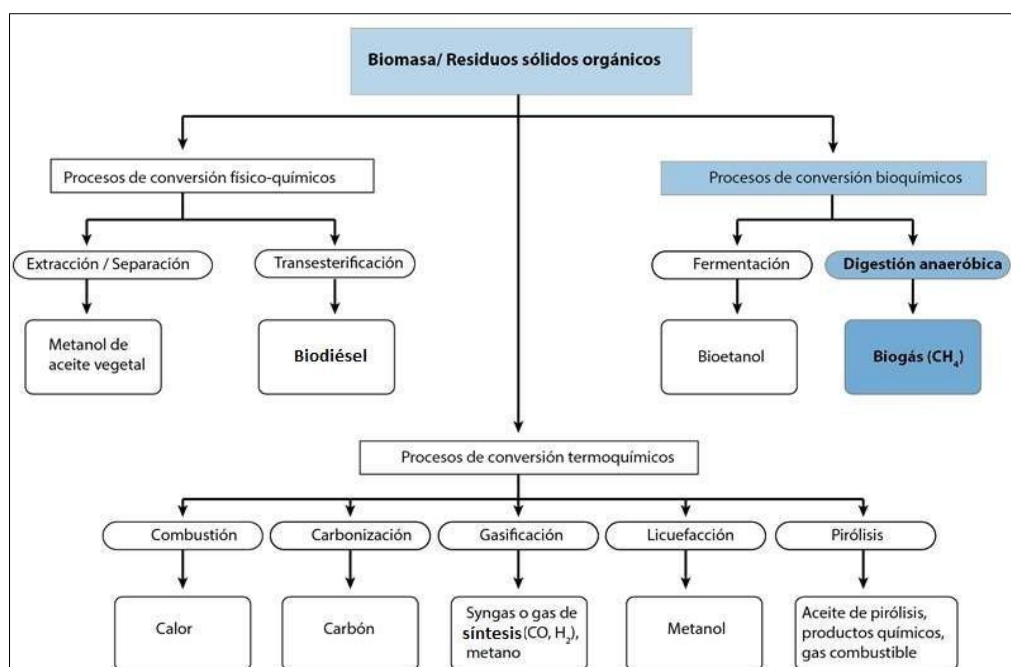
### **Digestión anaeróbica**

Toda la biomasa aprovechable en procesos de digestión anaeróbica para la producción de biogás, está conformada por dos componentes principales: agua y materia sólida (materia seca (MS) o sólidos totales (ST)). Los sólidos totales son los residuos materiales que quedan en un recipiente después de la evaporación de una muestra de materia prima y su posterior secado en un horno a una temperatura definida (ya sea 105 °C o 180 °C).

Los sólidos totales se dividen en sólidos suspendidos totales (aquellos que son retenidos por un filtro de poro nominal de 2 µm o menor) y en sólidos disueltos totales (los que pasan a través del filtro). La separación entre los sólidos en suspensión y los sólidos disueltos depende de dos factores principales: las características del filtro (el tipo de soporte de filtro, el

tamaño de poro, la porosidad, área y el grosor del filtro) y del material depositado.

Las tecnologías existentes para la generación de energía a partir de la biomasa y desechos orgánicos pueden ser divididas en procesos de conversión termoquímicos, bioquímicos y físico-químicos. La digestión anaeróbica se ubica dentro de los procesos de conversión bioquímicos, los cuales se basan en la acción metabólica de microorganismos. En la siguiente figura se muestra los procesos termoquímicos de conversión de la biomasa.



**Figura 1.** Tecnologías de conversión de la biomasa y residuos

### 1.2.7. Biodigestores

Es un tipo de biorreactor en condiciones anaerobias diseñado para propiciar un ambiente adecuado a las bacterias que degradan la materia orgánica convirtiéndolo finalmente en biogás y dejando efluentes utilizados como fertilizantes agrícolas (ARCE, 2011).

Es un sistema mediante el cual se genera un ambiente adecuado para que la materia orgánica se descomponga con ausencia de oxígeno. A este fenómeno se le llama «digestión anaeróbica». Este sistema funciona de una

manera muy similar al estómago de una persona o un animal, ya que dentro del biodigestor encontramos que viven unas bacterias que descomponen el estiércol y otros residuos orgánicos, que se convierten en biogás y biofertilizante (ARCE, 2011).

Es un tanque cerrado de cualquier forma, tamaño y material; en el cual se almacena basura orgánica mezclada con agua que al descomponerse en ausencia de aire genera biogás. Definido por el diseño de planta en función de las variables del proceso, ambientales y de utilización del sistema (CORONA ZUÑIGA, 2007).

Al especificar que puede tomar cualquier forma se está indicando que se utilizan tanques cilíndricos, rectangulares, esféricos o semiesféricos, dependiendo de las preferencias del usuario y de las facilidades que tengan para su construcción. Sin embargo, desde el punto de vista físico y del proceso no se recomienda emplear tanques rectangulares: requieren mayor cantidad de materiales de construcción y crean dentro de la masa en digestión zonas de diferentes composición y temperatura que impiden obtener mayor provecho del sistema (CORONA ZUÑIGA, 2007).

Un digestor de desechos orgánicos o biodigestores, en su forma más simple, un contenedor cerrado, hermético e impermeable (llamado reactor), dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar (excrementos de animales y humanos, desechos vegetales, etcétera) en determinada dilución de agua para que se descomponga, produciendo gas metano y fertilizantes orgánicos ricos en nitrógeno, fósforo y potasio.

Este sistema también puede incluir una cámara de carga y nivelación del agua residual antes del reactor, un dispositivo para captar y almacenar el biogás y cámaras de presión hidrostática y pos tratamiento (filtro y piedras, de algas, secado, entre otros) a la salida del reactor. Hay muchos tipos de plantas de biogás, pero los más comunes son el dosel flotante y el domo fijo, los cuales serán descritos a continuación. La baja aceptación de muchos de estos biodigestores ha sido principalmente debida a los costos altos, la dificultad de instalación y problemas en la consecución de las partes y repuestos (PÉREZ *et al.*, 2010).

### 1.2.8. Características del digestor

Para que un digestor de residuos orgánicos opere en forma correcta, deberá reunir las siguientes características:

- Ser hermético con el fin de evitar la entrada de aire, el que interfiere con la digestión anaeróbica y a la vez, impedir las fugas del biogás producido.
- Estar térmicamente aislado para evitar cambios bruscos de temperatura, lo que usualmente se consigue construyéndolos enterrados.
- Aun no siendo en recipiente de alta presión, el contenedor primario de gas deberá contar con una válvula de seguridad
- Contar con medios para efectuar la carga y descarga de sistema.

### 1.2.9. Tipos de biodigestores

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos:

Existe una gran variedad de biodigestores, por lo que se puede hacer una clasificación de acuerdo a diferentes criterios como: modo de operación, llenado y vaciado, volumen, número de tanques de proceso, orientación de los mismos o los sistemas de movilización de biomasa (JUNTA DE ANDALUCÍA, 2011).

De acuerdo con KAISER *et al.*, (2002), el primer biodigestor lo implementó Imhoff en Alemania en 1920, y a partir de ese momento se han probado diversas configuraciones y construcciones, buscando una mayor eficiencia en la producción de biogás y menor costo de inversión. Pueden existir biodigestores con diferente intensidad de mezclado (mezclado continuo, parcial o nulo), biodigestores con retención de biomasa o recuperación del efluente, de una o dos etapas, etc.

Sin embargo, se puede hacer una división en dos grandes grupos, de acuerdo a su tamaño y nivel de sofisticación. Existen plantas de biogás a pequeña

escala, esto es a nivel de hogares o pequeñas comunidades agrícolas, y plantas de biogás a escala industrial. En el segundo grupo existen digestores que se alimentan en modo continuo por medio de bombas o en modo batch (discontinuo); mientras que, en el primero, los biodigestores funcionan, generalmente, en régimen semicontinuo (alimentados en forma manual y por gravedad solo una vez al día), o pueden funcionar con una combinación del régimen semicontinuo o discontinuo. En este último modo de operación, después del llenado inicial del biodigestor, se recoge el biogás producido después de un determinado tiempo y luego de transcurrido éste se vacía completamente el digestor para repetir el proceso.

**Domésticos:** Son biodigestores relativamente pequeños y de “baja velocidad”, por lo general utilizados en zonas rurales y son típicamente diseñados para manejar estiércol animal (ARRIETA, 2016). Pero también pueden usarse desechos humanos, hojas, pastos y residuos agrícolas. Son especialmente adecuados para su uso en el entorno rural porque requieren pocos conocimientos técnicos en su operación y mantenimiento. No hay un suministro continuo de contenido del digestor, sino que se hace por gravedad y normalmente de manera intermitente (una vez al día), por lo que la digestión avanza lentamente con tiempos de retención que van de 40 a 45 días.

**Continuos:** Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales (VARNERO *et al.*, 2011).

**Semi continuos:** Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de manual de biogás y materias primas

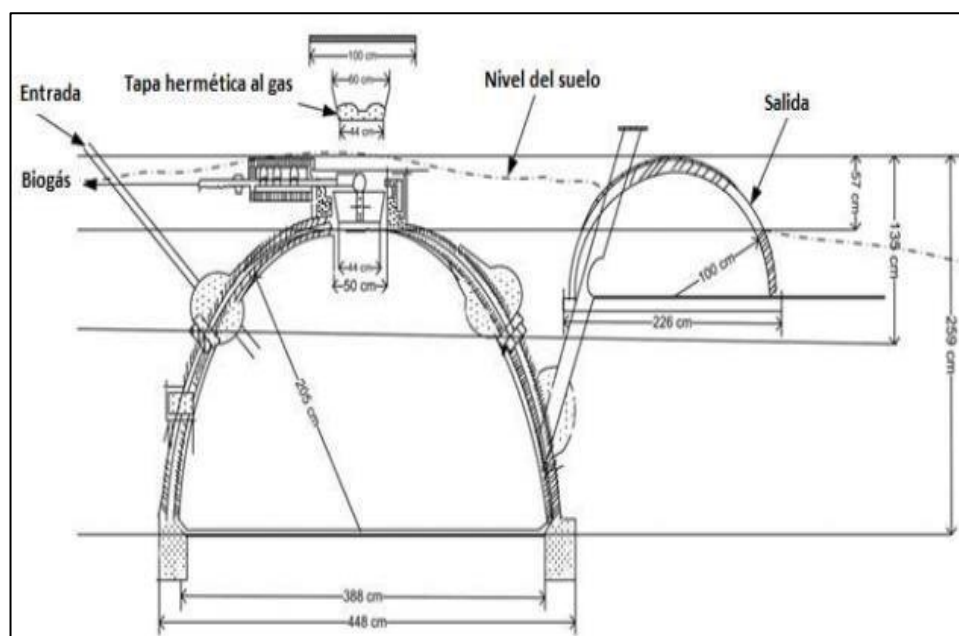
(afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor indiano y chino (VARNERO *et al.*, 2011).

**Biodigestor del domo flotante (India)** Este biodigestor consiste en un tambor, originalmente hecho de acero, pero después reemplazado por fibra de vidrio reforzado en plástico (FRP) para superar el problema de corrosión. Normalmente se construye la pared del reactor y fondo de ladrillo, aunque a veces se usa refuerzo en hormigón. Se entrapa el gas producido bajo una tapa flotante que sube y se cae en una guía central. La presión del gas disponible normalmente varía entre 4 a 8 cm. de columna de agua. El reactor se alimenta semi-continuamente a través de una tubería de entrada (VARNERO *et al.*, 2011).

**Biodigestor de domo fijo (China)** Consiste en una firme cámara de gas construida de ladrillos, piedra u hormigón. La tapa y la base son semiesferas y son unidos por lados rectos. La superficie interior es sellada por muchas capas delgadas para hacerlo firme. Hay un tapón de inspección en la cima del digestor que facilita el limpiado. Se guarda el gas producido durante la digestión bajo el domo con presiones entre 1[m] y 1.5 [m] de columna de agua. Esto crea fuerzas estructurales bastante altas y es la razón para la forma semiesférica. Se necesitan materiales de alta calidad y recursos humanos costosos para construir este tipo de biodigestor. Más de cinco millones de biodigestores se han construido en China y ha estado funcionando correctamente, pero, la tecnología no ha sido popular fuera de China (VARNERO *et al.*, 2011).

➤ **Biodigestor CAMARTEC:** Este tipo de biodigestor se considera como una evolución del modelo chino. Fue desarrollado en Tanzania por el *Center for Agricultural Mechanization and Rural Technology* (CAMARTEC) en colaboración con la Cooperación Técnica Alemana (GTZ) – GmbH. Éstos han desarrollado y probado plantas de cúpula

fija desde 1983, con la finalidad de reducir costos del digester modelo chino, simplificar la construcción y reducir la cantidad de materiales. La planta estándar tiene forma semiesférica con un fondoplano y una abertura superior. La parte de la entrada es muy similar al modelo chino conectándose el tubo de entrada directamente al tanque de alimentación donde se mezcla el estiércol; el tubo de salida conecta la cámara principal (de mayor tamaño) a una cámara de expansión semiesférica o de compensación, sus principales ventajas son que su construcción demanda de materiales accesibles en mercados locales aislados y con una menor inversión en éstos, debido al rediseño basado en una mezcla pobre de hormigón. En contraparte, su principal desventaja es la complejidad de la instalación y la necesidad de maestros de obra especializados (SNV, HIVOS, Soluciones Prácticas (a), 2012). Los tamaños usuales a nivel familiar son de 4, 6, 9 y 12 m<sup>3</sup> ; con un costo aproximado de S/. 2600 para el de 6m<sup>3</sup> (SNV, HIVOS, Soluciones Prácticas (a), 2012). Sin embargo, también existen plantas de volúmenes de 16, 30 y 50 m<sup>3</sup>.



**Figura 2.** Planta de biogás comercializada por CAMARTEC, Tanzania

La figura 2 muestra la estructura de una planta de biogás mejorada al diseño chinoconvencional.

Los digestores utilizados en India, China y otros países en vías de desarrollo, por lo general para obtener biogás y fertilizante orgánico (del efluente) a partir del estiércol animal, tienen las siguientes partes comunes (TAUSEEF *et al.*, 2013):

- Tanque de mezclado: el material de alimentación se mezcla con suficiente cantidad de agua para formar una mezcla homogénea.
- Tubería de entrada: el sustrato se descarga dentro del digestor a través del tubo de entrada.
- Digestor: el material se fermenta dentro del digestor y el biogás se produce por medio de la acción bacteriana.
- Gasómetro o domo de almacenamiento de biogás: el biogás se colecta en el gasómetro, el cual almacena el biogás hasta su consumo.
- Tubería de salida: El material digerido se descarga al depósito o tanque de salida por medio de la tubería de salida o de una abertura en el digestor.
- Tubería de gas: lleva el biogás al punto de utilización, como una estufa o lámpara. De acuerdo con TAUSEEF *et al.* (2013), las limitaciones básicas de los digestores domésticos o de baja velocidad (o tasa), y que caracterizan la lentitud de estas plantas de biogás, son las siguientes:
  - No existe ninguna disposición para la agitación o mezcla del contenido del digestor.
  - Debido a que no cuentan con los denominados sistemas de retención de biomasa que permita retener a los microorganismos por más tiempo, cuando sale el contenido del digestor por la tubería de salida; parte de la población microbiana atrapada en la suspensión también es retirada. Por consiguiente, la salida de la suspensión causa un “lavado” o wash out de parte de las bacterias activas, lo que disminuye el rendimiento del digestor.

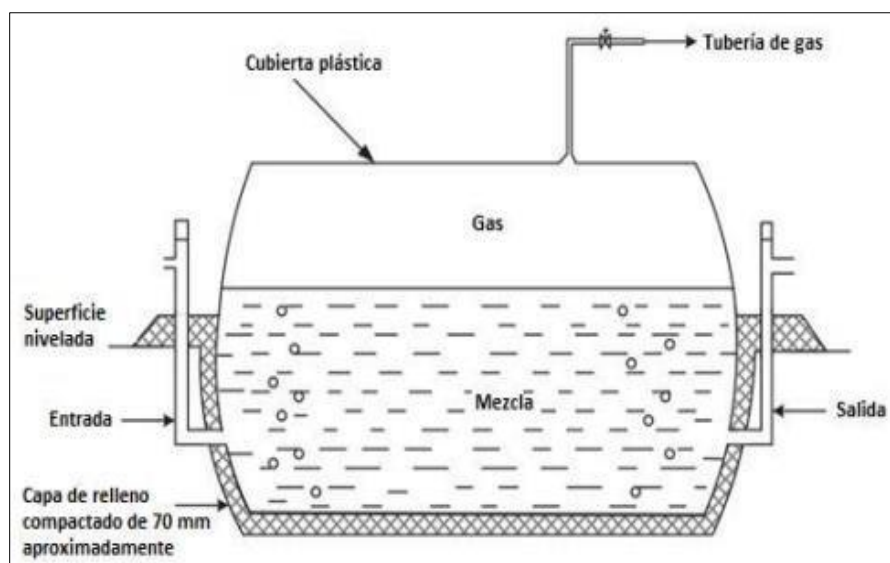
- **Biodigestor taiwanés (digestor de bolsa, balón o tubular).** Fue introducido en Taiwán en 1960. Está hecho de plástico inflable y es especialmente popular en China. Estos digestores vienen en volúmenes desde 2.2 a 13.5 m<sup>3</sup>, siendo los de 6m<sup>3</sup> los utilizados comúnmente. De acuerdo con MAZUMDAR *et al.*, (1982) este modelo de digestor de bajo costo fue desarrollado por Chung Po de Taiwán utilizando goma de neopreno. Éste diseño combina la cámara de digestión, el tanque de sedimentación y el gasómetro en una sola unidad. El sustrato no ocupa todo el volumen del digestor, ya que debe quedar un espacio para el gas. Así, a medida que la bolsa se hincha, el gasómetro se va formando y llenando

El funcionamiento de este digestor se basa en la tecnología de digestión anaeróbica plug-flow o de flujo pistón, por la forma en la que se desplaza la carga en su interior. Este tipo de flujo se explica posteriormente con mayor detalle, cuando se describa el biodigestor tipo pistón a escala industrial.

Dicho modelo, según MAZUMDAR *et al.*, (1982) consistía básicamente en una bolsa de goma cilíndrica de aproximadamente 3,3 m de largo y 1,5 m de diámetro. Toda el área necesaria para el digestor, junto con las tuberías de entrada y salida, debe ser de al menos 4,5 m de longitud y 1,8 m de ancho. Esta bolsa de biogás debe ser apoyada hasta el nivel de mezcla que contiene en su interior. Esto se puede hacer mediante su colocación en una zanja cavada en el suelo hasta dicho nivel y las salidas a nivel del suelo. Posteriormente y buscando superar las desventajas de los digestores de tipo hindú y chino, como su costo elevado, complejidad y la aparición de grietas, Thomas Preston junto a Lylian, Rodríguez desarrollaron también en Taiwán un modelo de biodigestor tubular de polietileno.

Este modelo, también conocido como biodigestor tubular de bajo costo, fue probado por primera vez en dicho país en el año 1985 en el International Livestock Research Institute. En este modelo se sustituye la cámara de concreto (modelo chino) o de acero (modelo hindú) por una manga de plástico, reduciéndose así la inversión en materiales y

mano de obra. Al igual que el modelo desarrollado por Chung Po y a diferencia de los modelos chino e hindú, éste no va enterrado, sino que va contenido en una zanja.



**Figura 3.** Diseño de biodigestor taiwanés

De acuerdo con Raúl Botero, profesor de la Universidad EARTH de Costa Rica e impulsor de este modelo de digestor, el modelo taiwanés comparado con otros digestores, es el de menor costo, mayor facilidad de instalación, manejo, mantenimiento y reparación, y posee la más alta eficiencia. Por ejemplo, un biodigestor de polietileno de 16 m<sup>3</sup> de volumen total (12 m<sup>3</sup> de fase líquida y 4 m<sup>3</sup> de capacidad de almacenamiento de biogás) tiene un costo de alrededor US\$ 200 (recuperable en unos seis meses) y una vida útil de 10 años. Debido a la poca durabilidad del polietileno, actualmente se están fabricando estos biodigestores con geomembrana de PVC, pero más costoso.

Este modelo de biodigestor se alimenta diariamente (flujo semi-continuo) con la mezcla adecuada de agua y material orgánico. Consiste en un fermentador y cámara de almacenamiento de biogás en forma tubular hecha de polietileno en capa doble o de geomembrana de PVC, el cual es instalado en forma horizontal en una zanja excavada en el suelo que funciona como aislante térmico, con un tubo de admisión del afluente y un tubo de salida del efluente, y un tubo en la parte superior central para la salida del biogás

El proceso de digestión anaeróbica en este tipo de biodigestores se opera en una misma cámara bajo un mismo proceso. Sin embargo, la digestión anaeróbica involucra no una sino tres fases principales (hidrólisis, formación de ácidos y formación de metano), de las cuales los grupos de bacterias implicadas en las dos últimas fases tienen diferentes necesidades fisiológicas, nutricionales, de temperatura y pH, etc.

Cinéticamente también las tres fases son diferentes. Por ejemplo, en caso de sustratos difíciles de hidrolizar como la fitomasa (materia viva vegetal), la primera fase suele ser la más lenta, mientras que en el caso de sustratos que contienen principalmente azúcares y ácidos grasos volátiles como las aguas residuales, la última fase puede ser la limitante. Mientras que las bacterias metano génicas son muy sensibles a las variaciones de pH, temperatura y velocidad de carga orgánica (COV), requiriendo un control rígido del proceso; las bacterias involucradas en las otras dos fases (anaeróbicas facultativas) son más resistentes.

**Discontinuos o régimen estacionario:** Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo.

La composición del biol depende de varios factores: el tipo de estiércol (animal, humano u otro tipo de materia), el agua, las razas y las edades de los animales, el tipo de pienso y la programación de la alimentación. El biol se puede utilizar para fertilizar directamente los cultivos o añadirse al compostaje de otra materia orgánica. El biol es una fuente ya digerida de residuos animales a la cual al añadirle orina (animal y/o humana), se añade más nitrógeno, acelerando el proceso de compostaje, mejorando la relación carbón/nitrógeno (C/N) del mismo. Pero esto también depende del tipo de digestor. Con la correcta cantidad de materiales, la composición del biol puede consistir de un 93% de agua

y un 7% de materia seca, de la cual el 4,5% es materia orgánica y el 2,5% es materia inorgánica. El biol también contiene nitrógeno, fósforo y potasio y también zinc, hierro, manganeso y cobre, el último de los cuales se ha convertido en un factor limitante para muchos suelos (WARNARS & OPPENOORTH, 2014).

#### **1.2.10. Ventajas del uso del biol.**

Las plantas para su crecimiento necesitan ciertas condiciones tanto climáticas como edáficas, estas últimas son proporcionadas por las características propias del suelo, dentro de las cuales se destaca, biológicas, físicas y químicas. Siendo de las químicas principalmente de las que depende la nutrición mineral incluyendo el suministro, la absorción y el uso de los nutrientes esenciales para el crecimiento y el rendimiento de las plantas de cultivo. El uso biol de alta calidad contribuye al suelo y a los cultivos, con sus nutrientes y fertilidad. El biol es un tipo de compostaje más fácilmente disponible que el compostaje tradicional. Otra opción atractiva es la de mezclar el biol con compostaje de desechos vegetales para enriquecerlo (una parte de biol por tres partes de compostaje). El biol contiene nutrientes disponibles inmediatamente para las plantas y contiene cantidades más altas de nutrientes y micronutrientes que el estiércol de granja y el compostaje de estiércol por los que sus ventajas son mayores (WARNARS & OPPENOORTH, 2014).

Según en INIA, 2008 las ventajas del biol son:

- Insumos de bajo costo
- Puede variar las proporciones de los insumos
- Versatilidad en la manera de elaboración
- Proporciona vigor y resistencia a las plantas

El uso del biol permite un mejor intercambio catiónico en el suelo. Con ello se amplía la disponibilidad de nutrientes del suelo. También ayuda a mantener la humedad del suelo y a la creación de un microclima adecuado para las plantas.

### 1.2.11. Desventajas del uso biol.

Según el INIA, 2008, las desventajas son:

- Periodos de tiempo relativamente largos para su elaboración.
- En grandes extensiones grandes requiere mochila para aplicar.
- La acidificación y eutrofización del suelo.
- Además, no todos los patógenos presentes en el estiércol o materia prima utilizadason eliminados de forma total durante el proceso digestivo y por tanto, pueden causar enfermedades.
- Sólo se puede usar entre 3 a 6 meses de su cosecha, después disminuye sus propiedades.
- El mal manejo durante su aplicación puede quemar las plantas.

### 1.2.12. Como utilizar el biol (Aplicación)

Para poder utilizar el biol se procede de la siguiente forma (ÁLVAREZ, 2010):

- Sacar el biol en baldes en el momento necesario.
- Antes de aplicar diluir en agua, nunca aplicar de manera concentrada.
- La parte sólida que resulta del colado del biol(biosol) se aplica también como abono alrededor de la planta de manera directa.

El biol se puede aplicar: como fertilizante foliar, pulverizado sobre los cultivos; de formalíquida (diluido) en las raíces o; de forma seca o como compostaje (combinado con técnicas de riego para que los cultivos tengan suficiente agua). Con respecto a la labranza, es importante notar que la incorporación de biol porcino aumenta el valor de N y favoreceun más alto valor fertilizante de N/P (WARNARS & OPPENOORTH, 2014).

#### ➤ **Formas de aplicación.**

El biol se aplica preferentemente a las hojas y tallos mezclado con agua, el aplicarlo soloes muy fuerte y puede quemar las plantas. También puede aplicarse directamente al cuello de la raíz y al suelo. Según WARNARS & OPPENOORTH (2014), se tiene las siguientes formas de aplicación:

La forma líquida: se puede aplicar por medio de la pulverización foliar, un cubo o un canal de riego y se puede aplicar directamente a los cultivos. También se lo puede aplicar al suelo como fertilizante de fondo y/o revestimiento superficial. Si se aplica a un cultivo estándar, tiene que ser diluido en varias proporciones, dependiendo en el tipo de biodigestor disponible; de lo contrario, la alta concentración de amoníaco y fósforo soluble en el biol generará efectos tóxicos para el crecimiento de la planta y quemará las hojas.

En forma seca: Muchos agricultores prefieren la forma seca del biol ya que es más fácil de transportar que la forma líquida. No obstante, el biol seco pierde parte de su nitrógeno (en particular el amonio) y por tanto se pierde el valor de los nutrientes del biol y se debe aplicar lo más pronto posible para evitar esta pérdida. Debido a esto, la forma seca es el método menos eficiente para aplicar el biol.

En forma de compostaje: El biol en forma de compostaje es la mejor manera de superar el tema del transporte del biol líquido y la pérdida de nutrientes del biol.

### **1.2.13. Biosol**

El Biosol es el resultado de separar la parte sólida del “fango” resultante de la fermentación anaeróbica dentro del Fermentador o Biodigestor. Dependiendo de la tecnología a emplear, este biosol tratado puede alcanzar entre 25% a sólo 10% de humedad (de hecho, esa humedad principalmente es biol residual). Su composición depende mucho de los residuos que se emplearon para su fabricación (en el fermentador). Se puede emplear sólo o en conjunto con compost o con fertilizantes químicos (VARNERO *et al.*, 2011).

#### **Ventajas del uso de biosol.**

Entre las ventajas del uso del biosol se tienen (APARCANA, 2005):

- El uso de este abono hace posible regular la alimentación de la planta. Los cultivos son fortalecidos y ocurre una mejora del rendimiento. El uso del Biosol permite el uso intensivo del suelo mejorando a la vez la calidad del mismo.

- El Biosol confiere a los suelos arenosos una mayor cohesión mejorando con ello la retención de los nutrientes en el suelo.
- El Biosol mejora la estructura del suelo y la capacidad de retención de la humedad del mismo, esto favorece la actividad biológica en el suelo.
- Mejora la porosidad, y por consiguiente la permeabilidad y ventilación.
- También el Biosol puede ser combinado con la materia que va a ser compostada, con el fin de acelerar el proceso de compostaje.
- Inhibe el crecimiento de hongos y bacterias que afectan a las plantas.
- Reduce la erosión del suelo.
- El Biosol cuenta con una mayor disponibilidad de nutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, hierro y azufre) a comparación con el estiércol, entonces esto mejora la disponibilidad del nutriente para la planta.

#### **1.2.14. Biogás**

El biogás es una mezcla de gases, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que se forma cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, es decir en condiciones anaeróbicas. En la naturaleza podemos encontrar ejemplos de producción de biogás en las lagunas, en aguas estancadas, en los sedimentos marinos, en la panza de los rumiantes. Las burbujas que suben del fondo de las lagunas o los gases que son procesados por las vacas son efectivamente biogás. Los responsables de la transformación de la materia orgánica en biogás son unos microorganismos especiales que trabajan en conjunto (bacterias y hongos) (VARNERO *et al.*, 2011).

#### **Calidad del biogás y potencial de metano**

La producción diaria de biogás involucra una serie de procesos interrelacionados que comprende toda la gestión, desde el suministro del sustrato biomasa hasta su aprovechamiento y operación dentro del biodigestor. Siempre es importante conocer la calidad del biogás, expresada por su contenido en metano, debido a que solo éste es el que caracteriza el poder calorífico de este biocombustible, ya que el otro gas en mayor proporción ( $\text{CO}_2$ ) no combustiona. Como se mencionó en los capítulos

anteriores, prácticamente toda la materia orgánica es capaz de producir biogás en condiciones anaeróbicas. La cantidad de biogás y su calidad (% CH<sub>4</sub>) dependerán del tipo de residuo orgánico utilizado (naturaleza y composición) y de las condiciones en las que éste se procesa (tipo y parámetros de funcionamiento del digestor); es decir:

- En primer lugar, la cantidad de biogás y metano que se obtiene estará en función del potencial o rendimiento último que se puede obtener de determinada materia prima, con un tiempo de digestión que se aproxima al infinito. Éste a su vez guarda relación con el potencial teórico de metano, de acuerdo a su composición química (proporción de proteínas, carbohidratos, lípidos, etc.).
- En segundo lugar, la cantidad real de biogás obtenido (siempre menor que la producción última) depende de la manera en que se lleve a cabo el proceso de digestión anaerobia; es decir, que para una misma materia prima (igual composición y rendimiento último de metano), la cantidad y calidad de biogás obtenido dependerá de la temperatura del proceso, el TRH, de la relación sustrato-agua (co), de la COV, etc. Todos estos parámetros determinados por la configuración del digestor.

### **Ventajas del uso del biogás y del biol producido en los biodigestores**

Las ventajas de la utilización de la tecnología de la digestión anaeróbica y que justifican su rápida extensión en los últimos años, tienen que ver con que un biodigestor se puede ver como un sistema de doble propósito: junto con la valorización energética de residuos orgánicos contaminantes y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, mediante la producción de un combustible renovable como el biogás, estos residuos a su vez son estabilizados y mejorados para su posible utilización como fertilizante orgánico.

Además, la digestión anaeróbica puede ser aplicada a una gran variedad de materias primas entre las que están: estiércol animal, residuos de cultivos, residuos de industrias alimentarias, fracción orgánica de residuos municipales, residuos orgánicos de hogares, etc. Los beneficios ambientales y socioeconómicos que se pueden obtener de la aplicación de dicha

tecnología dependen del tipo de materia prima utilizada, y del tratamiento y uso que se le dé tanto al biogás como al biol.

### **Flexibilidad en el uso final del biogás**

El biogás puede ser utilizado en diferentes aplicaciones. La más simple es su combustión directa para calefacción, para cocinar o para iluminación en lámparas de biogás. En los países desarrollados se aplica la tecnología de la digestión anaeróbica para la generación combinada de calor y electricidad, o el biogás es mejorado (biometano) para ser inyectado en la red de gas natural, ser usado como combustible vehicular o en celdas de combustible.

## **1.3. Definición de términos**

**Biodigestor:** Digestor de desechos orgánicos o simplemente digestor, consiste básicamente en un contenedor o recipiente herméticamente cerrado (denominado reactor o fermentador anaeróbico) donde se deposita el material orgánico o sustrato (INIA, 2008).

**Aguas residuales:** Aguas cuyas características han sido modificadas por actividades antropogénicas requieren de tratamiento previo y pueden ser vertidas a un cuerpo natural de agua o ser reutilizadas (OEFA, 2014).

**Biol:** Es un abono orgánico líquido resultado de la descomposición de residuos animales y vegetales en condiciones anaerobias (INIA, 2008).

**Biosol:** Parte sólida resultante de la fermentación anaeróbica dentro del Fermentador o Biodigestor (INIA, 2008).

**Efluente:** Material de desecho descargado al ambiente, tratado o sin tratar, que se refiere generalmente a la contaminación del agua, pero puede utilizarse para referirse a las emisiones de chimeneas u otros materiales de desechos que entran en el ambiente (MINAM, 2012).

**Matadero:** Establecimiento autorizado por el Servicio Nacional de Sanidad Agraria con características higiénico sanitarias apropiadas para realizar el faenado de animales de abasto (GARCÍA *et al.*, 2005).

## **CAPITULO II**

### **MATERIAL Y MÉTODO**

#### **2.1. Materiales**

- 01 wincha Marca Sley de 50 metros.
- Libreta de campo marca “Loro”
- Cintas de pH marca MQuant
- 01 balanza de mano- ROMANA marca UKSO de 50 kg.
- 01 cámara digital marca cannon color plomo.
- 01 laptop “HP”
- 01 calculadora “CASIO NATURAL VPAM”
- Microorganismos eficaces para fermentación anaeróbica
- Biodigestor de mangas (plástico) de 50 L.
- Ficha o formato se utilizó para el registro de toma de muestra (ver anexo 1)

#### **2.2. Métodos**

##### **2.2.1. Recolección de las aguas residuales para el tratamiento.**

Las aguas residuales fueron recolectadas en 05 baldes de plástico de 10 L cada uno, previa homogenización en un recipiente limpio. Luego se los llevó a un ambiente en la parte de atrás del camal municipal de Rioja, y fueron tratados en el biodigestor.

##### **2.2.2. Instalación del biodigestor**

El biodigestor se construyó de bolsa de polietileno de 1,5 m de diámetro y 2,5 m de largo, para una capacidad de carga 0,5 m<sup>3</sup>, el mismo que se instaló en una zanja de 1,5 m de profundidad, 2,5 m de largo y 1,5 m de ancho. Por un extremo se colocó un tubo para el ingreso de los residuos del matadero, el que amarrado con jebe a un tubo de ingreso de 6 pulg. Por el otro extremo se hizo lo mismo pero amarrado a otro tubo de 6 pulg., para el descargado. En la parte superior, se instaló un tubo de ½ pulg, con un codo a los 0,5 m de altura, seguido de otro tubo del mismo diámetro, con una entrada en T hacia un recipiente con agua para la verificación de la presión y continuación del tubo

hacia un tanque de polietileno de iguales características que el biodigestor, con una llave de paso en la entrada y otra en la salida, por donde salió el biogás. Además, se colocó un termómetro y un pechímetro.

### **2.2.3. Cargado del biodigestor**

El biodigestor se cargó en la mañana; se procedió a verter los 5 baldes de 10 litros cada uno de residuos líquidos del matadero, a través del tubo de entrada, luego se le agregó microorganismos eficaces constituido por 30 L de rumen de vaca y 200 g de levaduras de *Saccharomyces cereviceae*. El proceso de fermentación duró cuatro semanas.

### **2.2.4. Determinación de la temperatura, pH y sustratos**

**Temperatura y pH** Fueron tomadas dos veces a la semana, el tercero y séptimo día respectivamente durante cuatro semanas utilizando la ficha técnica (ver anexo 01).

**Sustratos** Es la materia orgánica la cual fue tomado una vez al mes durante tres meses (fase de ingreso, fase intermedia y la fase de egreso), utilizando la ficha técnica (ver anexo 01).

**Determinación de N, P, K y relación C-N** La determinación de los macronutrientes N, P y K, así como la relación de C-N, se realizó en el laboratorio de suelos, aguas y foliares de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Martín – Tarapoto (ver anexo 02).

## CAPITULO III

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Resultados

##### 3.1.1. Dimensionamiento del biodigestor de mangas:

El biodigestor se construyó de bolsa de polietileno de 1,5 m de diámetro y 2,5 m de largo, para una capacidad de carga 0,5 m<sup>3</sup> el mismo que fue instalado en una zanjade 1,5 m de profundidad, 2,5 m de largo y 1,5 m de ancho. Por un extremo se colocó un tubo para el ingreso de los residuos del matadero, el que amarrado con jebe a un tubo de ingreso de 6 pulg.

Por el otro extremo se hizo lo mismo pero amarrado a otro tubo de 6 pulg., para el descargado. En la parte superior, se instaló un tubo de ½ pulg, con un codo a los 0,5 m de altura, seguido de otro tubo del mismo diámetro, con una entrada en T hacia un recipiente con agua para la verificación de la presión y continuación del tubo hacia un tanque de polietileno de iguales características que el biodigestor, con una llave de paso en la entrada y otra en la salida, por donde salió el biogás. Además, se colocó un termómetro y un peachímetro (Ver Anexo 1).

##### 3.1.2. Niveles de (DBO, DQO, N, P y K) pre y post tratamiento.

En la tabla 1 se presentan los resultados de los parámetros DBO, DQO, N, P y K analizados antes y después del uso del biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de las aguas residuales, observándose una disminución significativa en el post tratamiento respecto al pre tratamiento.

**Tabla 1**

*Niveles de los parámetros establecidos pre y post tratamiento*

Parámetros	Pre tratamiento	Post tratamiento
DBO	785,36 mg/L	485,63 mg/L
DQO	2 356,63 mg/L	1 325,36 mg/L
Nitrógeno	1,26%	0,45%
Fósforo	0,31%	0,163%
Potasio	0,12%	0,045%

Asimismo, se analizaron otros parámetros con temperatura, pH, relación C:N, volumen, densidad y materia orgánica, los mismos que se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 2**

*Niveles de otros parámetros pre y pos tratamiento*

Parámetros	Pre tratamiento	Post tratamiento
Temperatura	26,7 °C	28,54° C
Ph	7,32	6,56
Relación C:N	28,75	39,02
Materia orgánica	62,50	30,07
C orgánico	36,23 %	17,56 %
Volumen	80 L	60 L
Densidad	1,056 g/L	0,982g/L

En la tabla 2, se muestran otros parámetros para la investigación, notándose una disminución significativa en el pos tratamiento en el pH, materia orgánica, C orgánico, volumen y densidad. Asimismo, existen otros parámetros como la temperatura y la relación C: N que aumentaron su nivel.

### 3.1.3. Eficiencia de remoción de la materia orgánica de aguas residuales y su comparación con los LMP

**Tabla 3**

*Eficiencia del biodigestor de mangas en la remoción de aguas residuales.*

Parámetros	Remoción (%)
DBO	0,38
DQO	0,44
Nitrógeno	0,64
Fósforo	0,47
Potasio	0,63
Promedio	0,51
Desv. estándar	0,12
Coef. Variación	23,53

En la tabla 3 se presentan los resultados de los parámetros DBO, DQO, N, P y Kanalizados antes y después del uso del biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de las aguas residuales, observándose una disminución significativa en el pos tratamiento respecto al pre tratamiento.

**Tabla 4**

*Comparación de los parámetros pos tratamiento con los LMP*

Parámetros	Post tratamiento	LMP	Diagnostico
DBO	485,63 mg/L	<b>500 mg/L</b>	No Supera
DQO	1 325,36 mg/L	<b>1000 mg/L</b>	Supera
Nitrógeno	0,45%	<b>0,06 – 0,85 %</b>	No supera
Fósforo	0,163%	<b>0,04 – 0,51 %</b>	No supera
Potasio	0,045%	<b>0,06 – 0,83 %</b>	No supera

En la tabla 4 se puede evidenciar la comparación de los resultados obtenidos, con los LMP. Se puede apreciar que DBO no supera a los LMP, estando ligeramente por debajo de este. El DQO supera ampliamente los LMP. Por otro lado, El porcentaje de Nitrógeno y Fosforo, si bien es cierto no superan los LMP, pero están dentro del rango. Finalmente, el porcentaje de potasio no supera y tampoco está dentro del rango de los LMP.

### 3.1.4. Contribución del biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de las aguas residuales.

**Tabla 5**

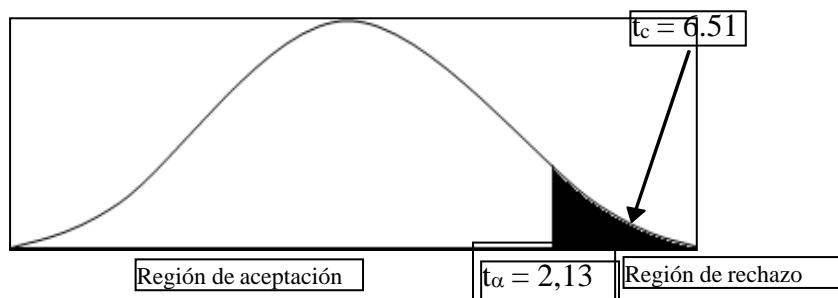
*Datos transformados al logaritmo para Prueba de hipótesis*

Parámetros	Pre tratamiento	Post tratamiento	Diferencia
DBO	2,90	2,69	0,21
DQO	3,37	3,12	0,25
Nitrógeno	0,10	-0,35	0,45
Fósforo	-0,51	-0,79	0,28
Potasio	-0,92	-1,35	0,43
<b>Promedio</b>			<b>0,32</b>
<b>Desviación estándar</b>			<b>0,11</b>

$$t_c = \frac{0.32}{0.11/\sqrt{5}}$$

$$t_c = 6.51 \quad \wedge \quad t_\alpha = 2.13$$

Por lo tanto:  $t_c > t_\alpha$



**Figura 4.** Curva de rechazo

Dado que el valor calculado (6,51) pertenece a la región de rechazo, se decidió rechazar la hipótesis nula  $H_0$  concluyendo con el 95% que el biodigestor de mangas, con consorcios microbianos nativos contribuye significativamente en la remoción de las aguas residuales.

### 3.2. Discusión

El biodigestor de mangas o tubular, utilizando consorcios microbianos nativos, presento remoción de aguas residuales procedentes del matadero municipal de Rioja. Los análisis de agua evidencian ello, puesto que, en los 12 parámetros analizados, en todos hubo remoción.

En los parámetros  $DBO_5$ , DQO, % N, % P y % K. En el caso del  $DBO_5$ , en el análisis pretratamiento obtuvo un valor de 785,36 mg/L, luego de la aplicación del tratamiento obtuvo una lectura de 485,63 mg/L, teniendo un porcentaje de remoción del 38%. Por el lado del DQO, el análisis pretratamiento obtuvo un valor de 2356,63 mg/L, luego de la aplicación del tratamiento obtuvo un valor de 1325,36 mg/L, teniendo un porcentaje de remoción del 44%. Estos valores nos demuestran que el biodigestor de mangas diseñado en el presente trabajo de investigación mostro eficiencia en el tratamiento de efluentes con consorcios nativos. Estos resultados se

contrastan con lo realizado por MORI (2020), cuyo objetivo fue determinar la eficiencia de un biodigestor tubular en la remoción de la carga orgánica y sólidos suspendidos del efluente de un centro de beneficio cárnico, en la ciudad de Celendín, Cajamarca, Perú. En su investigación logró porcentajes de remoción en los primeros 45 días muy altos. Para  $DBO_5$ , logró un 52,45 % de remoción en los primeros 45 días, mientras que para DQO, logró el 73%. Finalmente, MORI (2020), comparo su resultado con los valores máximos admisibles (VMA), para la descarga de aguas residuales no domésticas en la red de alcantarillado sanitario DS N°021 – 2009, verificando el cumplimiento con la norma. Por tanto, concluyeron que el biodigestor tubular es eficiente en el tratamiento de efluentes del beneficio cárnico, logrando porcentajes máximos de remoción de 99.72% para  $DBO_5$ , 98.98 % para DQO y 99.17 % para SST, en un tiempo de retención de 180 días.

Por otro lado, para porcentajes de N, P y K, presentan niveles de remoción considerables. Es el caso de %N, paso de 1,26 % a 0,45 %, presentando un 64 % de remoción. En % P, paso de 0,31 % a 0,16 %, presentando un 47 % de remoción. Finalmente, para %K, paso de 0,12% a 0,05%, presentando un 63 % de remoción.

SORIA (2000), obtuvo que la tendencia de los parámetros analizados al inicio y al final del proceso mostró una reducción en su contenido con los siguientes porcentajes: N 44,02%; P 90,36%; Ca 66,95%; Mg 45,75%; Cu 83,08%; Fe 56,07% y Zn 97,8%. El potasio fue el único elemento que incrementó su contenido en 137,5%; mientras que en la investigación se obtuvo los siguientes resultados: N de 1,26% se redujo a 0,45% lo cual equivale a un 64,29% aproximadamente; P de 0,31% se redujo a 0,163% lo cual equivale a un 47,42% aproximadamente; K de 0,12% se redujo a 0,045% lo cual equivale a un 62,5% aproximadamente; lo cual muestra una reducción significativa en la remoción de las aguas residuales.

En cuanto a la contrastación de los resultados con los LMP después de la remoción, se puede evidenciar el único parámetro evaluado que supera los LMP es el DQO, teniendo una lectura de 1325,36 mg/L, estando por encima del LMP (1000 mg/L). Por otro lado, el  $DBO_5$ , con un valor de 485,63 mg/L no supera el LMP (500 mg/L). El %N, tuvo un valor de 0.45%, no supera el LMP (0,06 – 0,85 %) pero si están dentro del rango. Del mismo modo el %K, con un valor de 0,045% no supera el LMP

(0,06 – 0,83%) pero si esta dentro del rango. Finalmente, el % P con un valor de 0,163%, no supera el LMP (0,04 – 0,51 %).

CHAVEZ & VÁSQUEZ (2017), en su trabajo de investigación “Determinación de la composición física, química y bacteriológica de efluentes de residuos sólidos orgánicos del camal municipal de Moyobamba, con la finalidad de uso sostenible local”, obtuvieron resultados interesantes, obtuvo Nitrógeno amoniacal 36.39 mg/L; Fósforo Total 17.33 mg/L; DQO 717.11 mg/L; DBO<sub>5</sub> 391.56 mg/L y pH 4.72. Los valores obtenidos en DQO y DBO<sub>5</sub> fueron mayores a los LMP; mientras que están por debajo de los LMP los valores de Nitrógeno amoniacal, Fósforo total y pH.

Por otro lado, VERDE (2014) obtuvo como resultado un promedio de pH que varía entre 5,17 a 5,2 ligeramente ácidos; mientras que en esta investigación se obtuvo 6.56 de pH lo cual se encuentra en el rango de 6,5 a 7,5 que determinan que es un pH óptimo.

TOALA (2013), obtuvo como resultado que cada uno de los biodigestores de polietileno trabaja con una eficiencia del 90,42%, en relación a la energía producida en el proceso anaerobio; mientras tanto en esta investigación se obtuvo el 95% que el biodigestor de mangas, con consorcios microbianos nativos lo cual contribuye significativamente en la remoción de las aguas residuales.

PINTO CASTRO y QUIPUZCO URBINA (2015), mencionaron que las aguas grises y las aguas amarillas, como parte de las aguas residuales domésticas producidas por la población, son residuos líquidos que pueden ser reutilizados como sustitutos del agua de pozo para la alimentación de biodigestores para la producción de biogás y fertilizante líquido, la cual coincide con el proceso que realizamos para la alimentación del biodigestor ya que también se utilizó las aguas residuales domésticas.

## CONCLUSIONES

- Se determinó que la eficiencia del biodigestor de mangas con consorcios microbianos nativos en la remoción de aguas residuales del matadero municipal de Rioja – 2017 es del 95% lo cual contribuye significativamente en la remoción de las aguas residuales.
- La dimensión del biodigestor de mangas de 80 L de capacidad para su funcionamiento efectivo, con consorcios microbianos nativos para la remoción de las aguas residuales.
- Los niveles de DBO, DQO, N, P y K pre tratamiento fueron: 785,36 mg/L; 2 356,63 mg/L; 1,26%; 0,31% y 0,12% respectivamente y post tratamiento: 485,63 mg/L, 325,36 mg/L; 0,45%, 0,163%, y 0,045%.
- El promedio de la eficiencia de remoción de la materia orgánica de las aguas residuales es de 0,51 lo cual muestra una disminución significativa en el post tratamiento respecto al pre tratamiento.

## RECOMENDACIONES

- A la población en general y a fines, que debe de utilizar el biodigestor de mangas ya que tiene un bajo costo, los materiales utilizados para su elaboración son accesibles, es rápido de implementar y la eficiencia de este biodigestor es muy buena.
- A los tesisistas e investigadores ampliar en futuras investigaciones otros parámetros para ser evaluados y nutrir más este campo de los estudios de biodigestores.
- A la academia difundir la metodología aplicada debido a su bajo costo y fácil accesibilidad.
- A las entidades locales, regionales del estado invertir en la implementación de este tipo de biodigestor en las zonas rurales.
- A los tesisistas e investigadores, difundir los beneficios biológicos, químicos, físicos y ambientales del biodigestor de mangas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APARCANA, S. Aprovechamiento energético de los residuos de un matadero frigorífico industrial y la biomasa regional en Arequipa, Perú bajo la aplicación de la gestión de flujos de materiales y energía. *Trier, Alemania*, 2005.
- APAZA APAZA, Daniel Efraín. *Compostaje y biodigestión con subproductos de camal en Puno-Perú* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Del Altiplano. 2013. Disponible en repositorio institucional: <http://tesis.unap.edu.pe/handle/UNAP/242>
- ARCE, C. *Influencia de la sobre fertilización de los suelos*. 2011. Lima, pág 355, Primera edición.
- ARRIETA, Winston Juan Oscar. *Diseño de un biodigestor doméstico para el aprovechamiento energético del estiércol de ganado*. Tesis de pregrado. 2016. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Mecánico-Eléctrica. Piura, Perú. Disponible en: [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME\\_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2575/IME_200.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- BECERRA-GUTIÉRREZ, Lizzie Karen; HORNA-ACEVEDO, María Valeria; BARRIONUEVO-ALBÚJAR, Katya Irma. Nivel de contaminación en los efluentes provenientes de camales de la región la libertad. *Rev. Cuerpo Méd. Hosp. Nac. Almanzor Aguinaga Asenjo*, 2014, p. 23-26. Disponible en: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1052078>
- CABOS SANCHEZ, Jeisson David. *Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del Biol y Biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Trujillo, Facultad de Ciencias Biológicas. 2014. Disponible en: [Cabos Sanchez, Jeisson David.pdf \(unitru.edu.pe\)](#)
- CAIMANQUE, S.; ESCUDERO, E. Factores que Afectan a los Microorganismos. *Santiago, Chile: Duoc UC, Escuela de Salud*, 2015.
- CHAVEZ TÁVARA, Jhefferd Merlimg; VÁSQUEZ ZORRILLA, Ronal Iván. *Determinación de la composición física, química y bacteriológica de efluentes de residuos sólidos orgánicos del camal municipal de Moyobamba, con la finalidad de uso sostenible local* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Martín. 2017.

Disponible en el repositorio institucional:  
<http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2380>

CONAGUA. *Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y de tratamiento de aguas residuales en operación*. IMTA. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, 2011.

CONAGUA. *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS): evaluación rápida de plantas potabilizadoras*. IMTA. Coordinación de Tratamiento y Calidad del Agua, 2013.

CORONA ZUÑIGA, I. V. A. N. Biodigestor. *Hidalgo: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, 2007.

CRUZ VALVERDE, A. *Desarrollo de un biodigestor casero como alternativa para generación de biogás empleando estiércol bovino*. Tesis de grado. 2014. Autónoma Agraria Antonio Narro, Torreón, Colombia.

DOMÍNGUEZ, Ana; ACHKAR, Marcel; FERNÁNDEZ, Gabriela. AGUA y TERRITORIO. *AGUA y TERRITORIO*, 2013. p. 48. Disponible en: [AGUAYTERRITORIO2BAJA-with-cover-page-v2.pdf](http://AGUAYTERRITORIO2BAJA-with-cover-page-v2.pdf) ([d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net](http://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net))

FRIONI, L. Los Procesos microbianos (Tomo II); Editorial de la Fundación de la Universidad Nacional de Río Cuarto. *Río Cuarto. Córdoba, Argentina*, 1999. ISBN: 950-665-110

GARCÍA, Angela María, et al. *Museo de historia natural en el antiguo matadero*. 2005. Tesis de Licenciatura. Uniandes. Disponible en: <https://repositorio.uniandes.edu.co/bitstream/handle/1992/15998/u258890.pdf?sequence=1>

GARCÍA-RODRÍGUEZ, Esteban A. Sistema de sedimentación para la recuperación de aguas residuales del proceso de lavado de áridos en la UEB del Jobo. *Ciencia & Futuro*, 2014, vol. 4, no 4, p. 22-41. Disponible en: [http://200.14.55.89/index.php/revista\\_estudiantil/article/view/1001](http://200.14.55.89/index.php/revista_estudiantil/article/view/1001)

HERRERO, Jaime Martí. *Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación*. Jaime Marti Herrero, 2008. Disponible en: [Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación - Jaime Martí Herrero - Google Libros](http://Biodigestores familiares: Guía de diseño y manual de instalación - Jaime Martí Herrero - Google Libros)

- INIA. Elaboración y usos del Biol. 2008. Lima. Disponible en: [https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/115/1/Usos\\_Biol\\_Lima\\_2008.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/115/1/Usos_Biol_Lima_2008.pdf)
- JIMÉNEZ, Erlinda; PESANTES, Eder. *Evaluación de la contaminación del río Namballe generado por la disposición final de los residuos sólidos del Camal Municipal del Distrito Namballe, San Ignacio* (Tesis de pregrado). Universidad Cesar Vallejo. 2020. Disponible en repositorio institucional: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49405>
- JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de economía, innovación y ciencia. *Department of Economy, Innovation and Science, in Spanish*, available at <http://juntadeandalucia.es/organismos/economiainnovacionyciencia/temas/economia/fondos-europeos.html> (accessed on 1/4/2011), 2011.
- KAISER, Felipe; BAS, Fernando; GRONAUER, Andreas. Producción de biogás a partir de guano Animal: el caso de Alemania. *Agronomía y Forestal UC*, 2002, vol. 16, no 4, p. 4-8.
- LOZANO, N. Diseño de biodigestores para las familias caprinocultoras de la cuenca baja del río Chillón. *III Diplomado En Saneamiento Sostenible*, 2012. Disponible en: [http://www.lamolina.edu.pe/proyectos/proyecto\\_AQUAtech/Diplomado\\_III/monografias/pdf\\_doc/LOZANO.pdf](http://www.lamolina.edu.pe/proyectos/proyecto_AQUAtech/Diplomado_III/monografias/pdf_doc/LOZANO.pdf)
- LUTENBERG, O. Tratamiento sanitario de aguas residuales, eliminación de microorganismos y agentes contaminantes características de efluentes y criterios de seguridad. PE.(En línea). Consultado el 26 de jun. 2016. Formato PDF. 2010.
- MARTÍN-CLOSAS, Lluís; BACH, M. A.; PELACHO, Ana M. Biodegradable mulching in an organic tomato production system. En *XXVII International Horticultural Congress-IHC2006: International Symposium on Sustainability through Integrated and Organic 767*. 2006. p. 267-274. Disponible en: [https://www.actahort.org/books/767/767\\_28.htm](https://www.actahort.org/books/767/767_28.htm)
- MAZUMDAR, A., et al. Consolidation of information. Biogas handbook. *Consolidation of information. Biogas handbook. Pilot edition.*, 1982, no PGI/82/WS/19. Disponible en: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19852423704>
- METCALF & EDDY. Ingeniería de las aguas residuales (vol. I). 1995. Madrid: McGraw-Hill. ISBN: 84-481-1612-7.
- MINISTERIO DE AMBIENTE - MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles

- (LMP) para efluentes de actividades agroindustriales tales como Planta Camales y Plantas de Beneficio. 2012. Lima, Perú.
- MONTENEGRO DÍAZ, Raquel. *Producción de biogás y bioabonos a partir de estiércol de bovino en biodigestor tubular en Naranjos, Bagua, Amazonas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. 2020. Disponible en repositorio institucional: <http://repositorio.untrm.edu.pe/handle/UNTRM/2072>
- MORI LEYVA, Keyla Sujey. *Eficiencia de un biodigestor tubular en la remoción de la carga orgánica y sólidos de un efluente del beneficio cárnico, en Celendín* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca. 2021. Disponible en repositorio institucional: <http://190.116.36.86/handle/UNC/4154>
- NINA VENTURA, Alexander David. *Obtención de combustible biogás a base de desechos orgánicos mediante la construcción de un biodigestor, Arequipa 2020* (Tesis de pregrado). Universidad Autónoma San Francisco. 2020. Disponible en el repositorio institucional: <http://repositorio.uasf.edu.pe/handle/UASF/362>
- OEFA, O. d. *Fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima, Perú: sn, 2014.* Disponible en: [https://oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- PÉREZ, Juan; BORGE, David; AGUDELO, John. *Proceso de gasificación de biomasa: una revisión de estudios teórico-experimentales. Revista facultad de ingeniería Universidad de Antioquia, 2010, no 52, p. 95-107.* Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/430/43016342009.pdf>
- PINTO, Lucila; QUIPUZCO, Lawrence. *Aprovechamiento de aguas residuales domésticas para producción de biogás y biol mediante digestores de carga diaria. En Anales Científicos. 2015. p. 87-93.* Disponible en: <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/768>
- POMBOZA-TAMAQUIZA, Pablo, et al. *Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de Lactuca sativa L. variedad Iceberg. Journal of the Selva Andina Biosphere, 2016, vol. 4, no 2, p. 84-92.* Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v4n2/v4n2\\_a05.pdf](http://www.scielo.org.bo/pdf/jsab/v4n2/v4n2_a05.pdf)
- RUIZ RÍOS, Albina. *Mejora de las condiciones de vida de las familias porcicultoras del Parque Porcino de Ventanilla, mediante un sistema de biodigestión y manejo integral de residuos sólidos y líquidos, Lima, Perú* (Tesis Doctoral). Universitat Ramon Llull. 2010. Disponible en: <https://www.tdx.cat/handle/10803/9296>

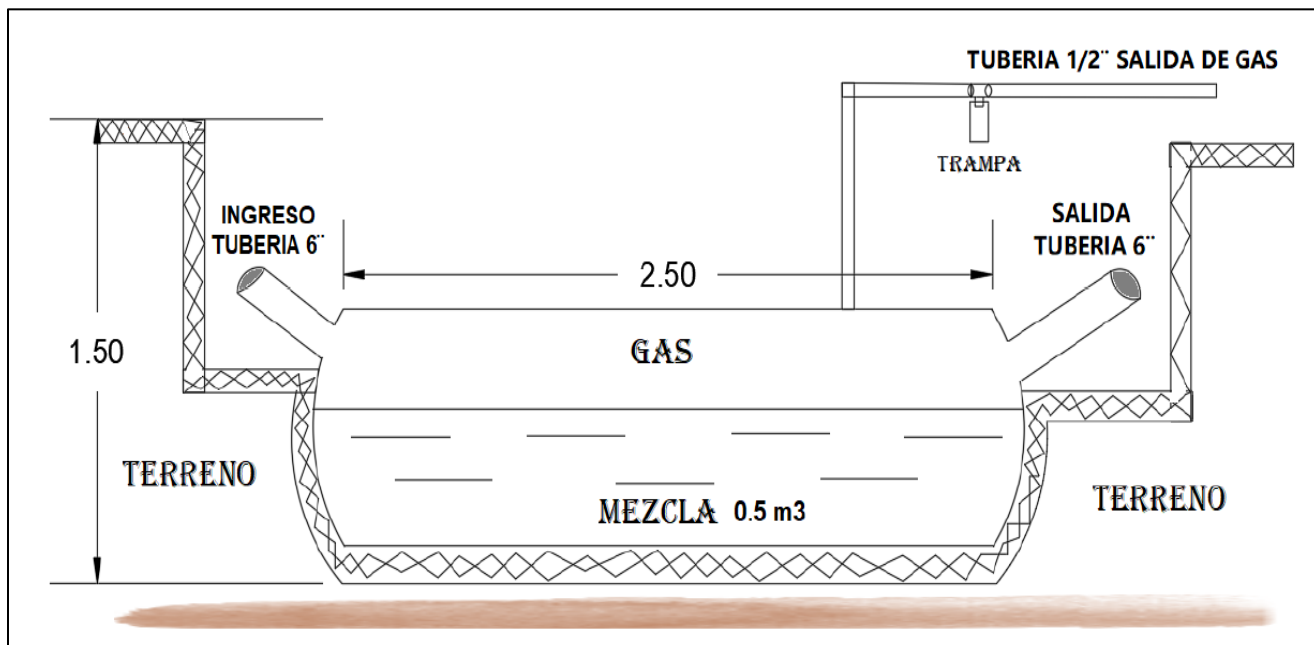
- RODRÍGUEZ CASTILLO, Anthony Samir. *Influencia de tres dosis de biol en el crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz forrajero (Zea mays L.)* (Tesis de Pregado). 2014. Universidad Privada Atenor Orego, Trujillo. Disponible en: <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/865>
- SALAS, Gilberto; CONDORHUAMÁN, Cesario. Tratamiento de las aguas residuales de un centro de beneficio o matadero de ganado. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 2008, vol. 11, no 1, p. 29-35. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4885>
- SOLIS, M. Evaluación Económica Del Cultivo De Acelga (Beta Vulgaris var. Cicla) Usando Biol Como Fertilizante Orgánico. *International Multilingual Journal of Contemporary Research*, 2015, 3(2), 4. Disponible en: <http://rdcb.cbg.ipn.mx/bitstream/20.500.12273/613/1/428.pdf>
- TAUSEEF, S. M., et al. Methane capture from livestock manure. *Journal of environmental management*, 2013, vol. 117, p. 187-207. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479712006603>
- TOALA MOREIRA, Edwin Eyner. *Diseño de un biodigestor de polietileno para la obtención de biogás a partir del estiércol de ganado en el rancho Verónica*. 2014. Tesis de Licenciatura. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/3406>
- UNESCO. The United Nations world water development report 2017: wastewater the untapped resource. *Geneva: UN Water*, 2017.
- VARGAS, Cristian; PULIDO, Cristian. *Diseño de un biodigestor tipo manga para granja ubicada en la zona rural de Usme* (Tesis de postgrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Disponible en repositorio institucional: <https://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/26565>
- VARNERO, María T.; GALLEGUILLOS, Karina; ROJAS, Ronald. Sistemas de Compostaje para el Tratamiento de Alperujo. *Información tecnológica*, 2011, vol. 22, no 5, p. 49-56.
- VIERA *et al.* Influencia de los productos no contaminantes en el crecimiento de plántulas para aumentar su poder germinativa. 2015. Universidad de Chile, Chile.
- WARNARS, Lavinia; OPPENOORTH, Harrie. A study on bioslurry results and uses. *no. March, K. Atkinson, Ed*, 2014, p. 20. Disponible en: [Bioslurry-A-Supreme-](#)

[Fertilizer.pdf \(researchgate.net\)](#)

ZEA BELTRÁN, Jaki Alexander; BERNAL NIEVES, John Edison; CARVAJAL SANABRIA, Diego Fernando. *Biodigestores de escala a 50 litros, una solución para la producción de gas, abono y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos*. 2016. Tesis Doctoral. Corporación Universitaria Minuto de Dios. Disponible en: <https://repository.uniminuto.edu/handle/10656/3969>

## **ANEXOS**

**Anexo 1. Dimensiones del biodigestor.**



## Anexo 2. Ficha técnica de recolección de datos

### FICHA TECNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

#### Variable Independiente

Parámetros	Fase ingreso	Semana 1		semana 2		semana 3		semana 4		Fase egreso
		Día 3	Día 7	Día 3	Día 7	Día 3	Día 7	Día 3	Día 7	
pH	7,32	7,22	6,7	6,52	7,04	6,3	6,02	6,5	6,18	6,56
Temperatura	26,7	27,3	26,8	28,3	31,6	27,2	29,1	30,8	27,3	28,54

Parámetros	Fase ingreso	Fase egreso
Volumen	80 litros	60 litros
Densidad	1,056 g/L	0,982g/L

#### Variable Dependiente

Parámetros	Fase de ingreso	Fase de egreso
Nitrógeno	1,26%	0,45%
Fósforo	0,31%	0,163%
Potasio	0,12%	0,045%
Relación Cabono:Nitrógeno	28,75	39,02
Descomposición (horas) DBO5	785,36 mg/L	485,63 mg/L
Descomposición (horas) DQO	2356,63 mg/L	1325,36 mg/L
%C Orgánico	36,23	17,56
PARÁMETROS	FASE DE INGRESO	FASE DE EGRESO
Materia Orgánica	62,5	30,07

### Anexo 3. Resultados de laboratorio de las muestras - Mezcla de sangre pre tratamiento



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES**



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto  
 Jr. Amorarca Cdra. 3  
 Ciudad Universitaria- Laboratorio de Suelos - FCA  
 Morales - San Martín  
 Central: 042521402  
 Movil: 985800927

#### INFORME DE ENSAYO N° 02-2018/LSFCA-UNSM-T

Cliente : HAROLD JEFFERSON ORDÓNEZ MORI  
 Dirección : Camal Municipal - Rioja  
 Producto : Mezcla de Sangre  
 Cantidad de muestra : 500 ml Aprox.  
 Presentación : Botella Plástica Rotulada  
 Instrucciones de ensayo : Indicadas por el cliente  
 Procedencia : Rioja  
 Fecha de reporte : 28 - 05 - 2018

Muestra	pH	CE uS/cm	%N	% K	% P
Muestra sangre	7.32	456.32	1.26	0.12	0.31

Tarapoto 28 de mayo de 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
 Facultad de Ciencias Agrarias

**Ing. Carlos Verde Girbau**  
 TECNICO DEL LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

## Anexo 4. Resultados de laboratorio de las muestras - Biol pre tratamiento



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES**



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto  
 Jr. Amarca Cdra. 3  
 Ciudad Universitaria- Laboratorio de Suelos - FCA  
 Morales - San Martín  
 Central: 042521402  
 Movil: 985800927

### INFORME DE ENSAYO N° 03-2018/LSFCA-UNSM-T

Cliente : HAROLD JEFFERSON ORDÓNEZ MORI  
 Dirección : Rioja  
 Producto : Biol  
 Cantidad de muestra : 500 ml Aprox.  
 Presentación : Botella Plástica Rotulada  
 Instrucciones de ensayo : Indicadas por el cliente  
 Procedencia : Rioja  
 Fecha de reporte : 28 - 05 - 2018

Muestra	pH	CE uS/cm	%N	% K	% P
Muestra sangre	6.56	235.63	0.45	0.045	0.163

Tarapoto 28 de mayo de 2018



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN**  
**Facultad de Ciencias Agrarias**

**Ing. Carlos Verde Girbau**  
 TÉCNICO DEL LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

## Anexo 5. Resultados de laboratorio de las muestras - Mezcla de sangre post tratamiento



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES**



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto  
 Jr. Amorrarca Cdra. 3  
 Ciudad Universitaria- Laboratorio de Suelos - FCA  
 Morales - San Martín  
 Central: 042521402  
 Movil: 985800927

### INFORME DE ENSAYO N° 05-2018/LSFCA-UNSM-T

Cliente : HAROLD JEFFERSON ORDÓNEZ MORI  
 Dirección : Camal Municipal - Rioja  
 Producto : Mezcla de Sangre  
 Cantidad de muestra : 500 ml Aprox.  
 Presentación : Botella Plástica Rotulada  
 Instrucciones de ensayo : Indicadas por el cliente  
 Procedencia : Rioja  
 Fecha de reporte : 20 - 06 - 2018

Muestra	DBO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	C/N	Densidad g/ml	%MO	% Carbono orgánico
Muestra sangre	785.36	2356.63	28.75	1.056	62.5	36.23

Metodologías
DBO <sub>5</sub> : Incubación por 5 días a 20°C
DQO: Oxidación con Dicromato
Densidad : Picnómetro
%MO y % C : microkjendhal

Tarapoto 20 de junio de 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
 Facultad de Ciencias Agrarias

Ing. Carlos Verde Girbau  
 TÉCNICO DEL LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

## Anexo 6. Resultados de laboratorio de las muestras - Biol post tratamiento



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN - TARAPOTO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, AGUAS Y FOLIARES**



Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto  
 Jr. Amorarca Cdra. 3  
 Ciudad Universitaria- Laboratorio de Suelos - FCA  
 Morales - San Martín  
 Central: 042521402  
 Movil: 985800927

### INFORME DE ENSAYO N° 04-2018/LSFCA-UNSM-T

Cliente : HAROLD JEFFERSON ORDÓNEZ MORI  
 Dirección : Rioja  
 Producto : Biol  
 Cantidad de muestra : 500 ml Aprox.  
 Presentación : Botella Plástica Rotulada  
 Instrucciones de ensayo : Indicadas por el cliente  
 Procedencia : Rioja  
 Fecha de reporte : 20 - 06 - 2018

Muestra	DBO <sub>5</sub> mg/L	DQO mg/L	C/N	Densidad g/ml	%MO	% Carbono orgánico
Muestra Biol	485.63	1325.36	39.02	0.982	30.27	17.56

Metodologías
DBO <sub>5</sub> : Incubación por 5 días a 20°C
DQO: Oxidación con Dicromato
Densidad : Picnómetro
%MO y % C : microkjendhal

Tarapoto 20 de junio de 2018



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN  
 Facultad de Ciencias Agrarias

**Ing. Carlos Verde Girbau**  
 TÉCNICO DEL LABORATORIO DE SUELOS Y AGUA

## Anexo 7. Panel Fotográfico



**Figura 5.** Colocación del tubo de ingreso de residuos del matadero del biodigestor



**Figura 6.** Colocación del tubo de salida de gas.



**Figura 7.** Colocación de la trampa en el tubo de la salida del gas para mitigar los olores.



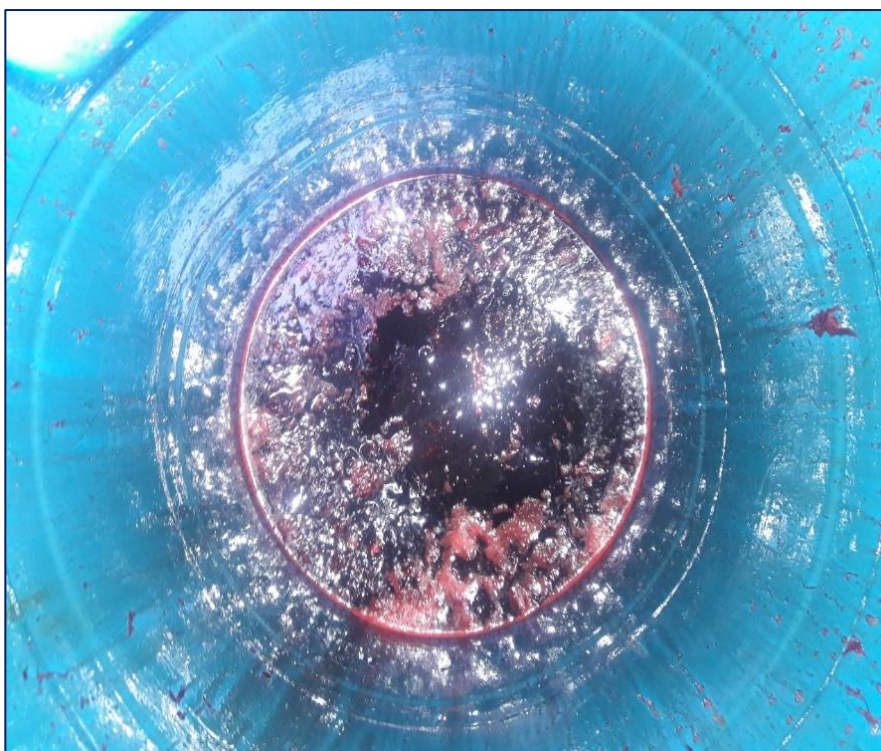
**Figura 8.** Instalación del biodigestor de mangas.



**Figura 9.** Cargado del biodigestor con las aguas residuales del matadero.



**Figura 10.** Cargado del biodigestor con la levadura *Saccharomyces cereviceae* y microorganismos eficaces.



*Figura 11.* Cargado del biodigestor con el rumen y microorganismos eficaces



*Figura 12.* Colocada de tubos para el llenado del biodigestor.