

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN**

**ESCUELA DE POST GRADO**



=====

**DISEÑO DE SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA LA  
OBTENCION DE ENERGIA, ABONOS ORGANICOS Y  
MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN LA GRANJA  
RETAMA DEL DISTRITO DE HUÁNUCO**

=====

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN  
GESTIÓN Y NEGOCIOS CON MENCIÓN EN GESTIÓN DE  
PROYECTOS**

**TESISTA: IVET VICTORIA FALCÓN RAMÍREZ**

**ASESOR: DR. JORGE HILARIO CÁRDENAS**

**HUÁNUCO – PERÚ**

**2016**

**DEDICATORIA**

A mis padres, Elsa y Porfirio, con profundo amor y eterno agradecimiento por su esfuerzo, sacrificio e incondicional apoyo en todas las etapas de mi vida, en especial durante mi formación profesional.

A la población de zonas rurales, que con el apoyo de esto tipos de investigaciones puedan implementar este modelos de sistemas en sus viviendas obteniendo una mejor calidad de vida y aprovechamiento eficiente de los recursos existentes.

**AGRADECIMIENTO**

A Dios, por darme la vida, por protegerme y haberme brindado el mejor regalo que podré tener, mi familia; así como la fuerza y oportunidad de seguir adelante cada día a pesar de las adversidades que pueda pasar.

A mis hermanos Yohana, Limber, Minelva y Ursula, abuelos, primos, y tías, cuñados, que siempre estuvieron a mi lado para aconsejarme y brindarme su apoyo.

A mi asesor Dr. Jorge Hilario Cárdenas, por su orientación profesional en el desarrollo del presente trabajo de investigación y por su respaldo incondicional.

A mis compañeros de la Universidad Nacional Hermilio Valdizán Medrano, por su amistad cultivada en estos años de formación profesional.

A mis amiga(o)s Wendy, Laura, Adiany, Boris, Julio, Saúl, Jessica, Franco, Niko, Kathy, Rosmery entre muchos otros, por su amistad y apoyo brindado durante el desarrollo de la presente investigación.

A todas aquellas personas, que cuando sus nombres no estén aquí, depositaron en mí su confianza y compartieron conmigo alegrías y tristezas, impulsándome al logro de este meta.

## RESUMEN

El trabajo de investigación se realizó en la granja Retama, localizada en el distrito de Huánuco, teniendo por objetivo el diseño de sistema productivo sostenible para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento de agua residual en la granja retama del distrito de Huánuco; el sistema incluye un diseño de biodigestor modelo taiwanés o tubular y un humedal de flujo subsuperficial tipo horizontal.

El resultado de las muestras tomadas in situ para el diseño del biodigestor mostraron que la granja Retama produce 57.73 Kg de estiércol de cuy/día, considerando un tiempo de retención hidráulica (THR) y una dilución 1:3 (una parte de estiércol y tres de agua), el resultado del diseño es un biodigestor de 10 m<sup>3</sup> de capacidad, para una obtención aproximada de 0.436 m<sup>3</sup> biogás/ día que puede ser empleado como energía y/o combustible para la cocción de alimentos para 1-2 horas; del mismo modo con la implementación del diseño se puede obtener 230.93 lt de biol/día, que se puede emplear como abono orgánico para el cultivo de alimentos y forraje para alimentación de animales. Así mismo, para el diseño del humedal se realizó la caracterización de aguas residuales de la granja retama y su volumen de generación (0.0046 l/seg), donde la estructura de sistema de tratamiento consta de 03 partes: filtro rápido con una capacidad de volumen 0.208 m<sup>3</sup> y área superficial de 0,315 m<sup>2</sup>; humedal de flujo subsuperficial tipo horizontal con una área superficial de 1,178 m<sup>2</sup>; y zona de decantación con un volumen de 0.113 m<sup>3</sup> y área superficial de 0.189 m<sup>2</sup>, resultando en un área total de 2.76 m<sup>2</sup>.

Palabras clave: Biodigestor, agua residual, energía renovable, cuy, granja.

## SUMMARY

This research has been developed in Retama's farm, located in Huánuco district, aiming at the design of a sustainable productive system for the obtaining of renewable energy, organic fertilizers and improvement of wastewater in the Retamas's farm of the Huánuco district; this system include a design of a Taiwan / tubular biodigester model and a horizontal subsurface flow wetland.

The results of the samples taked in situ to design the biodigester showed that Retama's farm produce 57.73 kg of guinea pig manure/day, considering a hydraulic residence time (HRT) of 30 days and a dilution 1:3 (one part of manure and three parts of water), the result of the design is a biodigester with a capacity of 10 m<sup>3</sup>, which will generate 0.436 m<sup>3</sup> of biogas / day that can be used as fuel for electric power generation and / or fuel for cooking food for 1 or 2 hours, this design also generate 230.93 lt biol / day, which can be used as an organic fertilizer for the cultivation of food and animal feed.

Likewise, based on the volume of generation (0.0046 l / sec) and the water quality parameters evaluated of wastewater of the rural farm, the structure of the treatment system was designed consisting of 3 parts: fast filter with a capacity of 0.208 m<sup>3</sup> and surface area of 0.315 m<sup>2</sup>; Horizontal type subsurface flow wetland with a surface area of 1,178 m<sup>2</sup>; And decantation zone with a volume of 0.113 m<sup>3</sup> and surface area of 0.189 m<sup>2</sup>; resulting in a total area of 2.76 m<sup>2</sup>.

Key words: Biodigester, wastewater, renewable energy, guinea pig, farm.

## INTRODUCCION

Los sistemas productivos agrícolas son la principal fuente mundial de alimentos para la población, llamados también agro ecosistemas, que consiste en que las partes y procesos conforman un todo unitario, que incluye un área de cultivo con suelos formados por procesos geológicos y ecológicos previo producción, equipamientos para siembra y cosecha, limpieza del terreno, entre otros.

El sistema productivo desarrollado en la presente investigación propone que los residuos y efluentes tienen un potencial que pueden ser aprovechados mediante la implementación de dos sistemas; el humedal para el tratamiento de aguas residuales y aprovechamiento de uso para regadío, y el biodigestor, para la obtención de energía (biogás) y abonos orgánicos (biol). La implementación de éstos sistemas dentro de un sistema productivo agrícola potencia los siguientes factores: económico al generar ingresos a través de la venta de abonos, reducir los costos de producción y aumento de la producción agrícola, la rentabilidad social mejora la calidad de vida, ecológico conserva los recursos naturales al reducir la contaminación y eleva la calidad del suelo y agua. La integración de los sistemas propuestos garantiza la sostenibilidad; además permite aprovechar de manera eficiente los recursos existentes.

Si bien, cada región tiene un conjunto particular de sistemas agrícolas y pecuarios que son el resultado de la influencia del medio natural y social, el cual le hace diferente a otras regiones, hay un elemento común entre ellas, que es el uso de los recursos naturales como materia prima para la producción.

La presente investigación se desarrolló en el distrito y región de Huánuco, para tal efecto, se realizó un diseño acorde a las condiciones del medio natural, económico y social que busca integrar las cualidades en dicho sistema

(producción de energía, abonos orgánicos, mejoramiento de calidad de aguas residuales) buscando la mejor alternativa para la producción sostenible en el denominado sistema granja, que podría emplearse como un plan “piloto” en la zona seguida implementarse en realidades análogas; de otro lado promover la generación de conciencia en los miembros de las comunidades rurales, para que conozcan el beneficio económico y ambiental.

## INDICE

<b>CAPÍTULO I EL PROBLEMA DE INVESTIGACION .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 DESCRIPCIÓN DE PROBLEMA .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.1 Problema General .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2 Problema Específico .....</b>	<b>14</b>
<b>1.3 OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.1 Objetivo General .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3.2 Objetivos específicos .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>16</b>
<b>1.5 VARIABLES Y SU OPERACIONALIZACIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>1.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6.1 Justificación .....</b>	<b>17</b>
<b>1.6.2 Importancia .....</b>	<b>18</b>
<b>1.7 VIABILIDAD .....</b>	<b>18</b>
<b>1.8 LIMITACIONES Y DELIMITACION .....</b>	<b>19</b>
<b>1.8.1 Limitaciones .....</b>	<b>19</b>
<b>1.8.2 Delimitación de la investigación .....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>19</b>
<b>2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>19</b>
<b>2.2 BASE TEORICA .....</b>	<b>30</b>
<b>2.2.1 SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE .....</b>	<b>30</b>
<b>A. Sistema productivo .....</b>	<b>30</b>
<b>B. Descripción de sostenibilidad .....</b>	<b>31</b>
<b>C. Descripción de granja rural en el Perú .....</b>	<b>31</b>
<b>2.2.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA PRODUCTIVO             INTEGRADO SOSTENIBLE .....</b>	<b>33</b>
<b>A. OBTENCIÓN DE ENERGÍA LIMPIA A PARTIR DE             BIODIGESTORES. ....</b>	<b>33</b>
<b>A.1 Digestión anaeróbica .....</b>	<b>33</b>
<b>A.2 Producción de biogás .....</b>	<b>36</b>
<b>A.2.1 Estimación de biogás diario producido .....</b>	<b>39</b>
<b>A.3 Descripción del Proceso .....</b>	<b>41</b>

<b>A.4 Tipos de biodigestores.....</b>	<b>43</b>
<b>A.4.1 Biodigestores de Flujo Continuo .....</b>	<b>43</b>
<b>A.4.2 Biodigestores de Flujo discontinuo .....</b>	<b>44</b>
<b>A.4.3 Biodigestores semi continuo.....</b>	<b>44</b>
<b>A.5 Componentes generales de una planta de biogás .....</b>	<b>47</b>
<b>A.6 Factores que influyen en la producción de gas .....</b>	<b>47</b>
<b>A.6.1 Tipo de materia prima.....</b>	<b>48</b>
<b>A.6.2 Temperatura del sustrato.....</b>	<b>50</b>
<b>A.6.3 Carga volumétrica.....</b>	<b>51</b>
<b>A.6.4 Tiempos de retención.....</b>	<b>52</b>
<b>A.6.5 Valor de acidez (pH).....</b>	<b>53</b>
<b>A.6.6 Relación carbono – nitrógeno (C/N).....</b>	<b>54</b>
<b>A.6.7 Niveles de amoniaco .....</b>	<b>54</b>
<b>A.6.8 Contenido de agua de la mezcla.....</b>	<b>55</b>
<b>A.7 Ventajas del Biogás.....</b>	<b>55</b>
<b>A.7.1 Recuperación energética inmediata y como consecuencia económica .....</b>	<b>56</b>
<b>A.7.2 Depuración ambiental y ecológica.....</b>	<b>57</b>
<b>A.7.3 Fertilizantes de gran calidad.....</b>	<b>57</b>
<b>B. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES .....</b>	<b>60</b>
<b>B.1. Descripción de aguas residuales domesticas (ARD). .....</b>	<b>60</b>
<b>B.2.Composición, características fisicoquímicas y biológicas del agua residua.....</b>	<b>60</b>
<b>B.3. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales. 61</b>	
<b>B.4. Descripción de tratamiento aerobio .....</b>	<b>62</b>
<b>B.5. Descripción de humedal.....</b>	<b>63</b>
<b>B.6. Descripción de humedal artificial .....</b>	<b>63</b>
<b>B.7. Clasificación de los humedales artificiales .....</b>	<b>65</b>
<b>B.7.1 Humedales artificiales de flujo superficial .....</b>	<b>68</b>
<b>B.7.2 Humedales de flujo subsuperficial.....</b>	<b>71</b>
<b>B.7.2.1 Partes de un humedal artificial de flujo subsuperficial ...</b>	<b>73</b>
<b>B.7.2.2 Tipos de humedales subsuperficiales .....</b>	<b>79</b>
<b>B.7.2.3 Ventajas y desventajas de sistema de humedal de flujo subsuperficial.....</b>	<b>82</b>
<b>B.8. Ventajas de uso de humedales.....</b>	<b>84</b>

<b>2.3 DEFINICIONES CONCEPTUAL DE TÉRMINOS .....</b>	<b>85</b>
<b>2.3.1 Sistema .....</b>	<b>85</b>
<b>2.3.2 Sistema Dinámico .....</b>	<b>86</b>
<b>2.3.3 Sistema Abierto.....</b>	<b>86</b>
<b>2.3.4 Energía limpia o renovable .....</b>	<b>86</b>
<b>2.3.5 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).....</b>	<b>86</b>
<b>2.3.6 Efluente .....</b>	<b>86</b>
<b>2.3.7 Estiércol líquido .....</b>	<b>86</b>
<b>2.3.8 Estiércol.....</b>	<b>87</b>
<b>2.3.9 Potencial de hidrógeno (pH) .....</b>	<b>87</b>
<b>2.3.10 Potencial de producción de biogás .....</b>	<b>87</b>
<b>2.3.11 Teoría General de Sistemas (TGS).....</b>	<b>87</b>
<b>CAPITULO III MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>88</b>
<b>3.1 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>88</b>
<b>3.1.1 Tipo de Investigación .....</b>	<b>88</b>
<b>3.1.2 Nivel de investigación .....</b>	<b>88</b>
<b>3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>89</b>
<b>3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....</b>	<b>89</b>
<b>3.4 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>90</b>
<b>3.4.1 Técnicas de recolección de datos e información .....</b>	<b>90</b>
<b>CAPITULO IV RESULTADOS.....</b>	<b>91</b>
<b>4.1 PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA DE OBTENCIÓN DE     ENERGÍA LIMPIA Y ABONOS ORGÁNICOS.....</b>	<b>91</b>
<b>4.1.1 Determinación de la capacidad volumétrica del biodigestor ..</b>	<b>91</b>
<b>4.1.2 Dimensionamiento de biodigestor .....</b>	<b>94</b>
<b>4.1.3 Dimensionamiento de la zanja.....</b>	<b>96</b>
<b>4.1.4 Dimensionamiento de la cámara de mezcla .....</b>	<b>97</b>
<b>4.1.5 Dimensionamiento de cámara de biol.....</b>	<b>97</b>
<b>4.1.6 Determinación de producción de biogás.....</b>	<b>97</b>
<b>4.1.7 Determinación de producción de abono (biol y biosol) .....</b>	<b>99</b>
<b>4.2 PROPUESTA DE DISEÑO DE TRATAMIENTO DE AGUAS     RESIDUALES.....</b>	<b>99</b>
<b>4.1.1 Población de diseño .....</b>	<b>99</b>

4.1.2 Caracterización fisicoquímica y biológica de agua residuales en la granja retama.....	100
4.2.2.1. Toma de muestra.....	100
4.2.2.2. Caracterización de aguas residuales.....	100
4.1.3 Determinación de caudal .....	102
4.1.4 Dimensionamiento de la caja colectora de filtro rápido .....	103
4.1.5 Dimensionamiento de humedal subsuperficial tipo horizontal	104
4.1.6 Dimensionamiento de zona de decantación .....	107
4.1.7 ..... Remoción esperada de sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales. ....	109
4.3 SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA, ABONOS ORGÁNICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.....	110
CAPITULO V DISCUSIÓN .....	112
CONCLUSIONES .....	117
RECOMENDACION .....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	120
ANEXOS.....	127

# **CAPÍTULO I**

## **EL**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACION**

#### **1.1 DESCRIPCIÓN DE PROBLEMA**

Uno de los principales problemas ecológicos mundiales que actualmente viene afrontando nuestro planeta es el cambio climático, que se debe fundamentalmente a la sobre acumulación de gases de efecto invernadero (GIV) en la atmósfera, producto de actividades como el uso de combustibles fósiles, deforestación a gran escala, crecimiento poblacional, rápida expansión de la agricultura de riego, generación de residuos sólidos, uso de insumos químicos, entre otros. Siendo así, que en los últimos años esta situación ha empeorado, deteriorando cada vez más nuestra capa de ozono trayendo alteraciones climáticas como largas sequías, lluvias, altas y bajas temperaturas; afectando a todo ser viviente que habita en el planeta. A nivel mundial, muchos estado son conscientes de este tipo de cambios el cual buscan alternativas para minimizar los riesgos ambientales que traen consigo sus actividades trabajando responsablemente, desarrollando políticas, firmando acuerdos y protocolo a nivel estatal y mundial, así como también hay estados que a la fecha no tomaron conciencia de que sus actividades realizadas sin una responsabilidad ambiental está trayendo consigo problemas que actualmente se viene presentando.

El uso masivo de combustibles fósiles, el aprovechamiento energético de la biomasa trajo consigo su disminución progresiva, presentándose en el mundo un reparto desigual como fuente de energía, motivando así la búsqueda de

nuevas alternativas de producción energética, como las energías limpias que se convirtieron en una de las mejores opciones ya que como su mismo nombre lo dice no dejan residuos al finalizar su uso, es decir no contaminan. En el Perú [11] desde hace varios años se han empezado a utilizar este tipo de energías alternativas para el uso eficiente de la energía en las zonas más apartadas y subdesarrolladas en el país, como son las zonas rurales. Se debe tener en cuenta que el desarrollo sostenible es un proceso complejo e integral basado en normas de equidad, sostenibilidad y competitividad, con relación al entorno del ser humano y su hábitat presente y futuro.

Uno de los problemas ambientales poco estudiado, pero no menos importante es la contaminación del agua, que se debe fundamentalmente a la contaminación por efluentes provenientes de los desechos domésticos, industriales, entre otros que afectan fuentes de abastecimiento de agua, formando una película superficial que afecta el intercambio de oxígeno y produce altos niveles de contaminación, proliferación de enfermedades y el deterioro irreversible del medio ambiente.

Del análisis descrito se puede deducir que el ecosistema viene siendo degradado cada día en mayor proporción, sin dejar escapar el área de estudio que es zona rural de la ciudad de Huánuco, podemos hacer mención que el principal causante de todos estos problemas ambientales es el hombre y su baja preocupación o desconocimiento de alternativas de minimización de los impactos de sus actividades mediante la integración de los factores Económico, Social, Ecológico y Ambiental: económico porque genera ingresos, social porque mejora la calidad de vida, ecológico porque conserva los recursos naturales y, ambiental puesto que aprovecha de manera eficiente los recursos existentes; siendo así que si se trabajaría integrando estos diferentes sistemas de producción se garantiza la

sostenibilidad, donde se debería tomar acciones a partir de las actividades más simples y rutinarias que realizamos de forma individual como cuidar, preservar nuestros recursos naturales y trabajar de manera amigable con nuestro ambiente, para así llegar a afrontar problemas ambientales de mayor magnitud de lo que se tiene ahora; por ello en el presente estudio se propone investigar y plantear un diseño de sistema productivo sostenible para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento agua residual, que se ajuste a la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco.

## 1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

### 1.2.1 Problema General

¿Qué diseño es el adecuado para un sistema productivo sostenible para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento agua residual, en la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco una vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco?

### 1.2.2 Problema Específico

- ¿ Qué diseño se adecua para obtener energía limpia y abonos orgánicos a partir de biodigestores con excretas de cuy, para la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco?
- ¿ Qué diseño de una vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco.
- ¿ tratamiento de aguas residuales es el adecuado para para la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco?
- una vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco.
- na vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco.

- ¿Cuánto es el área necesaria para el diseño del sistema sostenible para u para la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco?
- ¿Cuánto es la capacidad de tratamiento de cada diseño del sistema productivo sostenible planteado.

### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo General

Proponer un diseño de un sistema productivo para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento agua residual, en la granja retama, ubicado en el distrito de Huánuco  
~~en una vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco.~~

#### 1.3.2 Objetivos específicos

- Diseñar un sistema de obtención de energía limpia y abonos orgánicos a partir de biodigestores con excretas de cuy, para la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco.
- ~~una vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco.~~
- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para para la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco.
- ~~una vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco.~~
- ~~na vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco.~~
- Determinar el área necesaria para el diseño del sistema productivo sostenible para u para la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco.
- ~~na vivienda típica de la zona rural del distrito de Huánuco.~~
- Determinar la capacidad de tratamiento de cada diseño del sistema productivo sostenible planteado.

#### 1.4 SISTEMA DE HIPÓTESIS

El proyecto de investigación; por ser de carácter descriptivo y aplicativo, no requirió de la formulación de hipótesis alguna.

Es importante señalar, que por lo general, la formulación de hipótesis es pertinente en investigaciones de nivel explicativo, donde se pretende establecer relaciones causales entre variables.

En las investigaciones de nivel exploratorio y en algunas de carácter descriptivo comúnmente no se plantean hipótesis de explícita, es decir, se trabaja con objetivos.

#### 1.5 VARIABLES Y SU OPERACIONALIZACIÓN

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
DISEÑO DE SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA LA OBTENCION DE ENERGIA Y ABONOS ORGÁNICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN <u>LA GRANJA RETAMA UBICADO EN EL DISTRITO DE HUÁNUCO.</u>	Sistema productivo sostenible en una granja de Peru	Sistema productivo
		<u>Descripción de Sostenibilidad</u>
		<u>Descripción Vivienda de granja típica rural en el Perú</u>
	Obtención de energía limpia a partir de biodigestores	Digestión anaeróbica
		Producción de biogás
		<u>Descripción del Generalidades del Proceso</u>
		Tipos de biodigestores
		Componentes generales de una planta de biogás
		Factores que influyen en la producción de gas
		Ventajas del Biogás

	Mejoramiento de aguas residuales	Descripción de aguas residuales domésticas (ARD)
		Composición, características fisicoquímicas y biológicas del agua residual
		Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales
		<u>Descripción de Tratamiento aerobio</u>
		<u>Descripción</u> Definición de humedal
		<u>Descripción de H</u> humedal artificial
		Clasificación de los humedales artificiales
		Ventajas de uso de humedales

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

## 1.1

### 1.21.6 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

#### 1.6.1 Justificación

La investigación tiene justificación de orden PRÁCTICO, [12][13][14] ~~debido~~, pues de acuerdo con los objetivos, al final de la investigación se obtuvo un diseño para obtener energía y abonos orgánicos a partir de estiércol de cuy, así como

también un diseño para la reutilización de aguas residuales en el riego con un pre tratamiento, beneficiándose de esta, beneficiándose la granja retama y demás as familias-zonas rurales que carecen de éstos servicios y tienen menos recursos; para un mejor aprovechamiento de recursos acorde a su ubicación en el distrito de Huánuco.

### **1.6.2 Importancia**

La investigación desarrollada es importante porque se va a aprovechar los materiales residuales que se generan en la granja retama, aportando la mejora del factor *social* (mejora la calidad de vida de habitantes), *económico* (disminución de gastos concerniente a energía, abonos para mejoramiento de tierras y cultivos) y *ambiental* (aprovecha de manera eficiente los recursos generando energía y abonos) dentro de ella.

### **1.6.1.7 VIABILIDAD**

Se dispone la viabilidad, porque se obtuvo los recursos, materiales e información para el desarrollo de diseño en sistemas de tratamiento de aguas residuales, obtención de energía y abonos orgánicos a partir de bibliografías y apoyo de profesionales con experiencia en el desarrollo y aplicación de estos sistemas.

En cuanto a la disponibilidad de los recursos económicos, financieros de carácter humano y en relación al tiempo; el suscrito dispuso las mismas para el desarrollo de la presente investigación.

~~1.71.8 y acorde a una vivienda típica rural de la ciudad de~~

## ~~Huánuco~~.LIMITACIONES Y DELIMITACION

### 1.8.1 Limitaciones

Ausencia de información y/o estudios similares a nivel regional, nacional e internacional, por ello se está tomando como referencia investigaciones tratadas de forma independientes para cada componente.

### 1.8.2 Delimitación de la investigación

De acuerdo a la delimitación espacial; la presente investigación se realizó en el distrito de Huánuco, provincia Huánuco, departamento Huánuco.

Con respecto a la delimitación temporal la investigación se realizó durante los meses de abril a ~~setiembre~~ del ~~Julio~~ 2016.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Proyectos sobre viviendas, granjas o fincas sostenibles energéticamente y con distinto tipo de tratamientos de aguas y residuos sólidos son realizados en

diversas partes del mundo, ya sea de forma integrada o independientemente; lo que hace diferente en cada una de ellas que las características y condiciones son propias de cada sitio y no existe como tal un modelo universal, razón por lo cual, se analiza en detalle el estado del área a trabajar y plantear un tipo de diseño que se ajuste para cada sistema de acuerdo a los factores que influyen. Cabe mencionar que no se encontraron estudios de sistemas productivos sostenibles similares al que se pretende plantear, por ello se optó tomar en cuenta estudios de manera independiente, siendo los siguientes:

### **Internacional**

- María Isabel Latorre Boada, en el año 2007, desarrollo en la Universidad Internacional SEK del Ecuador, Quito – Ecuador, la tesis titulada “Diseño de una Granja Integral Autosuficiente”, para optar al título de Ingeniero Ambiental. Esta investigación tuvo como objetivo general: Diseñar una Granja Integral Autosuficiente. Llegando a las siguientes conclusiones: El terreno, objeto de la presente investigación, ha estado improductivo por el lapso de más de 30 años consecutivos, salvo excepcionales pequeñas parcelas de producción realizadas en el pasado de maíz fundamentalmente. Esta situación facilita la implementación de la Granja Integral Autosuficiente en un suelo totalmente conservado, a pesar de que para ello el área es relativamente pequeña, se requiere determinada inversión, una apropiada canalización de agua y demás infraestructura; siendo con todo esto una excelente alternativa de producción autosustentable para la familia moradora de la localidad y que podría reflejarse incluso como un plan “piloto” en esta zona que debería proyectarse positivamente en el territorio nacional; El espíritu de una Granja Integral Autosuficiente se basa en los principios de Solidaridad,

Integración, Economía y básicamente Sustentabilidad, todo lo cual incide directamente en beneficio propio de las familias que habitan el lugar por cuanto se autoabastecen de alimentos frescos, idóneos para su salud, con los que puede contar todo el año y directamente a su alcance. Este sistema adicionalmente enriquece y solventa el ciclo natural del suelo a través de técnicas muy simples que manejadas apropiadamente redundan en un equilibrio productivo; Con el desarrollo de esta innovadora granja y la implementación de una diversidad de productos, puede obtenerse una interesante gama de insumos que, a su vez, al ser reciclados directamente, beneficia los diferentes subsistemas de la Granja Integral Autosuficiente; las actividades productivas permiten cubrir principalmente los costos de producción, ventas y la inversión, a pesar de que la ganancia no significa una cifra significativa; La suma de consideraciones técnicas favorables, la necesidad de tener alternativas productivas económica y ambientalmente sustentables y la realidad socioeconómica en su conjunto, definen a las producciones indicadas como actividades viables de desarrollo en el corto y mediano plazo; El beneficio para el medio ambiente será parte prioritaria del proyecto, ya que no sufrirá cambios drásticos en sus procesos, lo cual permitirá su conservación y manutención de los recursos existentes en el terreno. Esto se convertirá en un ejemplo a seguir para personas o instituciones que tienen en mente poner en marcha un proyecto de similares características; el diseño propuesto incluye una serie de mejoras a los Modelos tradicionales de Granjas Integradas Autosuficientes; dentro de estos adelantos se encuentra la optimización en el uso del agua, con sistemas de almacenamiento y de riego controlado; en las áreas de animales se

dispusieron cuartos de control para precautelar la salud de los empleados y de los animales con medidas de seguridad. Así mismo se implementaron áreas de descanso, y señalización en todas las secciones de la GIA.

- Hilda Salinas González, en el año 2012, desarrollo en la Universidad de Cuenca – Ecuador, la tesis titulada “la granja integral agroecológica: una alternativa para la seguridad alimentaria de las familias campesinas en el Azuay” para optar al título de Ingeniero Agrónomo. Esta investigación tuvo como objetivo general: Definir un modelo de granja integral aplicable a la provincia del Azuay, orientada a la conservación y recuperación de los recursos naturales, y eficaz en la consecución de la seguridad alimentaria de las familias campesinas involucradas, llegando a las siguientes conclusiones: 1. La granja integral ha demostrado ser la mejor alternativa para el mejoramiento de la producción, la conservación de los suelos y el aprovechamiento de los recursos permitiendo así mantener una seguridad alimentaria del agricultor, relaciona los saberes ancestrales con la tecnología contemporánea para mejorar los sistemas de producción agropecuarios, no sólo analiza los rendimientos de cosecha y producción animal, sino armoniza el funcionamiento integral del agro ecosistema a través de prácticas sostenibles como la producción de abonos orgánicos, permitiendo así a la granja solventar su propio funcionamiento. 2. La granja integral puede, además, generar empleo para muchos agricultores, también incrementar los niveles de productividad, competitividad y rentabilidad para las regiones en donde se dé el funcionamiento de estas granjas y de esta manera contribuir al desarrollo del país brindando una seguridad alimentaria. 3. Los productos de la granja permiten a la familia consumir su propia producción durante todo el año, lo cual significa un

ahorro con relación a su adquisición en el mercado. Por otra parte, se pueden generar ingresos adicionales por la venta de los productos excedentes. 4. Por todos los aspectos indicados, el mejoramiento o la promoción de granjas agroecológicas en áreas rurales con bajos recursos económicos y deficiencias alimentarias, tiene gran importancia para el mejoramiento de los niveles de seguridad y autosuficiencia alimentaria de nuestro país, y del Azuay en particular.

### **Nacional**

- Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú con apoyo de la GTZ Cooperación Técnica Alemana, en el año 1996, desarrollo el proyecto “casa ecológica”; teniendo como idea fundamental el demostrar el ciclo ecológico, haciendo que la tecnología se complemente con las necesidades para obtener una vivienda que use eficientemente los recursos de su medio, sin degradarlos y que sea auto sostenida tanto en alimentación como en energía. Así como los objetivos de difundir y promocionar las tecnologías apropiadas para el sector rural, enfocadas especialmente en las Energías Renovables de manera que el poblador pueda usar eficientemente los recursos naturales del medio que lo rodea sin degradarlo; brindar herramientas necesarias a las familias para que logren una autosuficiencia alimentaria y energética en equilibrio con su ambiente. Llegándose a las siguientes conclusiones: Como consecuencia de la difusión del proyecto se ha logrado una gran aceptación por parte del público, con lo cual el GRUPO tiene proyectado crear una red de Casas Ecológicas en el Perú, esto con la finalidad facilitar el acceso a la información por parte de la población cercana a las futuras Casas Ecológicas que se puedan edificar. Ellas servirán para demostrar

las tecnologías y se capacitará a la misma población en el uso y aplicación de Energías Renovables.

- Irene Pérez Bort, en el año 2012, desarrollo en la Universidad Politécnica de Cataluña – España, la tesis titulada “Optimización de la producción de biogás de los biodigestores unifamiliares de la zona rural andina de Perú” para optar al título de master de Agricultura para el Desarrollo; Esta investigación tuvo como objetivo obtener optimizar la tecnología de los biodigestores tubulares unifamiliares en el contexto de los países andinos, con el fin de aumentar la producción de biogás y cubrir las necesidades de combustible para cocinar de las familias beneficiarias, mejorando así su calidad de vida; llegando a las siguientes conclusiones: 1. De entre los tres sistemas de digestión anaeróbica evaluados, la digestión del estiércol vacuno es la más eficiente en la generación de biogás (0,34 m<sup>3</sup> biogás/kg SV), produciendo un 65% más biogás por unidad de materia orgánica agregada que la codigestión (0,12 m<sup>3</sup> SV ) y un 88% más que el estiércol de cuy (0,04 m<sup>3</sup> biogás /kgSV). Bajo las condiciones de operación del presente estudio, la digestión de estiércol vacuno llega a producir 0,14 m<sup>3</sup> biogás /m<sup>3</sup>día, cantidad suficiente para llegar a abastecer las necesidades de cocción de alimentos de una familia de la zona rural andina compuesta por cinco miembros. 2. La fuerte reducción que se produce del influente al efluente del contenido de materia orgánica (85 - 95%) y de los nutrientes como el nitrógeno y el fósforo (60 – 80%), evidencia el importante fenómeno de sedimentación que tiene lugar en el interior de los biodigestores y que obliga al usuario a realizar un vaciado periódico para mantener el correcto funcionamiento de la tecnología. La sedimentación se ha estimado a partir de la reducción del volumen de cenizas en 80 –

85% para el biodigestor 1 y de 50 – 70% para los biodigestores 2 y 3. 3. Las tres digestiones han producido un biogás con suficiente concentración de metano (55%) como para ser usado como biocombustible, y un buen fertilizante natural. 4. Para incrementar la productividad de biogás, el estiércol se debería aplicar lo más fresco posible al digestor. 5. La codigestión de la mezcla de estiércol de cuy y vacuno no consigue potenciar la producción de biogás respecto de las digestiones de los estiércoles puros. El alto grado de degradación del estiércol de cuy en el momento de su aplicación ha contribuido fuertemente a este hecho. 6. La estructura invernadero, indistintamente de su diseño, no consigue aumentar la temperatura del volumen líquido del digestor, que se mantiene operando bajo condiciones psicrófilas (20°C). El invernadero, por tanto, sirve únicamente para proteger al digestor de la degradación producida por la radiación solar directa y por ello puede sustituirse por un sencillo toldo que abarataría considerablemente el coste total de la tecnología de los biodigestores tubulares unifamiliares.

- Ulises Moreno y Carmen Felipe, desde 1989 desarrollaron una tipo de agricultura ecológica, aplicando principios y prácticas agroecológicas provenientes del conocimiento tradicional, empírico y científico; posterior a ello convirtieron la finca en un “centro de producción, investigación y capacitación en Agricultura Ecológica y Agroturismo”, ha permitido a sus propietarios no solo a demostrar la viabilidad ambiental, técnica, social y económica de la pequeña agricultura sino también el de contribuir en la difusión y fortalecimiento de la agricultura ecológica en el Perú hasta la actualidad. Bioagricultura Casa Blanca es una granja de una hectárea, ubicada en el valle del río Lurín, distrito de Pachacamac, a 35 km al sur

de la ciudad de Lima. Cultiva una amplia variedad de productos agrícolas, así como una población de cuyes de entre 900 y 1000 unidades produce aproximadamente tres toneladas métricas de estiércol. Es a partir de esta biomasa de origen animal producida en la chacra, a la cual se añade la biomasa vegetal (residuos de cosechas), que se promueve el reciclaje. Mediante estos procesos podemos producir no solamente bioabonos, en forma líquida o sólida, sino también biogás. El proceso que se realiza usando el biodigestor es en cierta forma una réplica de lo que ocurre en la naturaleza cuando la biomasa enterrada durante millones de años se descompone en condiciones anaeróbicas y produce un yacimiento considerable de gas natural o biogás. El biodigestor de Bioagricultura Casa Blanca viene funcionando eficientemente desde su construcción hace 15 años. Una vez que el biodigestor comienza a producir biogás (a los cinco o seis días en verano), esta energía puede ser utilizada como combustible en la cocina o para el alumbrado en forma directa, mediante lámparas de gas. Si se cuenta con un generador eléctrico que funciona con gasolina, previa modificación del carburador, se puede hacerlo funcionar con el biogás (metano) para producir electricidad. Por otro lado, la pareja de ingenieros obtienen de manera constante bioabono líquido o biol, que no solo es un excelente abono orgánico para sus cultivos, sino que, por su alto contenido de fitohormonas, es un valioso activador del crecimiento y floración de las plantas, en particular de los frutales. El tercer producto del biodigestor que se obtiene anualmente al realizar la descarga, es el bioabono sólido o biosol, el cual es un excelente abono para los cultivos.

- Lawrence E. Quipuzco Ushñahua, en el año 2000, desarrolló la investigación titulada “Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas” el cual tuvo como objetivo evaluar el tratamiento de aguas residuales domésticas, usando dos tipos de pantanos artificiales (pantano de flujo horizontal subsuperficial y pantano de flujo vertical ascendente). Siendo así, que se evaluó el comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. La fuente de agua residual fue captada de la red de desagües de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las aguas residuales fueron conducidas mediante tuberías hacia un tanque y cilindros sedimentadores y posteriormente se distribuyó hacia dos pantanos instalados en serie sembrados con *Phragmites australis*: un pantano horizontal seguido de un pantano vertical. El medio poroso de los pantanos estaba constituido por substratos de grava y arena. Se llegó a las siguientes conclusiones: 1. Al analizar los rendimientos en cada etapa del sistema de tratamiento, se comprobó que el pantano horizontal presenta un mejor rendimiento que el pantano vertical. 2. El nivel de remoción de SST en el pantano horizontal fue alto (97,2%) debido a una buena selección del medio filtrante, lo que aseguró una muy buena filtración. 3. El pantano horizontal mostró un buen comportamiento en el proceso de mineralización de la materia orgánica, manteniendo un buen rendimiento a lo largo del estudio. Su capacidad le permitió absorber altas concentraciones de DBO5 y DQO, manteniendo medias de eliminación de 79,6 y 84,3% respectivamente. 4. El pantano vertical fue operado completamente como un cuerpo de suelo saturado

por el flujo continuo de agua residual dentro del pantano, como consecuencia fue imposible mantener buenas condiciones de aireación y degradación de materia orgánica, a pesar que la tasa de aplicación hidráulica y la carga orgánica se encontraban por debajo de las recomendadas según criterios de diseño. 5. El nivel de remoción de sulfato por etapas en el sistema de tratamiento fue significativo para ambos pantanos con un 71,2% para el pantano horizontal y 52,85% para el pantano vertical. 6. El nivel de eficiencia en la remoción de coliformes fecales y enteroparásitos en el sistema de tratamiento no fue significativo alcanzando porcentajes de 98 y 62% respectivamente. De acuerdo con las normas sanitarias para el reuso de aguas residuales de la OMS no es apta para el reuso agrícola y acuícola. 7. El crecimiento, la adaptación y la propagación de los *Phragmites australis* en los pantanos durante la temporada de investigación (agosto 2000– enero 2001) se produjeron rápidamente después de la plantación y puesta en marcha del sistema de tratamiento, lo que la califica como una especie adecuada para ser usada en pantanos artificiales.

## **Regional**

- Franklin Dionisio Montalvo, en el año 2012, desarrolló en la Universidad Nacional Agraria de la Selva la tesis titulada “Modelo de reactor anaerobio y filtro de flujo vertical inverso para tratamiento de aguas residuales”, para optar el título de ingeniero ambiental. Esta investigación tuvo como objetivos: Evaluar la temperatura, pH, sólidos totales en suspensión,

oxígeno disuelto y coliformes termotolerantes, Evaluar el rendimiento del modelo propuesto a través de la variación inicial y final de los parámetros, Verificar que los parámetros evaluados del efluente del modelo propuesto se encuentren dentro de los Límites Máximos Permisibles – agua, Realizar la propuesta de diseño del prototipo del RAFFVI, si el rendimiento es aceptable, y llegando a la siguiente conclusión: 1. La mayor variación de pH fue de 6.70% alcanzado en el sistema RAFFVI con Colocasia e. 2. La mayor eficiencia en remoción de sólidos totales en suspensión y coliformes termotolerantes fue de 70.30% y 96.14% respectivamente alcanzado por el sistema RAFFVI con Colocasia e. 3. El sistema RAFFVI con Colocasia e. generó la disminución del oxígeno presente en el agua residual en mayor cantidad que en el sistema RAFFVI siendo la variación 4.40%. 5. La temperatura, pH y concentración de coliformes termotolerantes encontrado en el modelo RAFFVI con Colocasia e. y en el modelo RAFFVI se encontró dentro del Límite Máximo Permisible establecido por el (MINAM, 2010). 6. La concentración de sólidos totales en suspensión encontrado en el modelo RAFFVI con Colocasia e. para los caudales de prueba de 0.5 mL/s, 1 mL/s y 2 mL/s, se ubicó dentro del Límite Máximo Permisible establecido por el (MINAM, 2010). 7. Los modelos evaluados presentan un nivel de eficiencia aceptable para remover sólidos totales en suspensión y coliformes termotolerantes y cumplen con los LMPs para caudales de prueba de 0.5, 1, y 2 ml/s. 8. La construcción del prototipo RAFFVI requiere de S/.234,657.18 con respecto a S/.22,000.00 que requiere un pozo séptico, sin embargo presentan mayor eficiencia con respecto a los pozos sépticos y por ello

representan la mejor alternativa para tratar las aguas residuales del internado de varones Callao y Sheraton de la UNAS.

## **2.2 BASE TEORICA**

### **2.2.1 SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE**

#### **A. Sistema productivo**

Para definir sistema productivo, en primera instancia deberíamos tener en claro que es sistema, el cual se define como “Un conjunto de entidades caracterizadas por ciertos atributos, que tienen relaciones entre sí y están localizadas en un cierto ambiente, de acuerdo con un cierto objetivo”, cabe mencionar que el sistema tiene elementos, como: componentes, interacción entre componentes, entradas y salidas, límites (Chase, 1994).

El concepto de sistema en general está sustentado sobre el hecho de que ningún sistema puede existir aislado completamente y siempre tendrá factores externos que lo rodean y pueden afectarlo, por lo tanto podemos referir a Muir citado en Puleo (1985) que dijo: "Cuando tratamos de tomar algo, siempre lo encontramos unido a algo más en el Universo", la Producción es la transformación de Insumos en productos.

Entonces sistema de producción se define como un conjunto de objetos y/o seres vivos que se relacionan entre sí para procesar insumos y convertirlos en el producto definido por el objetivo del sistema (Chase, 1994).

Un sistema de producción está conformado por componentes vivos como el hombre, las plantas, los animales y los microorganismos, así como componentes físicos como el agua y el suelo. Estos componentes

interactúan e intercambian materia y energía para formar una estructura. Es decir, un Sistema de Producción es aquel que tiene una entrada (insumo), los cuales sufren un proceso de transformación y una salida (producto), relimentándose el mismo a través de un proceso de control (Cepal, 2003).

### **B. Descripción de sostenibilidad**

Los conceptos de sostenibilidad y desarrollo sostenible se examinan desde una perspectiva sistémica. En su sentido más general, la sostenibilidad de un sistema puede representarse mediante una función no decreciente de valuación de las salidas o productos del sistema analizado que son de interés. Se examinan distintas concepciones sobre el sistema de referencia, desde una antropocéntrica a ultranza hasta una extremadamente bio o ecocéntrica y se las relacionan con los criterios de sostenibilidad muy fuerte, fuerte, débil y muy débil (Cepal, 2003).

Así mismo, lo sostenible es todo aquello dependiente de energía externa para dar marcha a un sistema en su funcionamiento, como por ejemplo el financiamiento o subsidios que requieren las fundaciones u organizaciones para realizar sus operaciones, las cuales sin apoyos se desvanecen en el tiempo. Mientras lo sustentable tiene la capacidad autónoma de sustentarse por sí solo sin necesidad de esperar los recursos externos, es decir, consiste en la capacidad del sistema de utilizar la autogestión para generar los ingresos necesarios (Inspirulna, 2012).

### **C. Descripción Vivienda de granjatípica rural en el Perú**

Según el informe de pobreza en el Perú del 2009, el 60.3% de los residentes en áreas rurales del Perú son pobres. Por región natural, el

57.4% de los residentes de la selva rural se encuentran en situación de pobreza (INEI, 2009), residentes de la selva rural se encuentran en situación de pobreza. En las viviendas de la zona rural hay deficiencias en la cobertura y calidad de servicios básicos, cocinas inadecuadas que no contribuyen a mejorar la salud de las familias, entre otros. A estas condiciones, se suma otras limitaciones, muy severas, que sufren las familias de las zonas rurales, como son los bajos ingresos económicos, los problemas de saneamiento legal de las propiedades, los bajos niveles educativos, desnutrición infantil y alta morbilidad” (EL PERUANO, 2011). Ante este panorama, el 9 de setiembre del 2010 se ha promulgado la ley N° 29589, Ley de Vivienda Rural, que busca brindar condiciones normativas apropiadas para la mejora e implementación de la vivienda rural en el país (MVCS, 2011).

Lamentablemente, según el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento actualmente, en las zonas rurales del Perú, aún más de 3,3 millones de personas no tienen acceso al agua potable y 6,2 millones carecen de una adecuada eliminación sanitaria de excretas y aguas residuales (MVCS, 2011).

Asi mismo, cuando hablamos de granja, se hace referencia al espacio creado por el hombre sobre una porción de tierra que es previamente delimitada y que se pone a disposición de quienes la posean para ser trabajada, labrada y utilizada en la producción de cultivos o cría y domesticación de animales, construcciones que pueden tener que ver con el depósito de los productos recolectados (tales como silos) y con la vivienda de las personas que trabajen en ese espacio. Las granjas se pueden clasificar de acuerdo al tipo de producción que realicen. Mientras

algunas se especializan en la producción de cierto tipo de cereales o vegetales, hay otras que se dedican a la cría y producción de alimentos avícolas, también se pueden clasificar en torno al tipo de sistema productivo, siendo algunas de ellas granjas de cultivo extensivo o intensivo, cultivo rotativo, orgánico, entre otros.

En base a la premisa mencionada líneas arriba, se concluye que el sistema productivo integrado sostenible para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento de calidad de agua residual en [la granja retama ubicado en el distrito de Huánuco](#) es denominada así, debido a que este modelo de granja buscara integrarse a los ciclos de la naturaleza, donde todo se reciclara, produciéndose energía, compost y mejoramiento de calidad de aguas residuales que se usaría para riego, siendo sostenible durante estos proceso de transformación y tratamiento.

## **2.2.2 PROCESOS DE TRATAMIENTO DEL SISTEMA PRODUCTIVO INTEGRADO SOSTENIBLE**

### **A. OBTENCIÓN DE ENERGÍA LIMPIA A PARTIR DE BIODIGESTORES.**

#### **A.1 Digestión anaeróbica**

La digestión anaeróbica es el proceso en el cual microorganismos descomponen material biodegradable en ausencia de oxígeno. Este proceso genera diversos gases, entre los cuales el dióxido de carbono y el metano son los más abundantes (dependiendo del material degradado). En biodigestores se aprovecha esta liberación de gases para luego ser usados como combustible. La intensidad y duración del proceso anaeróbico varían dependiendo del diversos factores, entre los que se

destacan la temperatura y el pH del material biodegradado. La digestión anaerobia (DA) es un proceso multietapas que puede ser resumido en 4 etapas (Vargas 1992; Guevara 1996; Hilbert 2003).

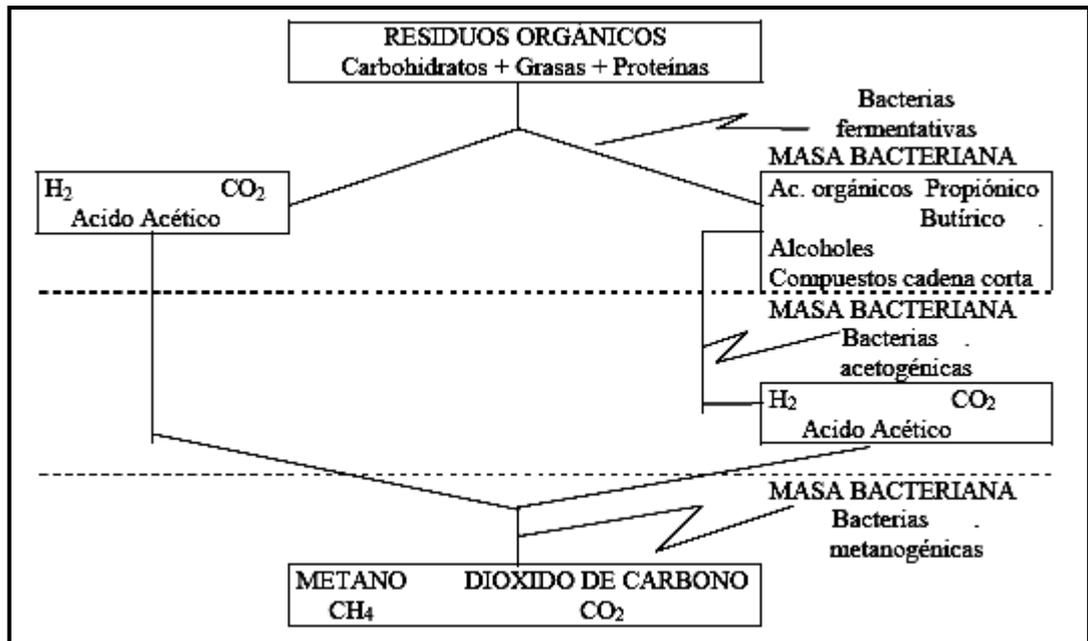
- **Hidrólisis:** en la primera se debe hidrolizar los compuestos de mayor peso molecular, tanto los disueltos como los no disueltos, por medio enzimas (por ejemplo, amilasas y proteasas), en esta primera etapa se hidrolizan polímeros tales como polisacáridos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, formándose los correspondientes oligómeros y monómeros (azúcares, alcoholes, ácidos grasos, glicerol, polipeptidos, aminoácidos, bases púricas, y compuestos aromáticos), (Guevara 1996).
- **Acidogénesis:** La segunda etapa la llevan a cabo bacterias acidogénicas que transforman los oligómeros y monómeros a ácidos grasos volátiles (ácidos: acético, propiónico, butírico y valérico principalmente) Esta etapa se conoce también como fermentativa. Es decir, es un periodo de producción intensiva de ácidos, que se inicia con los alimentos y compuestos de más fácil descomposición, como las grasas, donde hay una alta producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), ácidos orgánicos y bicarbonatos; su pH se encuentra en la zona ácida, con valores entre 5.1 y 6.8 (Guevara 1996).
- **Acetogénicas:** Las bacterias acetogénicas en la tercera etapa transforman a los ácidos grasos volátiles (AGV) a ácido acético, para que a su vez las bacterias metanogénicas acetoclastas. Es decir, es un periodo donde se producen ataques a los ácidos orgánicos y compuestos nitrosos, en pequeñas cantidades hay producción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), nitrógeno e hidrógeno, bicarbonatos y de compuestos amoniacales; se caracteriza por presentar mal olor debido a

la presencia de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ), flotación de gran parte de sus sólidos, y un pH aún en la zona ácida con valores entre 6.6 y 6.8 (Guevara 1996).

- **Metanogénicas:** En la última etapa, los transformen a metano ( $CH_4$ ) y bióxido de carbono ( $CO_2$ ), en esta cuarta etapa participan también las bacterias hidrogenotróficas, que mantienen el equilibrio del hidrógeno ( $H_2$ ) en el medio, utilizándolo para reducir el  $CO_2$  a  $CH_4$ . Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y nitrógeno (Guevara, 1996). Como características del material digerido, están el olor a alquitrán, hay pequeñas cantidades de sólidos flotantes, y el pH se ubica en la zona alcalina, con valores entre 6.9 y 7.4 (Guevara 1996) citado por (Olaya y Gonzalez 2009).

La figura 1, resume las distintas características de cada una de las diferentes etapas mencionadas, en la cual se han agrupado en dos grandes procesos, y se muestran los principales compuestos químicos que en ellos intervienen.

Figura N° 1. Características de las etapas de una digestión anaeróbica.



Fuente: HILBERT, 2003  
Elaboración: HILBERT, 2003

## A.2 Producción de biogás

### A.4.1

El biogás fue descubierto en 1667 y en 1808 Humprey Davy inició la experimentación con él. Para 1884 Pasteur y Gayón reportaron que la fermentación de estiércol producía un gas que podía utilizarse para calentar e iluminar. Por lo que a partir de 1896 el biogás fue usado en el alumbrado de una calle de Exeter, Inglaterra, siendo esta su primera aplicación importante (Cuevas, 2010).

Ésta tecnología ha sido desarrollada principalmente en Asia, dado que es una tecnología de aplicación principalmente rural, ha sido apoyada por muchas ONG, entre ellas destaca la Cooperación Técnica Alemana – GTZ, la cual desarrolló gráficos para la estimación del volumen de generación de biogás (variando entre especies) en base al tiempo de retención hidráulica,

temperatura ambiental, y litros de biogás por kg de estiércol (Cuevas, 2010).

La producción de biogás a partir del estiércol tiene como primer propósito coadyuvar a la reducción de gases que provocan el efecto invernadero del planeta, pero también es una alternativa que permite obtener energía para cubrir las necesidades de granjas pecuarias y resolver problemas como la disposición final de desechos, malos olores, fauna nociva, transmisión de enfermedades y contaminación de mantos freáticos (Olaya y González 2009).

El Biogás es el resultado de la interacción entre microorganismos, principalmente por bacterias metanogénicas que crecen o prosperan en la ausencia de oxígeno ( $O_2$ ), (es decir, fermentación anaeróbica), mediante la descomposición o biodegradan la materia orgánica en un ambiente anaeróbico; este material de fermentación está constituido por sustancias sólidas orgánicas, inorgánicas y agua (el cual incrementa la fluidez del material de fermentación, característica importante para el funcionamiento de una planta de biogás), (Guevara 1996) citado por (Olaya y González 2009).

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano, con una proporción que oscila entre un 50% y un 70%, y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), contiene pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno ( $H_2$ ), nitrógeno ( $N_2$ ), oxígeno ( $O_2$ ) y sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ).<sup>1</sup> El Biogás tiene como promedio un poder calorífico entre 18,8 y 23,4 mega julios por metro cúbico ( $MJ/m^3$ ). Cuando el Biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable. Otros tipo de componente del Biogás son los

gases azufrados tales como sulfuro de hidrógeno, metilmercaptano, disulfuro de carbono, sulfuro de metilo y sulfuro de dimetilo (Empresa de acueducto, 2006) citado por (Rodríguez, 2014)

Cuadro N°1. Características Generales del Biogás

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Composición	55 - 70% METANO (CH <sub>4</sub> ) 30 - 45% Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> ) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 - 6.5 kW h m <sup>-3</sup>
Equivalente de combustible	0.60 - 0.65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Limite de explosion	6- 12% de biogás en el aire
Temperatura de ignicion	650 - 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presion critica	74 - 88 atm
Temperatura critica	(-82.5°C)
Densidad normal	1.2 kg m <sup>-3</sup>
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es impertectible)
Masa molar	16.043 kg kmol <sup>-1</sup>

Fuente: FAO, 2011

Elaboración: Tesista

A través de esta tecnología que procesa el estiércol de los animales, se puede producir combustible (biogás) y abono orgánico (efluente). Este último es un fertilizante de alta calidad y de fácil aplicación, reduciendo así la contaminación generada por el estiércol que de otra manera quedaría expuesto a la intemperie o depositado directamente en el suelo junto a otros

residuos generados en los sistemas agropecuarios, sin ser utilizados eficientemente (Beteta y Gonzalez, 2007).

### **A.2.1 Estimación de biogás diario producido**

Para la detemrinacion de biogas porducido en un sistema de biodigestor es necesario conocer el nivel de sólidos totales y sólidos volátiles

- **Sólidos totales (Kg/m3)**

El porcentaje de sólidos totales contenidos en la mezcla con que se carga el digestor es un factor importante a considerar para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas (Martí, 2008).

Los sólidos totales representan el peso del estiércol una vez seco y por tanto es la carga real de materia sólida que se estará introduciendo en el biodigestor. Cuyo porcentaje se obtiene mediante secado en mufla de la muestra de estiércol a una temperatura de 105+- 5 °C por periodo de 4 horas (Martí, 2008)

$\%ST = \text{peso de muestra secada a } 105^{\circ} / \text{peso de muestra}$

$\text{Kg ST} = \text{kg Carga diaria} * \%ST / \text{volumen líquido del biodigestor}$

Figura N°2. datos promedio de contenido de solidos totales de diversos residuos.

Materias primas	% Sólidos totales
<b>Residuos animales</b>	
Bovinos	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0
Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
<b>Residuos vegetales</b>	
Hojas secas	50.0
Rastrojo maíz	77.0
Paja trigo	88.0 – 90.0
Paja arroz	88.8 – 92.6
Leguminosas (paja)	60.0 – 80.0
Tubérculos (hojas)	10.0 – 20.0
Hortalizas (hojas)	10.0 – 15.0
Aserrín	74.0 – 80.0

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.  
Elaboración: Varnero y Arellano, 1991.

- **Sólidos volátiles (Kg/m<sup>3</sup> día)**

Los sólidos volátiles representan la parte de los sólidos totales del estiércol que están sujetos a pasar a fase gaseosa. El porcentaje de sólidos volátiles se determina mediante incineración en mufla de la muestra a 500+- 5°C de la muestra de sólidos totales (Martí, 2008).

$\% \text{ SV} = \frac{\text{peso de muestra de sólidos totales} - \text{peso de muestra a } 500^{\circ}\text{C}}{\text{peso de sólidos totales}}$

$\text{Kg SV} = \text{ST} * \% \text{ SV}$

- **Producción de biogás (m<sup>3</sup>/KgSV m<sup>3</sup> día)**

La producción de biogás diaria depende de la cantidad de sólidos volátiles que haya en la carga de estiércol.

Por ello, para conocer la producción de biogás es necesario conocer previamente la cantidad de estiércol que se va a introducir diariamente al biodigestor, se debe determinar la cantidad de sólidos totales que hay en el estiércol (multiplicando Kg de estiércol por la producción de sólidos), y a partir de ese resultado, se estima los sólidos volátiles (multiplicando los sólidos totales por 0.77). Conocidos los sólidos volátiles, dependiendo del tipo de estiércol que se esté empleando, la producción de biogás será mayor o menor (Martí, 2008).

Así mismo UPC, 2007, nos indica que con 1 m<sup>3</sup> de biogás diario (1.2 kg aprox.), el tiempo de duración es de tendrás algo de 3-4 horas al día de gas y una producción aproximada de 80 litros al día de biol (Martí, 2008).

Figura N° 3. Producción de biogás por tipo residuo animal

Estiércol	Disponibilidad Kg/día*	Relación C/N	Volumen de biogás	
			m <sup>3</sup> /kg húmedo	m <sup>3</sup> /día/año
Bovino (500 kg)	10.00	25:1	0.04	0.400
Porcino (50 kg)	2.25	13:1	0.06	0.135
Aves (2 kg)	0.18	19:1	0.08	0.014
Ovino (32 kg)	1.50	35:1	0.05	0.075
Caprino (50 kg)	2.00	40:1	0.05	0.100
Equino (450 kg)	10.00	50:1	0.04	0.400
Conejo (3 kg)	0.35	13:1	0.06	0.021
Excretas humanas	0.40	3:1	0.06	0.025

Fuente: Varnero y Arellano, 1991.

Elaboración: Varnero y Arellano, 1991.

### A.3 Descripción del Proceso

Inicialmente la carga (residuos orgánicos previamente recolectados y tratados) se adiciona al digestor por medio de un tanque de carga. La digestión anaerobia tiene lugar en el digestor (tanque sellado) el cual crea las condiciones ideales para que las bacterias fermenten el material

orgánico en condiciones libres de oxígeno. Es posible que el digestor necesite de calentamiento y de agitación para lograr dichas condiciones y para que de esta manera las bacterias conviertan la materia orgánica en biogás. Durante este proceso entre el 30 y 60% de los residuos orgánicos se convierten en biogás (UPME, 2003)

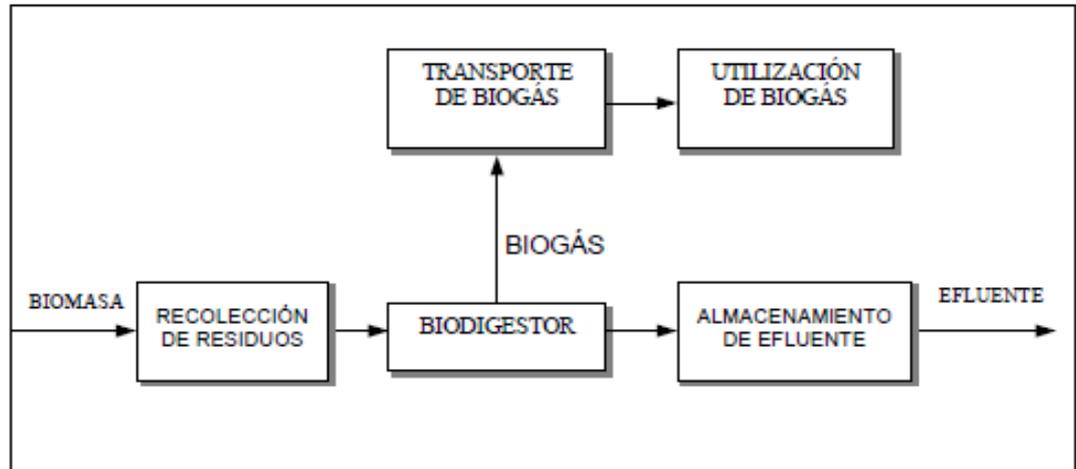
El biogás producido es atrapado en la parte superior del digestor y es removido dejando una tubería por la cual sale el gas colectado. Se utiliza un medidor de gas para monitorear el flujo de gas. Algunas veces se necesita un lavador de gases para limpiar componentes corrosivos contenidos en el biogás como el ácido sulfhídrico. Ya que el espacio de almacenamiento de gas es limitado (Volumen bajo la cubierta), se utiliza un regulador de presión que controla el exceso de presión desde la cubierta. El biogás caliente se enfría a medida que viaja a través de la tubería y que el vapor de agua en el gas se condensa. Un drenaje remueve el condensado producido (UPME, 2003)

Cuando la producción de biogás es continua este puede ser almacenado en un tanque, donde se recomienda su recolección y/o combustión; el biogás se utiliza para generar calor o electricidad o ambos. Otro subproducto de este sistema es el efluente, el cual se puede almacenar para ser utilizado como agua para riego o fertilizante líquido. Como se presenta en la siguiente figura un sistema de biogás se compone de los siguientes subsistemas:

- Sistema de recolección de residuos
- Digestor
- Sistema de almacenamiento del efluente

- Sistema de conducción de biogás
- Equipos o sistemas de utilización del biogás(UPME, 2003)

Figura N° 4. Subsistema de un biodigestor



Fuente: UPME, 2003

Elaboración: UPME, 2003

#### A.4 Tipos de biodigestores

Existen modelos que dependen de, si son de flujo Continuo, Semi-continuo o Discontinuo, por lotes o baches (Rodríguez, 2014).

##### A.4.1 Biodigestores de Flujo Continuo

Como su nombre lo indica, se cargan continuamente, y principalmente tienen la finalidad de tratamiento de aguas negras, así como de producción a gran escala por un suministro muy constante de materia orgánica por lo que requiere el uso de alta tecnología para el calentamiento del sustrato, para el control de la calidad del gas resultante, plantas enteras de desulfuración, grandes compresoras, cadenas de distribución, plantas de almacenamiento, antorcha de desfogue por lo que se entiende que es sobre todo de uso industrial o de grandes granjas (Rodríguez, 2014).

Este tipo de flujo permite que cada porción del residuo que ingresa por un extremo cumpla el tiempo de residencia necesario dentro del biodigestor antes de salir por el otro extremo (Rodríguez, 2014).

#### **A.4.2 Biodigestores de Flujo discontinuo**

Se cargan una vez y quedan cerrados por un tiempo fijo de retención hasta que haya terminado el proceso de fermentación y no haya producción de gas. En esas plantas al comienzo hay mucha masa orgánica y pocas bacterias y al final tienen muchas bacterias y poca masa orgánica. La operación involucra principalmente cargar un biodigestor que permanecerá cerrado con sustrato, un inoculante y en algunos casos, una base para mantener el pH casi neutral. El digestor es sellado, y la fermentación se realiza entre 30 y 180 días, dependiendo de la temperatura ambiente. Durante este período, la producción de gas aumenta paulatinamente hasta un máximo y luego declina. Esta fermentación se puede realizar con un contenido de sólidos orgánicos de 6 a 10%, (UPME, 2003).

#### **A.4.3 Biodigestores semi continuo**

Se cargan en lapsos cortos como de 12 horas, 1 vez al día, o cada dos días, se utiliza cuando la disponibilidad de materia orgánica es constante en los días. Los principales, son el Hindú, el Chino, y el Taiwanés, cada uno con ventajas y desventajas, como si se quiere aprovechar más el Biogás, o el biol, si se quiere usarlo para fines sanitarios o de producción, diversas ventajas que veremos más adelante (Rodríguez, 2014).

Entre las principales características de los biodigestores los hay de cúpula o tambor; horizontales o verticales; según la tasa de descarga; según el tiempo de retención hidráulico; según el tipo de material y según el material de alimentación (Rodríguez, 2014).

Cuadro N°2. Ventajas y desventajas de los modelos de biodigestores

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Biodigestor Hindú de Tambor o Campana flotante	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite medir nivel del Biogás.</li> <li>• El manejo sencillo.</li> </ul>	<p>(Uso de impermeabilizantes, sellantes para líquidos y gases, aislante térmico y anticorrosivo)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede afectar alguna capa freática.</li> <li>• Variable capacidad de soportar cargas estáticas y dinámicas</li> <li>• Uso de contrapesos sobre acampana para mantener presión constante.</li> </ul>
Fija Biodigestor Chino de Domo o Cúpula	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menos mantenimiento.</li> <li>• Vida útil alrededor de 20 años.</li> <li>• Protegida contra bajas temperaturas.</li> <li>• No posee partes móviles</li> <li>• No posee partes metálicas oxidables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Presión no es constante.</li> <li>• Alto riesgo de daño la estructura</li> <li>• Materiales de alta calidad costosos.</li> <li>• Mano de obra calificada y costosa.</li> <li>• Mantenimiento sistemático.</li> </ul>

Biodigestor de Alta Velocidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evita formación de costra.</li> <li>• Más eficiente mediante el incremento de la T°.</li> <li>• Fácil mantenimiento.</li> <li>• Altas capacidades de contenido.</li> <li>• Muy compacto.</li> <li>• Limpieza automática.</li> <li>• Bajo gasto de mantenimiento.</li> <li>• T° y degradación uniforme.</li> <li>• Menor tiempo de retención</li> <li>• Eficiente en digestión de aguas residuales.</li> <li>• Impide concentraciones de material toxico para el Sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos costos de construcción y mantenimiento debido a tecnología que puede incorporar.</li> <li>• Requiere de personal idóneo</li> </ul>
Biodigestor Taiwanés o Balón Flexible	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistente eventos telúricos.</li> <li>• Hermético y flexible</li> <li>• Reducen pérdidas.</li> <li>• Acción de carga y descarga no requiere pausar.</li> <li>• Alta durabilidad respecto a los otros tipos de digestores.</li> <li>• Fácil y bajo gasto de mantenimiento y/o reparación.</li> <li>• Permite medir el volumen del Biogás.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Susceptible a perforaciones.</li> <li>• Tiempo de vida de 3 años, sin protección.</li> <li>• Requiere instalaciones de seguridad.</li> <li>• Costos de inversión en infraestructura de protección.</li> <li>• La presión no es constante</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vida alrededor de 20 años con protección.</li> <li>• Puede ser protegido contra bajas temperaturas</li> <li>• Altas capacidades de contenido.</li> <li>• Muy compacto.</li> <li>• La presión del Biogás puede ser corregida.</li> </ul>	

### A.5 Componentes generales de una planta de biogás

- **Tubería de entrada:** La suspensión se mueve en el digestor a través de la entrada de la tubería al tanque (Rodríguez, 2014).
- **Tanque de mezclado:** la materia prima como el estiércol se recoge en el tanque de mezcla. Con el uso de agua suficiente, el material se mezcla a fondo hasta que se forma una suspensión homogénea.
- **Digestor:** en el interior del digestor, la suspensión se fermenta. El Biogás se produce a través de la acción bacteriana (Rodríguez, 2014).
- **Gasómetro o domo de almacenamiento de Biogás:** el Biogás formado, consigue así ser recogido en el contenedor de Biogás. Se mantiene el Biogás hasta el momento en que se transporta para el consumo (Rodríguez, 2014).
- **Tubo de salida:** La suspensión se descarga en el tanque de salida. Esto se hace a través de la tubería de salida o la abertura en el digestor (Rodríguez, 2014).
- **Gasoducto:** El gasoducto transporta el Biogás hasta el punto de utilización como una estufa o una lámpara (Rodríguez, 2014).

### A.6 Factores que influyen en la producción de gas

La actividad metabólica involucrada en el proceso metanogénico se ve afectada por diversos factores. Debido a que cada grupo de bacterias intervinientes en las distintas etapas del proceso responde en forma diferencial a esos cambios no es posible dar valores cualitativos sobre el grado que afecta cada uno de ellos a la producción de gas en forma precisa (Cuevas, 2010).

Entre los factores más importantes a tenerse en cuenta se desarrollarán los siguientes:

- Tipo de materia prima (nutrientes disponibles)
- Temperatura del sustrato
- Carga volumétrica
- Tiempo de retención
- Valor de acidez (pH)
- Relación Carbono/Nitrógeno
- Niveles de amoníaco
- Contenido de agua de la mezcla
- Sólidos totales y volátiles (Cuevas, 2010).

#### **A.6.1 Tipo de materia prima**

Las materias primas fermentables incluyen dentro de un amplio espectro a los excrementos animales y humanos, aguas residuales orgánicas de las industrias (producción de alcohol, procesado de frutas, verduras, lácteos, carnes, alimenticias en general), restos de cosechas y basuras de diferentes tipos, como los efluentes de determinadas industrias químicas (Cuevas, 2010).

El proceso microbiológico no solo requiere de fuentes de carbono y nitrógeno sino que también deben estar presentes en un cierto equilibrio sales minerales (azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel y otros menores) (Cuevas, 2010)..

Así mismo, todos los residuos orgánicos (basura de cocina, restos vegetales y animales, aguas servidas, aserrines y virutas, bosta y

excrementos) son adecuados para ser fermentados anaerobicamente, siempre que exista la tecnología adecuada para su aprovechamiento. El biodigestor debe ser alimentado (Beteta y Gonzalez, 2007).

La relación agua/estiércol que se adiciona al biodigestor varía en dependencia de la especie animal. Por ejemplo, el estiércol del ganado bovino requiere mayor cantidad de agua por kilogramo de material para que las bacterias trabajen mejor y evitar que el material no se solidifique dentro del biodigestor. Por el contrario, el estiércol de cerdo requiere menor cantidad de agua ya que es más metanogénico y las bacterias trabajan o procesan mas rápido el material (Beteta y Gonzalez, 2007).

Considerando que el estiércol tiene un promedio de 20% de materia seca, la proporción de agua y estiércol que se recomienda es de cuatro partes de agua por una parte de estiércol (relación 4:1). La proporción puede ser hasta de 10 partes de agua por 1 de estiércol, dependiendo del número de animales y de la especie. La cantidad y composición del estiércol producido por las diferentes especies animales varía con el peso del animal, la cantidad y la calidad del alimento que consume. En la tabla a continuación se presentan valores promedio de producción de estiércol de acuerdo al tipo de especie animal (Beteta y Gonzalez, 2007).

Cuadro N°3. Produccion de estiercol de acuerdo a la especie animal

<b>Especie animal</b>	<b>Estiércol producido (kg/100 kg de peso vivo)</b>
Bovinos para carne o doble propósito	6
Bovinos lecheros	8
Equino, mular o asnal	7

Oveja o cabra	4
Cerdo	4
Conejo o Cuy	3

Fuente: CVC et. al., 1987

Elaboración: Tesista

El estiércol se puede aprovechar por su contenido en minerales y porcentaje de humedad. La diferencia con otras especies aparece en el siguiente cuadro:

Cuadro N°4. Características de estiércol por tipo de animal

Especie	% Humedad	% Nitrógeno	% Fósforo	% Potasio
Cuy	30	1,90	0,80	0,90
Caballo	59	0,70	0,25	0,77
Vacuno	79	0,78	0,23	0,62
Ave	55	1,00	0,80	0,39
Cerdo	74	0,49	0,34	0,47

Fuente: ORDÓÑEZ, 2003.

Elaboración: ORDÓÑEZ, 2003

De acuerdo con el INIA, el estiércol de cuy concentra mayor cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio, componentes que son los que mayormente utilizan las plantas. Su bajo nivel de humedad lo hace más duradero, las propiedades y los beneficios del cuy pueden ser desarrollados y aprovechados por los productores con el fin de mejorar el rendimiento de la crianza. El máximo aprovechamiento de cuy ya es materia de investigación en los centros de estudio agroindustrial nacionales y privados, así como en las principales universidades en el país. (Ordóñez, 2003).

#### **A.6.2 Temperatura del sustrato**

Para que se inicie el proceso se necesita una temperatura mínima de 4° a 5° C y no se debe sobrepasar una máxima de alrededor de 70°C . Se realiza generalmente una diferenciación en tres rangos de temperatura de acuerdo al tipo de bacterias que predominan en cada una de ellas.

Cuadro N°5. Rango de temperatura para las bacterias

<b>Bacterias</b>	<b>Rango de temperaturas</b>	<b>Sensibilidad</b>
Psicrofílicas	menos de 20°C	± 2°C/hora
Mesofílicas	entre 20°C y 40°C	± 1°C/hora
Termofílicas	más de 40°C	± 0,5°C/hora

Fuente: CUEVAS, 2010.

Elaboración: Tesista

La actividad biológica y por lo tanto la producción de gas aumenta con la temperatura. Al mismo tiempo se deberá tener en cuenta que al no generar calor el proceso la temperatura deberá ser lograda y mantenida mediante energía exterior. El cuidado en el mantenimiento también debe extremarse a medida que aumentamos la temperatura, dada la mayor sensibilidad que presentan (Cuevas, 2010).

La temperatura está íntimamente relacionada con los tiempos que debe permanecer la biomasa dentro del digestor para completar su degradación (Tiempo de retención Hidráulica, TRH). A medida que se aumenta la temperatura disminuyen los tiempos de retención y en consecuencia se necesitará un menor volumen de reactor para digerir una misma cantidad de biomasa (Cuevas, 2010).

### **A.6.3 Carga volumétrica**

Con este término se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor. Este valor tiene una relación de tipo inversa con el tiempo de retención, dado que a medida que se incrementa la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención (Cuevas, 2010).

Existen diferentes formas de expresar este parámetro siendo los más usuales los siguientes: kg de material/día; kg de materia seca/día; kg de sólidos volátiles/día todos expresados por metro cúbico de digestor.

Las cantidades de sólidos y sólidos volátiles se extraen afectando a las cantidades en Kg. de material cargado con los porcentajes de sólidos o sólidos volátiles que se obtiene por análisis. (Porcentaje de sólidos sometiendo al sustrato a desecación, 105°C hasta peso constante y extrayendo el siguiente coeficiente:  $(\text{peso húmedo} - \text{peso seco})/\text{peso húmedo}$ . El porcentaje de sólidos volátiles se obtiene sometiendo la muestra seca a la mufla, 560°C durante tres horas y extrayendo el siguiente coeficiente (Cuevas, 2010).

#### **A.6.4 Tiempos de retención**

El tiempo de retención es definido como el periodo de tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación (Cuevas, 2010).

Este parámetro sólo puede ser claramente definido en los “sistemas discontinuos o batch” donde el T.R. coincide con el tiempo de permanencia del sustrato dentro del digestor (Cuevas, 2010).

En los digestores continuos y semicontinuos el tiempo de retención se define como el valor en días del cociente entre el volumen del digestor y el volumen de carga diaria (Cuevas, 2010).

De acuerdo al diseño del reactor, el mezclado y la forma de extracción de los efluentes pueden existir variables diferencias entre los tiempos de retención de líquidos y sólidos debido a lo cual suelen determinarse ambos valores (Cuevas, 2010).

El T.R. está íntimamente ligado con dos factores: el tipo de sustrato y la temperatura del mismo (Cuevas, 2010).

La selección de una mayor temperatura implicará una disminución en los tiempos de retención requeridos y consecuentemente serán menores los volúmenes de reactor necesarios para digerir un determinado volumen de material (Cuevas, 2010).

#### **A.6.5 Valor de acidez (pH)**

Está en función de la concentración de CO<sub>2</sub> en el gas, de la concentración de ácidos volátiles y de la propia alcalinidad de la materia prima (GTZ-CVCOEKOTOP,1987). Las bacterias responsables del mecanismo de producción de biogás son altamente sensibles a cambios en el pH, oscilando entre 6 y 8 (es deseable un valor entre 7 y 7.2) (GTZ-CVC-OEKOTOP 1987). El pH del lodo de fermentación indica si el proceso de fermentación transcurre sin problemas, y su medición indica el comportamiento de la carga de fermentación dentro del digestor, para la producción de biogás, como es mostrado en el cuadro 6 (GTZ-CVCOEKOTOP, 1987).

Cuadro N°6. Comportamiento de la carga de fermentación dentro del biodigestor, de acuerdo con el valor de Ph.

<b>pH</b>	<b>Comportamiento</b>
7 - 7.2	Optimo
6.2	Retarda la acidificación
7.6	Retarda la amonización

Fuente: GTZ-CVC-OEKOTOP 1987.  
Elaboración: Tesista

### A.6.6 Relación carbono – nitrógeno (C/N)

Los materiales de fermentación están compuestos en su mayor parte por carbono (C) y también contienen nitrógeno (N), entonces se establece la relación entre ellos (C/N), la cual influye sobre la producción de gas (Alcayaga et al. 1999). Una relación de 20:1 hasta 30:1 es aceptable (Alcayaga et al. 1999), aunque el valor ideal es de 16 (Corace et al. 2006); mezclas de materiales de fermentación con alto contenido de nitrógeno (como por ejemplo, el estiércol de gallina) con material de fermentación con alto contenido de carbono (como el tamo de arroz) generan una elevada producción de gas (Alcayaga et al. 1999).

Para conseguir un buen rendimiento de gas en forma constante durante la fermentación, se deben combinar proporciones adecuadas de materiales con bajo y alto rendimientos y diferentes velocidades de generación; la relación C/N de la combinación puede ser calculada como (Guevara, 1996).

$$K = \frac{\sum C_i X_i}{\sum N_i X_i}$$

Donde, K es la relación C/N de la combinación de materias escogidas para la carga, N es el porcentaje de nitrógeno de la materia i, C es el porcentaje de Carbono de la materia i, y X es el peso de la materia i. (OLAYA Y GONZALEZ, 2009).

### A.6.7 Niveles de amoniaco

Este parámetro es importante cuando se utilizan determinados materiales que contienen un alto porcentaje, como es el caso de los estiércoles de aves (Álvarez et al., 2009). Se recomienda que los niveles dentro de los

digestores se mantengan por debajo de los 2000 mg/l, para lo cual se aumentan las diluciones de entrada del material (Álvarez et al.,2009) citado por (Olaya y Gonzalez, 2009).

#### **A.6.8 Contenido de agua de la mezcla**

Las bacterias y otros microorganismos no pueden funcionar efectivamente cuando el contenido de agua de la mezcla es demasiado bajo, y la cantidad de biogás producido será pequeña (Álvarez et al.,2009f). Cuando la mezcla es demasiado diluida, se puede digerir relativamente poca materia orgánica y la producción del biogás es limitada (Álvarez et al.,2009). El uso primordialmente de excreta humana y orines, estiércol, y desechos de agricultura, como alimento para el digestor, deberá conllevar a una razón de biomasa a agua entre 1:1 y 1:2; y por cada 100 Kg de heces y orina, se requerirán entre 100 y 200 litros de agua (Álvarez et al.,sf). Cuando el material de alimento consta principalmente de residuos vegetales, se requiere más agua, en una razón de 1:3 o 1: 4 (Álvarez et al.,2009).La actividad de mezclar, debe realizarse en forma adecuada y uniforme en el tanque del digestor para promover una digestión efectiva, especialmente si se utiliza biomasa cruda con alto contenido leñoso (Álvarez et al.,2009) citado (Olaya y Gonzalez, 2009).

#### **A.7 Ventajas del Biogás**

Dado que el deterioro del medio ambiente ha venido creciendo cada vez más, urge buscar alternativas de reciclaje del estiércol de los animales, principalmente el proveniente de los cerdos, el que por sus componentes tiene mayor poder contaminante y es más difícil de degradar (Cuevas, 2010).

Las ventajas que se obtienen con la recuperación de los residuos. Podemos resumir este apartado diciendo que fundamentalmente se obtienen tres ventajas en la recuperación de los residuos por el proceso de biofermentación, se resume en los siguientes, (Cuevas, 2010).

#### **A.7.1 Recuperación energética inmediata y como consecuencia económica.**

Considerando la primera ventaja tenemos la producción de "Biogas o metano" cuyo poder calorífico aproximado es de 6000 Kcal/Nm<sup>3</sup> siempre dependiendo de la relación CH<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub>, el cual puede ser utilizado como combustible en la cocción de alimentos, producción de energía eléctrica, mecánica (motores de combustión interna), entre otros (Cuevas, 2010).

La producción de Biogas; puede variar según las características del residuo sometido a proceso, pero para un estiércol de conejo podemos decir que es posible aprovechar de 100 a 130 m<sup>3</sup> de gas por tonelada de estiércol, las diferencias en la producción son debidas al contenido de fibra en el pienso utilizado como alimentación de los animales (Cuevas, 2010).

La consecuencia inmediata de esta recuperación es que el Biogas o metano; es un excelente combustible y puede utilizarse directamente en todos los aparatos que consumen gas, ya sean aparatos domésticos o industriales, aunque en algunos casos es preciso adoptar ciertas modificaciones, (Cuevas, 2010).

Como dato orientativo podemos decir que 1m<sup>3</sup> de gas metano equivale a 0,7 litros de gasolina; de la misma forma para generadores de cierta potencia, 1m<sup>3</sup> de gas puede generar del orden de 1,8 a 1,9 Kw/h (Cuevas, 2010).

### **A.7.2 Depuración ambiental y ecológica.**

De todos es sabido que los residuos ganaderos y los estiércoles provocan graves problemas sanitarios y ecológicos, aumenta el número de insectos que son portadores de virus y enfermedades contagiosas, se contaminan ríos, y manantiales, y no digamos los malos olores que provocan en el entorno (Cuevas, 2010).

Reducen la contaminación ambiental al convertir en residuos útiles las excretas de origen animal, aumentando la protección del suelo, de las fuentes de agua, de la pureza del aire y del bosque. Dichas excretas contienen microorganismos patógenos, larvas, huevos, pupas de invertebrados que de otro modo podrían convertirse en plagas y enfermedades para las plantas cultivadas. (Beteta y Gonzalez, 2007)

Se reduce el riesgo de transmisión de enfermedades (Mc Garry y Stainforth, 1978), ya que al reciclar en conjunto las excretas animales y humanas en biodigestores que operan en rangos de temperatura interna entre 30 °C y 35 °C es posible destruir hasta el 95% de los huevos de parásitos y casi todas las bacterias y protozoarios causantes de enfermedades gastrointestinales. (Beteta y Gonzalez, 2007)

### **A.7.3 Fertilizantes de gran calidad.**

En el proceso de fermentación se remueven sólo los gases generados ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) que representan del 5% a 10% del volumen total del material de carga. Se conservan en el efluente todos los nutrientes originales (N, P, K) contenidos en la materia prima, que son esenciales para las plantas. Lo anterior lo convierte en un valioso abono orgánico,

prácticamente libre de olores, patógenos, y de fácil aplicación (Arteaga, 2009).

El proceso de degradación de la materia orgánica se lleva hasta convertirse en abono orgánico o biol, requiere de un periodo de tiempo conocido como tiempo de retención. De acuerdo a las condiciones climáticas este tiempo puede ir variando, dado que la actividad microbiana depende mucho de la temperatura, en climas tropicales se estima un tiempo mínimo de 25 a 30 días, mientras que en zonas altoandinas se recomienda un mínimo de 60 días (siempre teniendo en cuenta que el biodigestor debe estar protegido del frío para que las bacterias anaeróbicas puedan desarrollarse) (Arteaga, 2009).

Este tiempo de retención permitirá la completa degradación de la materia orgánica, la estabilización del pH y la eliminación de microorganismos patógenos dada las temperaturas a las cuales se produce esta degradación (Arteaga, 2009).

Ventajas de su uso:

- El efluente lleva parte de sus nutrientes en forma no disponible de inmediato para las plantas, es decir, los libera paulatinamente mediante ciertos procesos de descomposición de materia orgánica. De esta forma, la nutrición es lenta, pero continua.
- Aumenta el contenido del humus del suelo, el cual mejora la estructura y la textura del terreno, facilita la aireación, la rata de formación de depósitos de nutrientes, y la capacidad de retención e infiltración del agua.
- Permite el ahorro de la cantidad de otros abonos convencionales sin disminución de la producción.

- Presenta incrementos de la producción, al compararla con la de suelos no abonados.
- Particularmente en el caso de las excretas de cuy, en cuanto al valor del biofertilizante, la pareja peruana Felipe-Morales y Moreno (2005) señalan que “por otro lado, obtenemos de manera constante bioabono líquido o biol, que no sólo es un excelente abono orgánico para nuestros cultivos, sino que, por su contenido de fitohormonas, es un valioso activador del crecimiento y floración de las plantas, en particular de los frutales.

#### Formas de aplicación:

- Efluente líquido: Presenta ventajas como la alta disponibilidad de nutrientes y la buena absorción por parte de las plantas, puede aplicarse inmediatamente sale del biodigestor, o almacenarse en tanques tapados por un periodo no mayor a 4 semanas, para evitar grandes pérdidas de nitrógeno (Arteaga, 2009).
- Efluente compostado: Otra manera de manejar el efluente es agregándole material verde (i.e. desechos de forraje de establo) y compostándolo, este método produce pérdidas de nitrógeno del 30% al 70%, pero tiene la ventaja de que el producto final es compacto, en forma de tierra negra, lo que facilita el transporte y aplicación (Arteaga, 2009).
- Efluente seco: El resultado del secado es una pérdida casi total del nitrógeno orgánico (i.e., cerca del 90%), lo que equivale al 5 % del nitrógeno total. Las producciones observadas en cultivos al utilizar el efluente seco son las mismas que al usar estiércol seco almacenado, este procedimiento se recomienda

cuando se vayan a fertilizar grandes áreas, o la distancia a cultivos sea largo y difícil, (Arteaga, 2009).

## **B. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

### **B.1. Descripción de aguas residuales domesticas (ARD).**

El tratamiento de las aguas residuales domiciliarias debe ser entendido, como una necesidad, a fin de mantener condiciones adecuadas de salud e higiene para la población, conservar la calidad de las fuentes de agua y propender a un uso racional y sustentable de los recursos acuáticos. (Osnaya, 2012)

Las aguas residuales crudas son las aguas procedentes de usos domésticos, comerciales, agropecuarios y de procesos industriales, o una combinación de ellas, sin tratamiento posterior a su uso (Dionisio, 2012).

### **B.2. Composición, características fisicoquímicas y biológicas del agua residual.**

Según Van Haandel y Lettinga (1998), los constituyentes más importantes de los residuos líquidos confieren al agua residual propiedades físicas, químicas o biológicas indeseables. La composición y la concentración de estos constituyentes dependerán hasta cierto punto de las costumbres socio-económicas de la población contribuyente. Según Alaerts (1995), la composición del agua residual está determinada por el caudal y por su fuente citado por (Dionisio, 2012).

Las aguas residuales consisten básicamente en: agua, sólidos disueltos y sólidos en suspensión. Los sólidos son la fracción más pequeña (representan menos del 0.1 % en peso), pero representa el mayor problema

a nivel del tratamiento. El agua provee sólo el volumen y el transporte de los sólidos (Sterling, 1995), citado por (Dionisio, 2012).

### **B.3. Descripción del sistema de tratamiento de aguas residuales.**

El tratamiento de aguas residuales (o agua servida, doméstica, etc.) incorpora procesos físicos Químicos y biológicos, que tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos introducidos por el uso humano cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratado) o reutilizable al ambiente, y un residuo sólido o lodo que con un proceso adecuado sirve como fertilizante orgánico para la agricultura o jardinería (MINCETUR, 2008).

Las aguas residuales pueden ser tratadas dentro del terreno del hospedaje (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) y en caso de zonas comunales, éstas son llevadas mediante una red de tuberías y eventualmente pueden utilizar bombas para ser trasladados a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetos a regulaciones locales y sectoriales (regulaciones y controles), (MINCETUR, 2008).

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- **Tratamiento primario:** Es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos; es decir el proceso de asentamiento de los sólidos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, por esa razón es conocido también como tratamiento mecánico (MINCETUR, 2008).

- **Tratamiento secundario:** Es designado para degradar el contenido biológico de las aguas RESIDUALES que se derivan desperdicios generados por el hombre (desechos fecales, orines, residuos de comida, jabones y detergentes); es decir el tratamiento biológico de sólidos flotantes y sedimentados, (MINCETUR, 2008).
- **Tratamiento terciario:** Etapa final que permite aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.); es decir son pasos adicionales al tratamiento (micro-filtración o desinfección). Se puede utilizar más de un proceso terciario de tratamiento en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, este proceso se denomina “pulir el efluente” (MINCETUR, 2008).

#### **B.4. Descripción de tratamiento aerobio**

El proceso aerobio se caracteriza porque la descomposición de la materia orgánica (MO) se lleva a cabo en una masa de agua que contiene oxígeno disuelto (OD). En este proceso participan bacterias aerobias o facultativas. El desdoblamiento de la MO es realizado, a través de procesos bioquímicos con la Intervención de enzimas producidas por las bacterias en sus procesos vitales (Moscoso y León, 1996).

Las comunidades microbianas aerobias tienen muchas ventajas específicas: tienen potenciales de energía libre altos, permitiendo que se operen una variedad de mecanismos bioquímicos paralelos. Estas comunidades son capaces de trabajar con bajos niveles de sustrato, condiciones medio ambientales variables y una multitud de químicos diferentes en el afluente (Vochten et al., 1988) citado por (Dionisio, 2012).

### **B.5. Descripción de humedal**

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración que permitan mantener saturado el terreno. Suelen tener aguas con profundidades inferiores a 60 cm, con plantas emergentes tales como espadañas, carrizos y juncos. La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar (Borrero, 1999).

### **B.6. Descripción de humedal artificial**

Los sistemas diseñados para imitar las características y procesos (físicos, químicos y biológicos) de un humedal natural son comúnmente conocidos como “humedales artificiales” o “humedales construidos”. Los humedales artificiales son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer un mejoramiento ambiental (Osnaya, 2012).

El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de plantas acuáticas (macrófitas) enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado, poco profundo (normalmente menos de 1 m de profundidad). La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente (Delgadillo *et al.*, 2010).

Los humedales artificiales, al igual que los naturales, pueden reducir una amplia gama de contaminantes del agua tales como: sólidos en suspensión DBO, nutrientes, metales, patógenos y otros productos químicos. Esta eliminación se da por una variedad de procesos que incluyen la sedimentación, filtración, metabolismo microbiano (aeróbico y anaeróbico), absorción de la planta y respiración. La principal diferencia entre un humedal natural y un humedal artificial es que éste último permite el tratamiento de aguas residuales bajo diseños que se basan en objetos específicos de calidad del efluente (Osnaya, 2012).

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos:

- La actividad bioquímica de los microorganismos.
- El aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día.
- El apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de las plantas, además de funcionar como material filtrante (Osnaya, 2012).

Los Humedales Artificiales (HHAA) modernos pueden ser utilizados para las siguientes aplicaciones:

- Tratamiento de aguas residuales municipales
- Tratamiento de agua residuales domésticas (descentralizadas)
- Tratamiento de aguas grises
- Pre-tratamiento de aguas residuales crudas (“Sistema Francés”)
- Tratamiento terciario de efluentes pre-tratados en plantas convencionales de aguas residuales
- Tratamiento de aguas residuales industriales

- Tratamiento y retención de aguas pluviales
- Tratamiento natural de ríos y lagos contaminados
- Deshidratación de lodo y minerales
- Tratamiento natural de agua de piscinas (Hoffman, 2011) citado por (Delgado, 2011).

### **B.7. Clasificación de los humedales artificiales**

Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres, considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

***Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes:***

principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema (Delgadillo et al., 2010).

***Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas:***

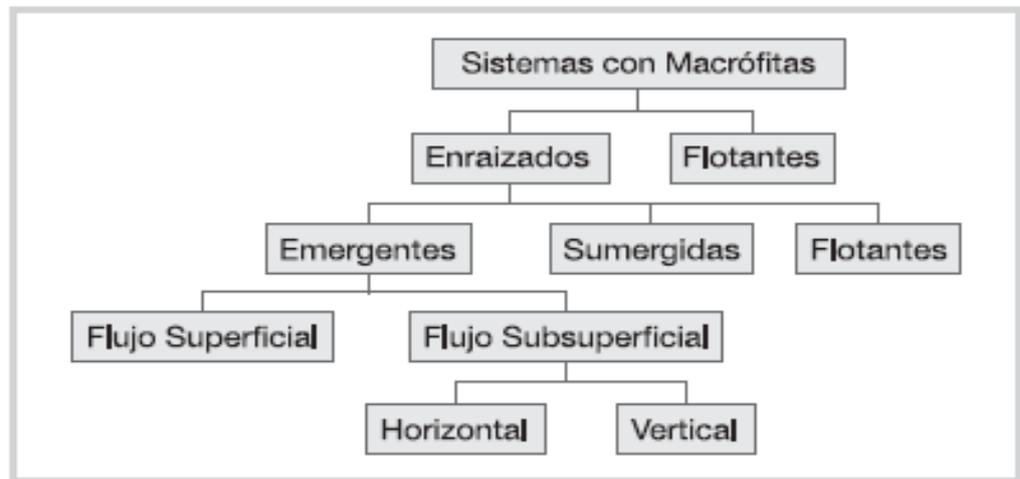
comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos (Delgadillo et al., 2010).

***Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas***

***emergentes:*** en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos.

Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal (Delgadillo et al., 2010).

Figura N° 5. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas



Fuente: DELGADILLO et al., 2010

Elaboración: Delgadillo et al., 2010

En la siguiente tabla, se muestran los diferentes procesos que suceden en los tipos de humedal de flujo libre y humedal de flujo subsuperficial. Donde se observa que aunque ocurren los mismos procesos en la degradación de ciertos contaminantes como la materia en suspensión y la DBO, no ocurre lo mismo en la eliminación del fósforo, nitrógeno y patógenos (Delgadillo et al., 2010).

Cuadro N°7. Procesos que contribuyen a la depuración de las aguas residuales según el tipo de Humedal.

<b>Contaminantes</b>	<b>Humedal de flujo libre o superficial</b>	<b>Humedal de flujo subsuperficial</b>
Materia orgánica	Reducción de la DBO soluble por conversión biológica por efecto de bacterias aerobias que crecen en la superficie de las plantas y sobre los detritos. La DBO particulada se elimina por absorción, por filtración y por sedimentación.	Reducción por conversión biológica por intervención de bacterias facultativas y anaerobias adheridas a las superficies de las plantas y los detritos del medio de relleno del humedal
Materia en suspensión	Filtración y sedimentación	Filtración y sedimentación
Nitrógeno	Procesos de nitrificación / desnitrificación, asimilación por las plantas y volatilización.	Por filtración, sedimentación, adsorción, por asimilación por parte de las plantas y microorganismos.
Fósforo	Reducción por sedimentación y por asimilación por medio de las plantas y microorganismos.	Por filtración, sedimentación, adsorción, por asimilación por parte de las plantas y microorganismos.
Metales pesados	Absorción a las plantas, superficie de detritos y por sedimentación.	Absorción a las raíces de las plantas y los detritos, sedimentación.
Trazas de contaminantes orgánicos	Volatilización, absorción, biodegradación.	Absorción, biodegradación.

Patógenos	Muerte natural, depredación, radiación UV, sedimentación. Secreción de antibióticos de las raíces de las plantas.	Por muerte natural, por depredación, sedimentación, secreción de antibióticos des de las raíces de las plantas.
-----------	--	---

Fuente: CRITES, R. 2010.  
Elaboración: Tesista

### **B.7.1 Humedales artificiales de flujo superficial**

Los sistemas de flujo superficial (conocidos en inglés como surface flow constructed wetlands o free water surface constructed wetlands) son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera. Este tipo de humedales es una modificación al sistema de lagunas convencionales. A diferencia de éstas, tienen menor profundidad (no más de 0,6 m) y tienen plantas, (Delgadillo et al., 2010)

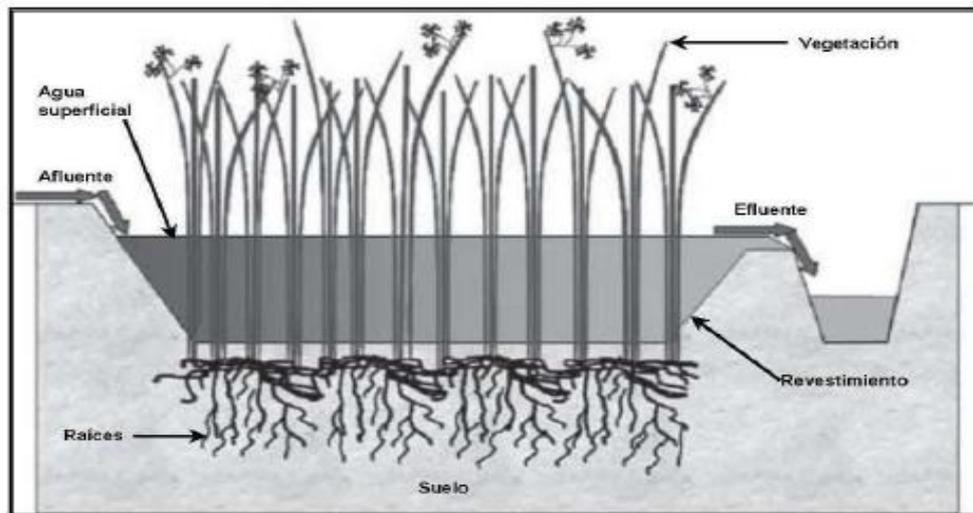
La vegetación más usada para los humedales de flujo libre incluye éneas, carrizos, juncias y juncos, es común que sólo se seleccionen una o dos especies para la siembra. El agua residual normalmente se alimenta en forma continua y el tratamiento se produce durante la circulación del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación emergente, en algunos casos, el agua se pierde completamente por evapotranspiración y percolación en el humedal (Espinosa, 2014).

A los sistemas de flujo superficial normalmente se les alimenta agua residual pretratada, con algún tipo de tratamiento físico, de forma continua, siendo utilizados principalmente para tratamientos terciarios y, en algunos casos, para secundarios (Espinosa, 2014).

Además de las aguas residuales domésticas, los sistemas de flujo superficial son usados para tratamiento del drenaje de minas, escorrentía pluvial urbana, desbordes de drenajes combinados, escorrentía agrícola, desechos ganaderos y avícolas, lixiviados de rellenos sanitarios y para efectos de mitigación (Espinosa, 2014).

En su mayor parte, sin embargo, la tecnología de flujo superficial ha sido utilizada por pequeñas y medianas comunidades que van desde 5.000 a 50.000 habitantes. En términos de paisaje, este sistema es bastante recomendable por su capacidad de albergar distintas especies de peces, anfibios, aves, etcétera (Espinosa, 2014).

Figura N° 6. Esquema de un humedal artificial de flujo superficial



Fuente: ESPINOSA, 2014

Cuadro N°8. Ventajas y desventajas de un sistema de humedal artificial de flujo superficial.

Ventajas	Desventajas
Proporcionan tratamiento en forma efectiva y pasiva. Además minimizan la necesidad de equipos mecánicos,	Las necesidades de terreno de estos humedales pueden ser grandes, especialmente si se requiere la remoción de nitrógeno.

electricidad y monitoreo por parte de personal especializado.	
Pueden ser menos costosos de construir, operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento.	El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos, permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
La operación a nivel de tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los climas fríos. La operación a nivel de tratamiento terciario avanzado es posible durante todo el año en climas cálidos o semicálidos.	En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO y de las reacciones biológicas responsables por la nitrificación y desnitrificación.
Proporcionan la incorporación de hábitat de vida silvestre y oportunidades para la recreación pública.	La mayoría del agua contenida en los humedales de flujo libre es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco.
No producen biosólidos ni lodos residuales que requieran tratamiento subsiguiente y disposición.	Los mosquitos y otros insectos vectores de enfermedades pueden ser un problema.
La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención.	

Fuente: ESPINOSA, 2014

Elaboración: Tesista

### **B.7.2 Humedales de flujo subsuperficial**

Los sistemas de flujo subsuperficial (conocidos en inglés como subsurface flow constructed wetlands), se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos: (a) en función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y (b) humedales de flujo subsuperficial vertical (Delgadillo *et al.*, 2010).

Durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. La zona aerobia se encuentra muy cercana a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. Por tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el rendimiento del sistema. Este hecho hace que el área requerida sea menor que en los humedales de flujo superficial pero con un mayor costo debido al uso de una mayor cantidad de medio poroso. Además, con este sistema, se evitan problemas como posibles plagas de insectos, olores y, en climas fríos, aportan una mayor protección térmica (Espinosa, 2014).

Tiene especial importancia en este tipo de sistemas que se lleve a cabo un tratamiento previo de las aguas residuales para remover sólidos gruesos, con la finalidad de evitar problemas de obstrucción al medio de soporte

granular y la consecuente afectación que esto pueda tener sobre el funcionamiento del sistema (Osnaya, 2012).

La Dra. Von Münch señala, como diferencia entre ambos diseños, que “el tratamiento vertical depende del intervalo en que se entrega la carga (de 4 a 8 veces al día) y que los humedales de Flujo Horizontal (FH) se alimentan de un flujo constante. (...) Los humedales de flujo horizontal necesitan más área que los humedales de flujo vertical y no son recomendados en climas cálidos debido a sus elevadas tasas de evaporación, aunque podría ser una opción interesante para el tratamiento de aguas grises con baja carga orgánica” (Delgado, 2011).

En el siguiente cuadro se muestra las características mínimas, necesarias que se debe de considerar en el diseño de un humedal tipo subsuperficial.

Cuadro N°9. Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial.

Tipo de Medio	Tamaño del grano, mm	Porosidad ( $\eta$ )	Conductividad Hidráulica ( $K_s$ ), m/d	$K_{20}$
Arena Media	1	0,42	420	1,84
Arena Gruesa	2	0,39	480	1,35
Gravilla Arenosa	8	0,35	500	0,86

Fuente: ESPINOSA, 2014.  
Elaboración: Tesista

Para el caso del valor de la K en los sistemas con flujo subsuperficial según Reed et al, 1995 esta constante presenta un valor de  $1,104 d^{-1}$ , mientras que según Metcalf y Eddy, 1995 el valor de K depende del valor de la porosidad del medio, variando desde 1.84 para arena gruesa, hasta un valor de 0,86 para arena gravosa (Espinosa, 2014).

Los criterios de diseño propuestos por Crites and Tchobanoglous, 1998 aparecen en el siguiente cuadro.

Cuadro N°10. Criterios típicos para el diseño de los humedales con flujo subsuperficial y la calidad de los efluentes esperados

Parámetro de diseño	Unidad	Valor
Tiempo de retención	d	3 - 4
		6-10 N)
Velocidad de carga orgánica	Kg/ha. d	<110
Velocidad de carga de SST Que entran	Kg/m <sup>2</sup> .d	0,04
Profundidad del agua	m	0,3 — 0,61
Profundidad del medio	m	0,46 — 0,76
Control de los mosquitos		No se requiere
Esquema de cosecha		No se requiere
<b>Calidad esperada para los efluentes</b>		
DBO <sub>5</sub>	mg/l	<20
SST	mg/l	<20
NT	mg/l	<10
PT	mg/l	<5

Fuente: ESPINOSA, 2014.  
Elaboración: ESPINOSA, 2014

### **B.7.2.1 Partes de un humedal artificial de flujo subsuperficial**

- **Agua residual.** Las aguas residuales municipales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal (Espinosa, 2014).

Según su uso precedente, estas aguas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con residuos de industrias, de actividades

agrícolas, así como las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación (Espinosa, 2014).

<b>Contaminantes</b>	<b>Importancia</b>
Sólidos suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados no lanzados al ambiente acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general, se mide en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo de las fuentes de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son aplicados al suelo en cantidades excesivas, pueden contaminar también el agua subterránea.
Compuestos tóxicos	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de sus conocimientos o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados mediante actividades humanas. Tienen una alta

	persistencia en el ambiente, lo que incrementa su posibilidad de acumulación y toxicidad.
Sólidos inorgánicos disueltos	Componentes inorgánicos, como calcio, sodio y sulfato, deben ser removidos si se va usar nuevamente al agua residual, por ser potencialmente degradadores del suelo.

Fuente: ESPINOSA, 2014.  
Elaboración: Tesista

**Vegetación.** El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión (García Agudo & Ludwig, 2000).

La selección de la vegetación que se va a usar en un sistema de humedales debe tener en cuenta las características de la región donde se realizará el proyecto, así como las siguientes recomendaciones (García Agudo & Ludwig, 2000).

- Las especies deben ser colonizadoras activas, con eficaz extensión del sistema de rizomas.
- Deben ser especies que alcancen una biomasa considerable por unidad de superficie para conseguir la máxima asimilación de nutrientes.
- La biomasa subterránea debe poseer una gran superficie específica para potenciar el crecimiento del biofilm.
- Se debe tratar de especies que puedan crecer fácilmente en las condiciones ambientales del sistema proyectado.
- Debe tratarse de especies con una elevada productividad.

- Las especies deben tolerar los contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Se deben utilizar especies propias de la flora local.

De acuerdo a Lara (1999), las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y escorrentía de varias maneras:

- Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo.
- Dan lugar a velocidades de agua bajas y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes y elementos traza y los incorporan a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmósfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas, oxigena otros espacios dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos.

En la siguiente imagen se resumen las características de las tres especies más utilizadas en los humedales artificiales.

Nombre Científico	Familia	Nombre (s) común (es)	Características sobresalientes	Distancia de siembra	Penetración de raíces en grava	Temperatura C		Salinidad	pH
						Deseable	Germinación de semillas	ppt	
 <i>Thypha spp</i>	Tifácea	Espadaña, Enea, Anea, Junco, Bayón, Bayunco, Bohordo, Henea, Junco de la pasión, Maza de agua	Ubicua en distribución Capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales Se propaga fácilmente Capaz de producir una biomasa anual grande Tiene potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha.	60 cm	Relativamente pequeña (30 cm) por lo que no es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	10-30	12-24	30	4 – 10
 <i>Scirpus spp</i>	Ciperácea	Totora	Perennes Crecen en grupo Plantas ubicuas Crecen en aguas costeras, interiores salobres y humedales Crecen bien en agua desde 5 cm hasta 3 m de profundidad	30 cm	60 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	18 -27		20	4 – 9
 <i>Phragmites spp australis más común</i>	Gramínea	Carrizo	Anuales Altos Rizoma perenne extenso Plantas acuáticas usadas más extensas Pueden ser más eficaces en la transferencia de oxígeno porque sus rizomas penetran verticalmente y más profundamente. Son muy usadas en humedales porque ofrecen un bajo valor alimenticio	60 cm	40 cm por lo que es recomendable para sistemas de flujo subsuperficial	12-23	10-30	45	2 – 8

Fuente: LARA, 1999.

Elaboración: LARA, 1999.

- **Microorganismos** Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios. En el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes, elementos traza y la desinfección (Espinosa, 2014).

La actividad microbiana tiene la función de transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles y alterar las condiciones de potencial de reducción y oxidación del sustrato afectando así a la capacidad de proceso del humedal. Así mismo, gracias a la actividad biológica, muchas de las sustancias contaminantes se convierten en gases que son liberados a la atmósfera (Espinosa, 2014).

- **Sustrato (medio granular).** En los humedales el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, roca, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico. La principal característica del medio es que debe tener la permeabilidad suficiente para permitir el paso del agua a través de él. Esto obliga a utilizar suelos de tipo granular, principalmente grava seleccionada con un diámetro de 5 mm aproximadamente y con pocos finos

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar (Espinosa, 2014).

Por el contrario, si el lecho granular está formado por gravas y arenas, disminuye la capacidad de adsorción y el poder filtrador del medio, pero aumenta la conductividad hidráulica (Espinosa, 2014).

- **Revestimiento.** El requisito de revestimientos en los humedales artificiales depende de los requerimientos reglamentarios y de cada lugar de las características de la superficie y el subsuelo. En general, si los suelos son porosos (por ejemplo, arena), bien drenados, y contienen pequeñas cantidades de margas, arcillas y limos, el revestimiento es probable que sea un requisito para los humedales construidos (Silva, 2000).

Por otra parte, si los suelos son de drenaje pobre y compuesto principalmente de arcillas, entonces, el revestimiento no será

probablemente necesario. Estos sistemas tienden a producir una capa de turba en el fondo (Silva, 2000).

- **Topografía** El terreno apto para la instalación de un sistema de humedales es uno que posea una topografía uniforme horizontal o en ligera pendiente. Esto se debe a que los sistemas de flujo libre se suelen diseñar con depósitos o canales horizontales y que los sistemas de flujo subsuperficial se suelen diseñar y construir con pendientes del 1% o superiores. A pesar de que es posible construir depósitos en terrenos de más pendiente y con topografía más irregular, el movimiento necesario de tierras aumentara los costos de construcción del sistema. En consecuencia los sistemas de terrenos pantanosos se suelen construir con pendientes inferiores al 5% (Silva, 2000).

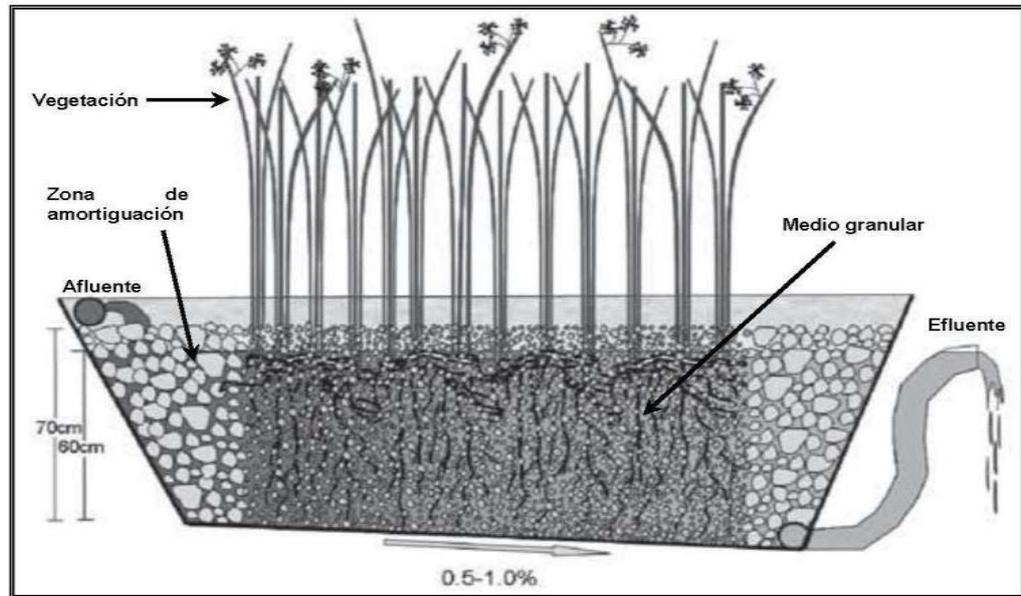
#### **B.7.2.2 Tipos de humedales subsuperficiales**

- **Humedales subsuperficiales de flujo horizontal** Son los sistemas más utilizados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel en 1967 y Kickuth en 1977 El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*) (Delgadillo *et al.*, 2010).

Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo. El agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas, ingresando en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón).

La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 % . El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño (Delgadillo *et al.*, 2010).

Figura N° 7. Esquema de un humedal subsuperficial de flujo horizontal.



Fuente: ESPINOSA, 2014

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm. La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, entre 3 mm a 32 mm. (Delgadillo *et al.*, 2010).

Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5 a 10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento. Usualmente operan con un máximo de 2 a 6 g DBO/m<sup>2</sup> d. Son eficientes en la remoción de DBO y SST y poco eficientes en la remoción de nutrientes. Generalmente las eficiencias logradas son de: 91 % para SST, 89 % para la DBO, 33 % para nitrógeno total y 32 % fósforo total (Osnaya, 2012).

- ***Humedales subsuperficiales de flujo vertical*** los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno. Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han obtenido son promisorios (Delgadillo *et al.*, 2010).

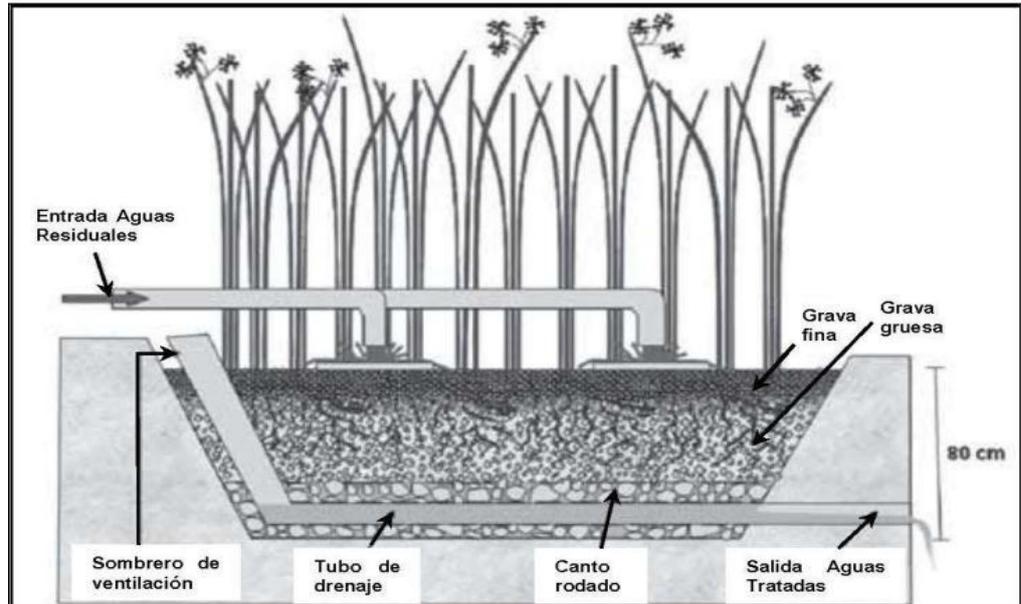
También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua. Las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La vegetación emergente se planta también en este medio granular (Delgadillo *et al.*, 2010).

Las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La aplicación de agua se efectúa de forma intermitente, para preservar y estimular al máximo las condiciones aerobias. La vegetación emergente se planta también en este medio granular (Delgadillo *et al.*, 2010).

Adicionalmente, para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, se suele colocar un sistema de aeración con chimeneas, que son tuberías cribadas con salidas al exterior. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, el sustrato está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo (Delgadillo *et al.*, 2010).

La profundidad del medio granular está entre 0,5 y 0,8 m y operan con cargas de alrededor de 20 a 40 g DBO/m<sup>2</sup>, produciendo efluentes de mayor oxigenación y están libres de malos olores (Espinosa, 2014).

Figura N° 8. Esquema de un humedal subsuperficial de flujo vertical (vista corte sección).



Fuente: ESPINOSA, 2014

Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales, requieren de menor superficie para tratar una determinada carga orgánica. Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación (Espinosa, 2014).

### **B.7.2.3 Ventajas y desventajas de un sistema de humedal de flujo subsuperficial.**

En el siguiente cuadro, se muestra las ventajas y desventajas de un sistema humedal de flujo subsuperficial (Espinosa, 2014).

Cuadro N°11. Ventajas y desventajas de un sistema de humedal de flujo subsuperficial

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Proporcionan tratamiento en forma efectiva y pasiva. Además minimizan la necesidad de equipos mecánicos, electricidad y monitoreo por parte de personal especializado.	El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos, permanecen en el sistema ligados al sedimento y por ello se acumulan con el tiempo.
Pueden ser menos costosos de construir, operar y mantener, que los procesos mecánicos de tratamiento.	Un humedal de flujo subsuperficial requiere un área extensa en comparación con los sistemas mecánicos convencionales de tratamientos.
La configuración de los humedales de flujo subsuperficial proporciona una mayor protección térmica que los humedales de flujo libre.	La mayoría del agua contenida en los humedales de flujo libre es esencialmente anóxica, limitando el potencial de nitrificación rápida del amoníaco.
No producen biosólidos ni lodos residuales que requieran tratamiento subsiguiente y disposición.	En climas fríos las bajas temperaturas durante el invierno reducen la tasa de remoción de DBO NH <sub>3</sub> Y NO <sub>3</sub> -
La remoción de DBO, SST, DQO, metales y compuestos orgánicos refractarios de las aguas residuales domésticas puede ser muy efectiva con un tiempo razonable de retención. La remoción de nitrógeno y fosforo a bajos niveles puede ser también efectivo con un tiempo de retención significativamente mayor.	Los humedales de flujo subsuperficial no pueden ser diseñados para lograr una remoción completa de compuestos orgánica, SST, nitrógeno o bacterias coliformes. Los ciclos ecológicos en estos humedales producen concentraciones naturales de esos compuestos.

<p>Los mosquitos y otros insectos vectores similares no son un problema con los humedales de flujo subsuperficial, mientras el sistema se opera adecuadamente y el nivel subsuperficial de flujo se mantenga.</p>	<p>Si bien los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de menor superficie que los humedales de flujo libre, para la remoción de la mayoría de los constituyentes de agua residual, el costo mayor del medio de grava en los sistemas de flujo subsuperficial puede dar como resultado costos de construcción más altos para sistemas con una capacidad mayor a 227 m<sup>3</sup> por día.</p>
---	---

Fuente: ESPINOSA, 2014.  
Elaboración: Tesista

Por otro lado; La Dra. Von Münch señala, como diferencia entre ambos diseños, que “el tratamiento vertical depende del intervalo en que se entrega la carga (de 4 a 8 veces al día) y que los humedales de Flujo Horizontal (FH) se alimentan de un flujo constante. (...) Los humedales de flujo horizontal necesitan más área que los humedales de flujo vertical y no son recomendados en climas cálidos debido a sus elevadas tasas de evaporación, aunque podría ser una opción interesante para el tratamiento de aguas grises con baja carga orgánica” (Delgado, 2011).

### **B.8. Ventajas de uso de humedales**

Como ventajas generales de los sistemas de depuración que utilizan plantas acuáticas cabe citar:

- Sistemas naturales totalmente respetuosos e integrado con el medio ambiente, que eliminan sólidos en suspensión, materia orgánica,

elementos eutrofizantes y microorganismos patógenos (Fernandez, 2015).

- Bajo costo de operación y mantenimiento, no requiere de productos químicos, equipos, energía y mano de obra calificada (MINCETUR 2008).
- Los humedales artificiales son eficaces en la remoción de contaminantes de cualquier vertido de agua residual de tipo doméstico, industrial, agrícola o minero (MINCETUR 2008).
- Bajo costo de construcción y especialmente de operatividad y mantenimiento no se requiere de equipos ni materiales sofisticado (MINCETUR 2008).
- Se emplean frecuentemente materiales de la zona y no se requiere de personal calificado (MINCETUR 2008).
- Los humedales artificiales son más convenientes que las alternativas convencionales sobretodo porque pueden constituir ecosistemas que formen parte del paisaje natural dándole un valor paisajista y estético (MINCETUR 2008).

## **2.3 DEFINICIONES CONCEPTUAL DE TÉRMINOS**

### **\*2.3.1 Sistema**

Un sistema es un grupo de componentes que pueden funcionar recíprocamente para lograr un propósito común. Son capaces de reaccionar juntos al ser estimulados por influencias externas. El sistema no está afectado por sus propios egresos y tiene límites específicos en base de todos los mecanismos de retroalimentación significativos” (Spedding 1979).

### 2.3.2 Sistema Dinámico

El término dinámico se emplea por oposición al de estático y con él se quiere expresar el carácter cambiante en el tiempo de aquello que se está adjetivando con ese término.

### 2.3.3 Sistema Abierto

Sistema que establece intercambios permanentes con su ambiente, los cuales determinan su equilibrio, capacidad reproductiva o continuidad, es decir, su viabilidad. La capacidad de intercambio es una característica propia de todos los sistemas vivos.

### 2.3.12.3.4 **Energía limpia o renovable**

La energía limpia es un sistema de producción de energía con exclusión de cualquier contaminación o la gestión mediante la que nos deshacemos de todos los residuos peligrosos para nuestro planeta. Las energías limpias son, entonces, aquellas que no generan residuos.

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

Es la medida del oxígeno requerido por las bacterias para la oxidación de la materia orgánica presente el agua.

### 2.3.32.3.6 **Efluente**

Subproducto de la digestión anaerobia el cual es una solución orgánica estabilizada que puede ser utilizada como fertilizante, para riego y piscicultura.

### 2.3.42.3.7 **Estiércol líquido**

Es el orín de los animales que tiene un contenido de sólidos de menos de 3%. El orín se “lava” utilizando agua fresca o reciclada. Estos residuos también pueden utilizarse para la obtención de biogás en climas cálidos.

### **2.3.52.3.8 Estiércol**

Son las heces fecales de los animales, del cual posee un contenido de sólidos de 8% a 25%, dependiendo del tipo de animal. Este puede ser mezclado con agua para ser alimentado al digestor en relación de 10 a 1.

### **2.3.62.3.9 Potencial de hidrogeno (pH)**

Concentración de iones hidrógeno (H<sup>+</sup>) o hidróxidos (OH<sup>-</sup>) que determinan la acidez o basicidad de una sustancia. Su escala de medida es de 0 a 14 siendo 7 una solución neutra, de 0 a menor de 7 ácida y mayor de 7 a 14 básica. La concentración de CO<sub>2</sub> en la carga, la concentración de ácidos volátiles y la propia alcalinidad de la materia prima hacen variar el pH del biodigestor.

### **2.3.72.3.10 Potencial de producción de biogás**

Se refiere al volumen de gas teóricamente obtenible de una materia prima, en función de la producción específica y de la cantidad disponible de materia orgánica seca. Aunque el producido no puede juzgarse independientemente de otras variables del proceso.

### **2.3.82.3.11 Teoría General de Sistemas (TGS)**

De acuerdo con Bertalanffy citado por Cathalifaud y Osorio (1998), es un mecanismo de integración entre las ciencias naturales y sociales y, a la vez, un instrumento básico para la formación y preparación de científicos. La Teoría de Sistemas o Sistémica es un punto de confluencia de estudiosos y especialistas de diferente procedencia, cada uno con su base metodológica y los sesgos propios de la disciplina de la que procede, pero con un interés común: el estudio de sistemas complejos.

## CAPITULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 NIVEL Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Tipo de Investigación

El investigación reúne las condiciones metodológicas de una *investigación aplicada*, en razón, que se utilizó conocimiento de la teoría de sistemas, a fin de aplicarlas en el diseño de sistema productivo que se desarrollará.

##### 3.1.2 Nivel de investigación

El nivel de la investigación es *descriptiva* debido que “pretende medir y recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refiere, ~~esto es~~, su objetivo no es indicar como se relacionan las variables medidas” (Sampieri, 2010).

- Para el desarrollo del proyecto, en primera instancia se realizó la recolección de información in situ en la Granja Retama y en gabinete a través de estudios desarrollados en otros lugares, posterior a ello se procedió a detemrnar la cantidad de excretas que se produce en la granja Retama, con el fin de desarrollar el diseño de un biodigestor a partir de excretas de cuy para obtener gas (energía limpia) y abono orgánico (biol y biosol).

- Se determinó la dotación de aguas residuales que se generaron en la granja retama, para un posterior análisis fisicoquimico y microbiológico y

asi desarrollar un diseño de tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales.

- A partir de los modelos de diseños obtenidos para los procesos de transformación de excretas y aguas residuales, se procedió a determinar el área necesaria para el sistema de tratamiento.

### 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación presenta un diseño no experimental— - transversal, ya que corresponde a realizar un análisis descriptivo en un tiempo dado.



Donde:

OVR = Granja RetamaVivienda rural

O = Observación y análisis para recabar datos e información de la granjavivienda para el diseño del sistema.

### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

La población de la investigación es de tipo finita, el cual para nuestra investigación, nuestra población está constituida por dos componentes, como: Aguas residuales, estiércol de cuy.

La muestra de diseño para el sistema productivo que se planteó en la presente investigación comprende el 100% de la población de estudio; el cual para el diseño de sistema de tratamiento de aguas residuales se tomó a partir de la producción total de aguas residuales en la granja, y con respecto al diseño de obtención de energía y abonos orgánicos, se tuvo en cuenta la producción total de estiércol de todas las pozas de cuyes.

### 3.4 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

#### 5.1.1 3.4.1 Técnicas de recolección de datos e información

TÉCNICAS	INSTRUMENTOS	ITEMS
1. Entrevistas	1.1 Ficha de entrevista	Para la obtención de datos
12. <u>Fichaje Observación</u>	1.1. <u>Toma de imágenes</u> Fichas Textuales	Para <u>la obtención de datos</u> <u>el desarrollo de la perspectiva teórica</u> ( <u>Estado del arte</u> )
2. Entrevista	2.1 Visita a campo	Para <u>la obtención de datos</u>
33. Análisis documental	3.1 <u>Ficha de Fichas de resumen</u>	Para el desarrollo de los objetivos y la obtención de información
	3.2. Fichas de análisis	
	3.3. Análisis de informes, etc.	
4. <u>Estadística</u>	4.1 <u>Tablas y graficas</u>	<u>Para el desarrollo del análisis de datos</u>

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

## € CAPITULO IV

### RESULTADOS

Para la realización de diseño del sistema productivo sostenible para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento de agua residual en la granja retama, se tuvo que realizar diseños de forma independiente para aprovechar los recursos existentes dentro de la granja y dar un valor agregado, en las siguientes líneas se desarrollan cada sistema de tratamiento; al final de ellos se obtiene un ciclo aprovechable de recursos existentes.

#### **4.1 PROPUESTA DE DISEÑO DE SISTEMA DE OBTENCIÓN DE ENERGÍA LIMPIA Y ABONOS ORGÁNICOS**

##### **4.1.1 Determinación de la capacidad volumétrica del biodigestor**

Para determinar la capacidad volumétrica que contiene el biodigestor, en primera instancia se tuvo que estimar la producción diaria de estiércol por

cada kilogramo de peso vivo de cuy, el cual para su desarrollo se tuvo en cuenta producción de estiércol por poza, la edad y peso de los cuyes.

Cuadro N°12: Determinación de peso de estiércol por kilogramo de peso en vivo en cuy por día

Poza	Crías	Total adultos	Peso de estiércol total Kg/día	Peso adulto vivo X UNID.	Peso adultos total	Peso vivo cría X UNID.	Peso crías total	Peso vivo total	Kg de estiércol / Kg peso vivo * día
PA - 01	4	10	0.550	1.050	10.500	0.330	1.320	11.820	0.0465
PA - 02	4	9	0.400	1.260	11.340	0.290	1.160	12.500	0.0320
PA - 03	3	8	0.550	1.150	9.200	0.300	0.900	10.100	0.0545
PA - 04	6	9	0.530	1.200	10.800	0.350	2.100	12.900	0.0411
PA - 05	5	8	0.600	1.100	8.800	0.310	1.550	10.350	0.0580
PA - 06	7	9	0.500	1.240	11.160	0.280	1.960	13.120	0.0381
PA - 07	23	-	0.850	-	-	0.450	10.350	10.350	0.0821
PA - 08	2	8	0.480	1.160	9.280	0.320	0.640	9.920	0.0484
PA - 09	-	12	0.520	1.100	13.200	-	0.000	13.200	0.0394
PA - 10	-	6	0.400	1.120	6.720	-	0.000	6.720	0.0595
PA - 11	-	12	0.450	1.080	12.960	-	0.000	12.960	0.0347
PA - 12	8	8	0.500	1.200	9.600	0.300	2.400	12.000	0.0417
PA - 13	3	9	0.530	1.100	9.900	0.330	0.990	10.890	0.0487
PA - 14	26	-	1.020	-	-	0.450	11.700	11.700	0.0872
PA - 15	4	9	0.530	1.220	10.980	0.290	1.160	12.140	0.0437
PA - 16	6	9	0.500	1.140	10.260	0.320	1.920	12.180	0.0411
PA - 17	5	8	0.550	1.150	9.200	0.315	1.575	10.775	0.0510
PA - 18	2	8	0.450	1.300	10.400	0.320	0.640	11.040	0.0408
PA - 19	29	-	1.150	-	-	0.420	12.180	12.180	0.0944
PA - 20	-	19	1.400	0.900	17.100	-	-	17.100	0.0819
PA - 21	-	16	1.350	0.920	14.720	-	-	14.720	0.0917
PA - 22	-	20	1.450	1.050	21.000	-	-	21.000	0.0690
PA - 23	6	9	0.500	1.260	11.340	0.360	2.160	13.500	0.0370
PA - 24	14	8	0.700	1.180	9.440	0.330	4.620	14.060	0.0498
PA - 25	9	10	0.500	1.210	12.100	0.300	2.700	14.800	0.0338
PA - 26	4	8	0.350	1.150	9.200	0.320	1.280	10.480	0.0334
PA - 27	7	9	0.760	1.250	11.250	0.300	2.100	13.350	0.0569
PA - 28	3	9	0.530	1.300	11.700	0.280	0.840	12.540	0.0423
PA - 29	7	9	0.540	1.150	10.350	0.320	2.240	12.590	0.0429
PA - 30	6	8	0.500	1.180	9.440	0.290	1.740	11.180	0.0447
PA - 31	2	8	0.500	1.230	9.840	0.310	0.620	10.460	0.0478
PA - 32	2	9	0.520	1.250	11.250	0.280	0.560	11.810	0.0440
PA - 33	8	9	0.600	1.240	11.160	0.320	2.560	13.720	0.0437
PA - 34	2	8	0.520	1.280	10.240	0.300	0.600	10.840	0.0480
PA - 35	3	8	0.480	1.210	9.680	0.320	0.960	10.640	0.0451

PA - 36	5	8	0.550	1.270	10.160	0.340	1.700	11.860	0.0464
PA - 37	-	9	0.500	1.160	10.440	-	0.000	10.440	0.0479
PA - 38	3	8	0.480	1.200	9.600	0.300	0.900	10.500	0.0457
PA - 39	-	-	-	-	-	-	-	0.000	-
PA - 40	-	8	0.480	1.140	9.120	-	-	9.120	0.0526
PA - 41	7	8	0.530	1.230	9.840	0.350	2.450	12.290	0.0431
PA - 42	4	8	0.600	1.230	9.840	0.400	1.600	11.440	0.0524
PA - 43	4	8	0.520	1.260	10.080	0.360	1.440	11.520	0.0451
PA - 44	4	9	0.530	1.115	10.035	0.250	1.000	11.035	0.0480
PA - 45	8	10	0.540	1.220	12.200	0.280	2.240	14.440	0.0374
PA - 46	13	9	0.990	1.240	11.160	0.320	4.160	15.320	0.0646
PA - 47	2	9	0.510	1.220	10.980	0.300	0.600	11.580	0.0440
PA - 48	6	10	0.550	1.250	12.500	0.280	1.680	14.180	0.0388
PA - 49	1	9	0.500	1.300	11.700	0.290	0.290	11.990	0.0417
PA - 50	21	-	1.120	-	-	0.463	9.723	9.723	0.1152
PA - 51	16	-	0.980	-	-	0.430	6.880	6.880	0.1424
PA - 52	17	-	0.970	-	-	0.400	6.800	6.800	0.1426
PA - 53	-	18	0.830	1.110	19.980	-	-	19.980	0.0415
PA - 54	-	18	0.840	0.950	17.100	-	-	17.100	0.0491
PA - 55	-	15	0.800	0.980	14.700	-	-	14.700	0.0544
PA - 56	5	9	0.540	1.190	10.710	0.320	1.600	12.310	0.0439
PA - 57	-	18	0.900	0.900	16.200	-	-	16.200	0.0556
PA - 58	-	23	0.900	0.870	20.010	-	-	20.010	0.0450
PA - 59	-	20	0.850	0.920	18.400	-	-	18.400	0.0462
PA - 60	20	-	0.960	-	-	0.530	10.600	10.600	0.0906

Fuente: pozas de galpón de granja Retama  
Elaboración: Tesista

A partir de la producción diaria de estiércol por peso vivo de cuy, se determinó la cantidad total de estiércol producido diariamente en la granja retama en relación a la edad y peso, mostrándose en el siguiente cuadro.

Cuadro N°13: Determinación de generación de kg estiércol total por día

Total de animales menores por edad	Cantidad promedio de cuyes	Peso promedio (kg)	Peso vivo total (kg)	Producción diaria de estiércol (kg/día)
Total adultos	683	1.156	788.96	49.67 (A)
Total cría	365	0.350	127.98	8.06 (B)

<b>TOTAL</b>	<b>57.73</b>
--------------	--------------

Fuente: información recolectada de granja Retama.  
Elaboración: Tesista

Posterior a la producción diaria de estiércol producido en la granja retama, se determinó el volumen de carga que se tiene que añadir diariamente al biodigestor con una dilución de mezcla de 3:1 (03 partes de agua y 01 parte de agua) para así obtener una constante producción de biogás y abono orgánico, determinándose así:

Cuadro N°14: Determinación de volumen de carga diario o semanal de carga

<b>Producción total estiércol día (a + b)</b>	<b>Dilución de la mezcla</b>	<b>Volumen líquido día (lt)</b>	<b>Volumen líquido día (m3)</b>	<b>Volumen líquido semanal(m3)</b>
<b>57.73 KG/DIA</b>	3:1	230.93	0.23 m3	1.617

Fuente: MARTI, 2008. Información recolectada de granja Retama  
Elaboración: Tesista

Cuadro N°15: Determinación de volumen del biodigestor total

<b>Volumen líquido semanal (m3)</b>	<b>Tiempo de retención hidráulica (TRH)*</b>	<b>Volumen líquido total (75% del volumen)</b>	<b>Volumen total del biodigestor</b>
<b>1.617 M3</b>	30 días	6.9 m3	10 m3

Fuente: MARTI, 2008  
Elaboración: Tesista

\* Tiempo de retención hidráulica (TRH) de acuerdo a temperatura de ambiental a nivel local (20°C, tiempo de retención 30 días) MARTI, 2008.

#### **4.1.2 Dimensionamiento de biodigestor**

Fórmula para determinar las dimensiones del biodigestor

$$L = \frac{V_r}{(\pi \times r^2)}$$

Donde: L = longitud del rollo,  $\pi = 3.14159$ ,  $r^2$  = radio según el ancho del rollo.

De acuerdo a la fórmula de dimensionamiento se determinaron el largo y radio o diámetro del biodigestor en base al volumen proyectado en el punto 4.1.1. Martí, 2008 en su guía establece que para realizar un dimensionamiento adecuado del biodigestor, la relación que tiene que guardar entre la longitud en el diámetro (L/D) es de 5 – 10, siendo lo mejor 7 (Martí, 2008).

Teniendo en cuenta lo mencionado también se debe evaluar los materiales que tenemos disponibles en el mercado y su accesibilidad para la posible replica en la población local, por lo que se tomó de referencia la siguiente imagen.

Figura N°9. Parámetros según el ancho de rollo

Ancho de rollo (m)	Perímetro de la circunferencia (m)	Radio (m)	Diámetro (m)
1	2	0.32	0.64
1.25	2.5	0.40	0.80
1.50	3	0.48	0.96
1.75	3.5	0.56	1.12
2	4	0.64	1.28

Fuente: MARTI, 2008  
Elaboración: MARTI ,2008

Obteniéndose:

Cuadro N°16: Dimensionamiento del biodigestor

Parámetro	Criterio	Valor
-----------	----------	-------

Volumen	Volumen proyectado (m <sup>3</sup> )	10
Radio	Tabla de referencia	0.64
Ancho de rollo	Tabla de referencia (m)	2
Longitud	$L = V / 3.14 * r^2$	8
Relación (L/D)	$R = L/D$	<b>6.07</b>

Fuente: MARTI 2008. Información recolectada de granja Retama.  
Elaboración: Tesista

#### 4.1.3 Dimensionamiento de la zanja

Para el dimensionamiento de la zanja, donde se ubica el plástico tubular; la longitud de la zanja queda determinada por la longitud del biodigestor, y para el caso de la profundidad y ancho, depende del ancho de rollo que se preste emplear en la elaboración del biodigestor, de acuerdo a lo mencionado por MARTÍ, 2008.

Cuadro N°17: Dimensionamiento de la zanja

Parámetro	Valor
Ancho de rollo	<b>2</b>
Base superior	0.9
Base inferior	0.7
Profundidad	1
Longitud	8

Fuente: MARTI, 2008  
Elaboración: Tesista

#### 4.1.4 Dimensionamiento de la cámara de mezcla

Para la cámara de mezcla, lugar donde se mezcla el estiércol y el agua, las dimensiones se determinan de acuerdo al volumen de carga introducido (producción diaria y volumen de agua) el cual se determinó en el cuadro N°14.

Cuadro N°18. Dimensionamiento de la cámara de mezcla

<b>Volumen liquido día (m3)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Profundidad (m)</b>
0.23	0.92	1	1

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

#### 4.1.5 Dimensionamiento de cámara de biol

La cámara de biol se dimensionó de acuerdo a la acumulación que se obtiene; es decir, el volumen de entrada es igual al volumen de salida.

Cuadro N°19. Dimensionamiento de la cámara del biol

<b>Volumen liquido de salida (m3)</b>	<b>Largo</b>	<b>Ancho</b>	<b>Profundidad</b>
0.23	0.92	1	1

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

#### 4.1.6 Determinación de producción de biogás

Para determinar el volumen de biogás que genera el biodigestor, se tuvo como referencia el estudio por PEREZ, 2012; registrándose los datos en el siguiente cuadro:

Cuadro N°20. Datos para la determinación de producción de biogás

<b>Descripción</b>	<b>Valores</b>	<b>Unidades</b>
Carga diaria (CD)	57.73	Kg/día
Volumen líquido (1:3) (VI)	6.93	m <sup>3</sup>
% Sólidos totales (ST)	27.3%	Kg ST/ Kg CD
% Sólidos volátiles (SV)	69.30%	Kg SV/ Kg ST
%Producción de biogás	4%	m <sup>3</sup> biogás / kg SV
% CH4	57.33%	m <sup>3</sup> CH4 / m <sup>3</sup> biogás

Fuente: PEREZ, 2012.

Fuente: Propia del investigador

Elaboración: Tesista

En el cuadro 21, se determinó el porcentaje de sólidos totales y volátiles para la investigación desarrollada a partir de los datos referenciados en el cuadro 20 y uso de fórmulas planteadas en ítem A.2.1 teniendo de referencia el estudio de MARTI, 2008.

Cuadro N° 21. Determinación de sólidos totales y sólidos volátiles

<b>Descripción</b>	<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Sólidos totales	carga diaria * %ST / VL	2.275	Kg ST*m <sup>3</sup> /día
Sólidos volátiles	ST * %SV	1.577	KgSV*m <sup>3</sup> /día

Fuente: MARTI, 2008

Elaboración: Tesista

En el cuadro 22, muestra determinación de producción de biogás total diario que genera el biodigestor diseñado para el presente proyecto, teniendo como referencia los resultados obtenidos en los cuadros 20 y 21.

Cuadro N°22. Determinación de producción de biogás

Descripción	Criterio	Valor	Unidad
Biogás por carga diaria (BCD)	SV * % producción de biogás	0.063	m <sup>3</sup> biogás/ m <sup>3</sup> líquido * día
Biogás total diario	BCD * V líquido	<b>0.436</b>	m <sup>3</sup> biogás/ día

Fuente: MARTI, 2008

Elaboración: Tesista

#### 4.1.7 Determinación de producción de abono (biol y biosol)

El diseño permite obtener 230.93 lt de biol (abono orgánico); donde el ingreso de volumen líquido es el mismo que se obtiene como producto. El volumen obtenido permite abonar 1.65 ha/día de tierra; teniendo como referencia el estudio desarrollado I.E.1161, 2010, que para el cultivo de hortalizas y arbustos (130 -150 lt biol/400 litros de agua por ha) ó 0.66 ha/día para el cultivo de árboles frutales arbustos (300 - 400 lt biol/1000 litros de agua por ha).

## 4.2 PROPUESTA DE DISEÑO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

### 4.1.1 Población de diseño

La población actual en la granja retama promedio es de 3 personas, siendo así que el respectivo diseño se realizó para cinco personas, debido a que se está estimando un aumento de la población en los siguientes años. Cabe mencionar que no se determinó la población futura aritmeticamente, debido a que la cantidad es no significativa para su respectiva determinación.

Cuadro N°23. Población de diseño.

<b>Granja Retama</b>	<b>Población</b>
Vivienda	5
Total	5

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

#### **4.1.2 Caracterización fisicoquímica y biológica de agua residuales en la granja retama**

##### **4.2.2.1. Toma de muestra**

Se realizaron 02 muestreos simples a las aguas residuales que genera la vivienda y servicios higienicos de la granja Retama. Cada muestra se tomó en dos recipientes de 2000ml aproximadamente, el cual a partir de la muestra recolectada se pudo realizar el análisis de cada parámetro, posteriormete siendo trasladados al laboratorio para su respectivo analisis fisicoquímico y mircobiológico de la respectivas muestras.

Por otro lado, de las misma de muestras tomadas se procedió a medir la temperatura, pH y conductiviad electrica in situ.

##### **4.2.2.2. Caracterización de aguas residuales**

Una vez recolectadas las muestras se procedió a trasladar al Laboratorio Biobital para su posterior análisis de los parámetros ya establecidos anteriormente., mostrándose en el siguietne cuadro:

Cuadro N°24. Resultado fisicoquímico y microbiológico de las aguas residuales de la granja Retama.

Muestreo/Parámetro	Unidades	Resultado		Promedio	LMP
		1	2		D.S. N° 003- 2010- MINAM
<b>ANALISIS FISICOQUIMICO</b>					
pH	-----	5.6	7.3	<b>6.45</b>	6.5 -8.5
TEMPERATURA	μS/cm	20.7	20.6	<b>20.6</b>	< 35
ACEITES Y GRASAS	ppm	< 0.01	< 0.01	<b>&lt; 0.01</b>	20
SOLIDOS TOTALES (STS)	ml/l	45.5	14.3	<b>29.90</b>	150
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	μScm/l	59	216	<b>137.5</b>	-
DBO5	mg/L	78.9	38.7	<b>58.80</b>	100
DQO	mg CL/l	< 0.01	< 0.01	<b>&lt; 0.01</b>	200
AMONIO	mg NH4 /l	0.32	0.12	<b>0.22</b>	-
<b>ANALISIS MICROBIOLÓGICO</b>					
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/10 0 ml	25000	17500	<b>21250</b>	10 000
COLIFORMES TOTALES	NMP/10 0 ml	7800	3400	<b>5600</b>	-

Fuente: Laboratorio Biobital,  
Elaboración: Tesista

### 4.1.3 Determinación de caudal

Para determinar el caudal de aguas residuales que genera la granja se determinó a partir de la dotación de agua diaria por persona que recomienda DIGESA.

Cuadro N°25. Clasificación de dotación de agua en el Perú

Zona	Modulo (LPPD)
Costa	50 - 60
Sierra	40 - 50
Selva	60 - 70

Fuente: MVCS, PRONASAR, MIMDES, FONCODES. 2004

Elaboración: Tesista

Por lo tanto, de acuerdo a las características socioeconómica, cultural, y condiciones técnicas que van a permitir la implementación un sistemas de saneamiento a través de redes, se determinó que se utilizaran dotaciones de hasta 100 lt/hab/día.

Cuadro N°26. Cálculo del caudal de tratamiento.

Ingreso de datos	Signo	Criterio	Valor	Unidad
Población futura	P		5	hab
Dotación	D		100	l/hab/dia
Consumo de promedio diario anual de agua potable	Qm	$Qm=P*D/86400$	0.0058	l/seg
Constante de producción de aguas residuales	C		0.8	%
Caudal de aguas residuales	Q	$Q=Qm*C$	0.0046	l/seg

Fuente: DIONISIO, 2012.

Elaboración: Tesista

Nota: Cabe mencionar que no se considera producción máxima horario de aguas residuales, debido que la población es menor.

#### 4.1.4 Dimensionamiento de la caja colectora de filtro rápido

La caja colectora de filtro rápido es un modelo de tratamiento primario, esta contemplado por dos etapas, una caja con grava y otra caja que colecta el agua filtrada; este tipo de diseño se desarrolló con el fin de acopiar el agua residual en un volumen determinado, cumpliendo la función de sedimentar y retener partículas y/o sólidos que pueden afectar el ingreso del agua hacia el humedal ocasionando colapsamiento y por ende un mantenimiento a corto plazo de la planta; por otro lado, cumple la función mezclar toda el agua y hace el ingreso al humedal un tipo de agua con carga de sustrato homogénea, las dimensiones de las cajas se muestran en el cuadro 27 y 28.

Cuadro N°27. Dimensionamiento de zona de filtro rápido

Dimensiones	Signo	Criterio	Valor	Unidad
Largo	l		0.30	m
Ancho	a		0.63	m
Profundidad	h		0.70	m
Caudal	Q		0.0046	Q (l/s)
Porosidad	n		0.40	(n)% (32 mm )
Temperatura	T°		20.60	(°C)
volumen	V	$v = l * a * h$	0.132	m <sup>3</sup>
Area superficial (AS)	As	$As = v/h$	0.189	m <sup>2</sup>

Tiempo de retencion	Tr	$tr = (As * h*n)/Q$	3.18	horas
---------------------	----	---------------------	------	-------

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

Cuadro N°28. Dimensionamiento de zona de colector de agua del filtro

Dimensiones	Signo	Criterio	Valor	Unidad
Largo	l		0.2	m
Ancho	a		0.63	m
Profundidad	h		0.6	m
Volumen	V	$v = l*a*h$	0.076	m <sup>3</sup>
Area superficial (as)	As	$As = v/h$	0.126	m <sup>2</sup>

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

#### 4.1.5 Dimensionamiento de humedal subsuperficial tipo horizontal

Para el dimensionamiento de las partes del humedal artificial, se aplicaron fórmulas, que se evoca principalmente a la remoción de la DBO y micronutrientes que se desconoce la concentración de la misma debido que es variante; para realizar este diseño se requiere los siguientes datos que se muestran a continuación:

Tabla N° 29. Datos para el diseño del humedal artificial

Parametro	Unidad	Valor	Referencia
Co (DBO)	mg/l	178.00	Determinacion en laboratorio y criterio de diseño
Ce (DBO)	mg/l	100	D.S 003 - 2010 - MINAM
Caudal (Q)	m <sup>3</sup> /dia	0.400	Determinacion en campo

Porosidad	(n)%	0.35	EPA 832-F-00-023 (Gravillo arenoso 8mm)
Profundidad (h)	m	0.6	EPA 832-F-00-023
Temperatura T°	(°C)	20.60	Determinacion en laboratorio
Conductividad hidraulica (Ks)	(m/d)	500	Según EPA
Pendiente	(%)	0.005	EPA 832-F-00-023

Fuente: Se referencian independientemente en el cuadro 29  
Elaboración: Tesista

En el cuadro 30, se muestra el dimensionamiento que contempla el diseño del humedal que se plantea en la siguiente investigación:

Cuadro N° 30. propuesta de dimensionamiento de humedal artificial

PARÁMETRO	FÓRMULA	VALOR	UNIDAD
Constante de temperatura	$K_{20} = 0.9 \text{ d}^{-1}$	0.932	d-1
	$K_T = K_{20} (1.06)^{(T-20)}$		
Área superficial	$A_s = (Q \cdot \ln^* [C_o/C_e]) / (K_T (h)(n))$	1.178	m <sup>2</sup>
	$A_s = Q (\ln^* [C_o] - \ln^* [C_e]) / (K_T (h)(n))$		
Retención hidráulica	$t = (A_s \cdot h \cdot n) / Q$	0.619	Días (14.9 horas)
Ancho de la celda	$w = 1/h [(QA_s)/(mk_s)]^{0.5}$	0.724	m
Largo de la celda	$L = A_s/W$	1.628	m
Gradiente hidráulico	$s = mh/L$	0.002	
Área de la sección transversal perpendicular al flujo (m <sup>2</sup> )	$A_c = Q/(K_s s)$	0.430	
Relación Largo y ancho (1)	L/W	2.250 :1 aceptable	Relación 1.3.1
Largo, ancho y área transversal para una celda	$L/W = 3 \rightarrow L = 3W$ $A_s = LW \rightarrow A_s = 3W^2 \rightarrow W = \sqrt{A_s/3}$	W = 0.63 L = 1.88 Ac = 0.38	m m m <sup>2</sup>

Fuente: RIVERA y AREVALO, 2015; SILVA, 2012.

Elaboración: Tesista

Tomando en cuenta las ventajas de cada uno de los diseños representados se propone que sea utilizado el sistema de humedal con una celdas y con una relación L: W de 3:1, mostrándose en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 31. Resultados del dimensionamiento de humedal artificial

<b>Relación L:W</b>	<b>Celdas</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Área transversal (m<sup>2</sup>)</b>
1.3:1	1	1.63	0.72	0.6	0.43
<b>03:01</b>	<b>1</b>	<b>1.88</b>	<b>0.63</b>	<b>0.6</b>	<b>0.38</b>

Fuente: RIVERA y AREVALO, 2015  
Elaboración: Tesista

#### 4.1.6 Dimensionamiento de zona de decantación

Se diseñó un área de decantación, que colecta todas las aguas residuales tratadas que pasaron el proceso de tratamiento en el humedal, se espera que estas aguas se encuentren dentro del reglamento vigente para su disposición final, cuyas dimensiones se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 32. Dimensionamiento de zona de decantación

<b>Dimensiones</b>	<b>Signo</b>	<b>Criterio</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Largo	l		0.3	m
Ancho	a		0.63	m
Profundidad	h		0.60	m
Caudal	Q		0.0046	Q (l/s)
Temperatura	T°		20.60	(°C)

Volumen	V	$v = l*a*h$	0.113	m <sup>3</sup>
Area superficial (AS)	As	$As = v/h$	0.189	m <sup>2</sup>
Tiempo de llenado	Tr	$tr = (As * h)/Q$	6.804	horas

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

Los planos de diseño del prototipo se adjuntan en anexos, y de acuerdo a la norma S.090 sobre Plantas de tratamiento en el artículo 5 sobre disposiciones específicas para diseños definitivos, ítem 5.1.5 manifiesta que el área debe estar lo más alejada posible de los centros poblados, recomendándose para tratamientos anaerobios la distancia de 500 m. de acuerdo a estos criterios, dentro del área de la granja retama no se podría ubicar, debido que el área del terreno es de menor dimension; por ello se optó diseñar para su posterior ejecucion en la parte baja del terreno, el cual se encuentra a una distancia aproximada de 200 m y no transitable, considerando que el volumen de agua que se ve tratar es de menor cantidad el cual la generación de olores y otros es de concentracion baja, considerándose uso de microorganismos eficaces para el tratamiento de aguas residuales.

Por otro lado, la norma S.090 también menciona que el proyectista podrá justificar distancias menores a las recomendadas si se incluye en el diseño procesos de control de olores y de otras contingencias perjudiciales, por ello como medida atenuante para minimizar se plantea la instalación de una tuberia de ventilacion de 2.5 metros de altura que se colocará en el filtro rápido.

#### 4.1.7 Remoción esperada de sistema de tratamiento de aguas residuales con humedales.

El modelo diseñado de tratamiento de aguas residuales para la granja Retama tipo humedal subsuperficial horizontal, se espera que pueda reducir parámetros de pueden afectar la calidad de agua al llegar a un cuerpo receptor. Por ello, en el siguiente cuadro se hace mención los parámetros a removerse en función a la implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

Cuadro N° 33. Parámetros a removerse con la implementación de humedales

Parámetros	Análisis de agua a tratar	según Laurence Quipuzco U. 2000		según Espinosa, C. 2014 (Latcabamba - Huaraz)	
		Capacidad de remoción (%)	Valor esperado	Capacidad de remoción (%)	Valor esperado
Sólidos totales(ml/l)	29.9	97	0.897	90.2	0.087
DBO (mg/l)	58.8	79.6	11.995	48	6.237
DQO (mg/l)	< 0.01	84.3	< 0.01	-	< 0.01
Amonio (mg/L)	0.22	-	-	-	-
Coliformes totales (NMP/100 ml)	5600	98	112	62.7	41.776
coliformes termotolerante (NMP/100 ml)	5600	-	-	-	-
Sulfato (mg/l)	-	71.2	-	-	-
Nitrógeno (mg/l)	-	-	-	- 0.13	-
Fosforo total (mg/l)	-	-	-	45.45	-

Fuente: Propia del investigador  
Elaboración: Tesista

### **4.3 SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA, ABONOS ORGÁNICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL**

En la siguiente figura, se muestra el diseño final del sistema productivo sostenible para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento de agua residual, dentro de un ciclo aprovechable de los recursos existentes en la granja retama.



## 7 CAPITULO V

### DISCUSIÓN

En la tesis titulada “Diseño de una Granja Integral Autosuficiente”, desarrollada por María Isabel Latorre Boada, en el año 2007, llegó a la conclusión de que el terreno, objeto de la presente investigación, ha estado improductivo por el lapso de más de 30 años consecutivos, salvo excepcionales pequeñas parcelas de producción realizadas en el pasado de maíz fundamentalmente facilitando la implementación de la Granja Integral Autosuficiente en un suelo totalmente conservado, a pesar de que para ello el área es relativamente pequeña. De acuerdo a lo descrito en el párrafo anterior, para el caso particular de la granja retama, ésta actualmente se encuentra en constante producción de frutales y pasto, el cual los sistemas que se planteó como diseño para su posterior implementación se tuvieron que ubicar y ajustar de acuerdo a la infraestructura existente y área de la granja, teniendo ciertas limitantes a diferencia de terreno sin infraestructura. Otro estudio similar desarrolla por Hilda Salinas González, en el año 2012, con la tesis titulada “la granja integral agroecológica: una alternativa para la seguridad alimentaria de las familias campesinas en el Azuay”, coinciden con María Isabel Latorre Boada en indicar que la implementación de sistemas amigables con el ambiente aportan en gran medida al mejoramiento de la producción, la conservación de los suelos, seguridad alimentaria en especial en zonas rurales con bajos recursos económicos, venta de productos excedentes, disminución en el costo de producción; que por más que no sean significativos a corto plazo; permite a mediano y largo plazo tener alternativas productivas económicamente viable disminuyendo costos de mantenimiento de suelo, producción y uso adecuado de agua. En relación a lo comentado en el párrafo

anterior con el diseño presentado en el presente proyecto coincidimos en la preservación de ambiente, a través de conservación de suelos a partir de la producción de abonos orgánicos de estiércol de cuy, la preservación de la calidad de agua mediante un sistema de tratamiento por humedales, cuyos productos de dichos tratamientos podrán aprovecharse dentro del ciclo productivo de la granja.

El Departamento de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica del Perú con apoyo de la GTZ Cooperación Técnica Alemana, en el año 1996, desarrolló el proyecto “casa ecológica”; cuyo proyecto se basó en el uso eficiente de recursos naturales del medio, enfocándose especialmente en las energías renovables de manera que el poblador pueda usar eficientemente los recursos naturales del medio que lo rodea sin degradarlo, logrando que las familias logren una autosuficiencia alimentaria y energética en equilibrio con su ambiente. Para la presente investigación contempla dentro de su diseño un sistema de obtención de energía renovable a partir de excretas de cuy generando biogás para la producción de energía y su uso como combustible para la cocción de alimentos entre otros, adicionando que el biogás se puede obtener de otros tipos de excretas y residuos orgánicos adaptándose a la condiciones rurales y residuos a disposición.

En la tesis titulada “Optimización de la producción de biogás de los biodigestores unifamiliares de la zona rural andina de Perú”, desarrollada por Irene Pérez Bort en el año 2012, llegó a la conclusión que de entre los tres sistemas de digestión anaeróbica evaluados (excretas de vacuno, vacuno – cuy, cuy), la digestión del estiércol vacuno es la más eficiente en la generación de biogás (0,34 m<sup>3</sup> biogás/kg SV), produciendo un 65% más biogás por unidad de materia orgánica

agregada que la codigestión (0,12 m<sup>3</sup> SV ) y un 88% más que el estiércol de cuy (0,04 m<sup>3</sup> biogás /kgSV), el cual bajo las condiciones de dicho estudio, la vacuno llega a producir 0,14 m<sup>3</sup> biogás /m<sup>3</sup>\*día, cantidad suficiente para llegar a abastecer las necesidades de cocción de alimentos de una familia de la zona rural andina compuesta por cinco miembros. Ante lo mencionado el diseño propuesto en la presente investigación estima una generación de 0.436 m<sup>3</sup> biogás al día. Irene indica que la generación de 0,04 m<sup>3</sup> biogás /kgSV es muy baja debido a que el estiércol de cuy empleado en dicho estudio estuvo almacenado por un periodo de 02 meses, perdiendo parte de sus compuestos volátiles por su alto grado de degradación durante ese periodo, por lo que dicha autora y suscrita recomendamos, emplear estiércol fresco para aprovechar al máximo el aporte energético que estos residuos nos puedan brindar, adicionalmente se deberá realizar un precompostado (remojo con agua) para facilitar la degradación dentro del biodigestor. Así mismo, UPC 2007, nos indica que con 1 m<sup>3</sup> de biogás diario (1.2 kg aprox.), el tiempo de duración es de tendrás algo de 3-4 horas al día de gas y una producción aproximada de 80 litros al día de biol; y tomando en consideración lo mencionado líneas arriba por Irene 2012, podemos estimar que el volumen obtenido de biogás (0.436 m<sup>3</sup> biogás/día) a partir del diseño planteado podrá suministrar las necesidades de cocción de alimentos de una familia de la zona rural andina compuesta por cinco miembros a más, aprovechándose por un tiempo aproximado de 1 a 2 horas a más.

En el centro de producción, investigación y capacitación en Agricultura Ecológica y Agroturismo”, liderada por Ulises Moreno y Carmen Felipe, desde 1989, ha permitido a sus propietarios no solo a demostrar la viabilidad ambiental, técnica, social y económica de la pequeña agricultura sino también el de contribuir en la difusión y fortalecimiento de la agricultura ecológica en el Perú hasta la

actualidad, la pareja de ingenieros obtienen de manera constante abono líquido o biol, que no solo es un excelente abono orgánico para sus cultivos, sino que, por su alto contenido de fitohormonas, es un valioso activador del crecimiento y floración de las plantas, en particular de los frutales, el tercer producto del biodigestor que se obtiene anualmente (modelo de biodigestor chino) al realizar la descarga, es el bioabono sólido o biosol, el cual es un excelente abono para los cultivos. Para el caso particular, en el presente estudio se diseñó un modelo de biodigestor tipo taiwanés o tubular, donde la obtención del biol y biogás guarda estrecha relación con la dosificación de carga y la obtención del biosol pudiendo aprovecharse con mayor facilidad, dado que el diseño cuenta con tubería de descarga independiente al del biol, ubicada en la parte inferior del biodigestor.

En la tesis titulada “Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* (carrizo), para el tratamiento de aguas residuales domésticas”, desarrollada por Lawrence E. Quipuzco Ushñahua, en el año 2000, llegó a la conclusión de que el analizar los rendimientos en cada etapa del sistema de tratamiento, se comprobó que el pantano horizontal presenta un mejor rendimiento que el pantano vertical. 2. El nivel de remoción de SST en el pantano horizontal fue alto (97,2%) debido a una buena selección del medio filtrante, lo que aseguró una muy buena filtración, nivel de eficiencia en la remoción de coliformes fecales y entero parásitos en el sistema de tratamiento no fue significativo alcanzando porcentajes de 98 y 62% respectivamente. Al comparar con lo investigado por ESPINOSA 2014, la capacidad de remoción de SST, coliformes fecales, DBO, obtenidos por dicho autor son menores, se especula que esta diferencia se vincula directamente a la selección del medio filtrante y tiempo de retención, conviniendo tomar en cuenta

esta medida para la instalación del diseño planteado en la presente investigación.

Sin dejar de lado, DELGADO, 2011; hace referencia a la Dra. Von Münch donde señala el tratamiento vertical depende del intervalo en que se entrega la carga (de 4 a 8 veces al día) y que los humedales de flujo horizontal (FH) se alimentan de un flujo constante. (...) Los humedales de flujo horizontal necesitan más área que los humedales de flujo vertical y no son recomendados en climas cálidos debido a sus elevadas tasas de evaporación; el cual, para el presente estudio de investigación se tuvo en cuenta estas recomendaciones planteadas por dicho autor y otros, optándose así por hacer un diseño de humedal de flujo horizontal subsuperficial.

En la tesis titulada “Modelo de reactor anaerobio y filtro de flujo vertical inverso para tratamiento de aguas residuales”, desarrollada por Franklin Dionisio Montalvo, en el año 2012, llegó a la conclusión que la mayor eficiencia en remoción de sólidos totales en suspensión y coliformes termo tolerantes fue de 70.30% y 96.14% respectivamente alcanzado por el sistema RAFFVI con Colocasia e.; que en comparación con los resultados obtenidos de la investigación realizada por QUIPUZCO, 2000; su eficiencia en remoción es menor, siendo uno de los factores posibles el tipo de sistema inverso que se aplicó. Ante los resultados obtenidos por estudios referenciados y otros, se determinó para la presente investigación un modelo de tratamiento de aguas residuales por humedales de tipo flujo subsuperficial horizontal, esperando obtener óptimos resultados referente a la remoción de SST y DBO, dentro de la caracterización realizada a las aguas residuales de la granja retama.

## 8 CONCLUSIONES

- El diseño de un sistema productivo sostenible para la obtención de energía, abonos orgánicos y mejoramiento agua residual, en la granja retama, ubicado en el distrito de Huánuco; está conformado por un sistema de biodigestor con excretas de cuyes y un humedal, del cual se obtiene energía (biogás), abono orgánico (biol y biosol) y aguas de calidad que se encuentre dentro de los parámetros establecidos.
- Con el diseño del sistema de obtención de energía limpia y abonos orgánicos a partir de biodigestores con excretas de cuy, es un modelo tipo taiwanés o tubular, con una capacidad volumétrica de  $10 \text{ m}^3$ , para una producción de  $0.436 \text{ m}^3$  biogás/día, cuyo efecto de combustión es de 1-2 horas para la cocción de alimentos; una producción de 230, 93 lt de biol (abono orgánico), donde el volumen abastece abonar 1.65 ha/día de tierra aproximadamente, destinados al cultivo de hortalizas y arbustos (130 -150 lt biol/400 litros de agua por ha) ó 0.66 ha/día para el cultivo de árboles frutales arbustos (300 - 400 lt biol/1000 litros de agua por ha)
- A partir del diseño de tratamiento de aguas residuales, se estableció para un caudal de tratamiento de 0.0046 l/seg (población futura de cinco personas); que comprende de un tratamiento primario de filtro rápido, un tratamiento secundario que es un modelo de flujo subsuperficial tipo horizontal, y un tratamiento terciario que es una zona de decantación donde llega el agua tratada para posterior descarga, el cual se detalla en los cuadros 27,28,31 y 32.
- El área necesaria para el diseño del sistema productivo sostenible para la granja Retama es de  $21.5 \text{ m}^2$ ; donde,  $18,74 \text{ m}^2$  ocupa el sistema de obtención

de energía y abonos orgánicos y 2.76 m<sup>2</sup> el sistema de tratamiento de aguas residuales.

- La capacidad de tratamiento del diseño de biodigestor es de 57.73 Kg de estiércol/día, y la capacidad de tratamiento del diseño aguas residuales es de 0.0046 l/seg

## 9 RECOMENDACION

- Impulsar la implementación de estos tipos de sistemas a las zonas rurales de nuestra región, con el fin de aprovechar nuestros residuos, transformando en energía y reutilizando las aguas residuales, disminuyendo la contaminación de nuestro ambiente.
- Propiciar nexos entre las universidad y poblaciones rurales, con el objetivo de difundir e implementar tecnologías que se adapten a sus actividades rutinarias, intentando solucionar problemas ambientales que afrontan.
- Implementar este tipo de sistema en la granja, a escala piloto para evaluar las variables teóricas planteadas en la investigación realizada, así como determinar los costos de instalación, operación y mantenimiento y así difundir en el medio local y regional para que pueda implementarse en otras granjas que cuentan con condiciones similares al presente diseño.
- Investigar metodologías o tecnologías que permitan obtener mayor eficiencia en la producción de biogás para el aprovechamiento energético.
- Investigar metodologías o tecnologías con costos accesibles para la población rural que permitan obtener un mayor porcentaje de remoción de microorganismos, nutrientes, entre otros, que afectan al cuerpo receptor.
- Plantear diseños que requieran menor área (compactos), para su implementación en áreas rurales con dimensiones reducidas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALCAYAGA, S.; GLARÍA, J.; GUERRERO, L. Regulaciones de temperatura y potencial de hidrógeno en un biodigestor anaerobio de lecho de lodo granular expandida. Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso; 1999.
- ALVAREZ, J. Manual de compostaje para agricultura ecológica. Andalucía, España; 2008.
- ALAERTS, G. Tratamiento de aguas residuales, presentado en “Curso-Taller Internacional sobre Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales”. Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia; 1995
- ARTEAGA. Desarrollo de un Sistema de Biodigestores y Energías Limpias. Lima, Perú; 2009.
- BETETA, T., GONZALEZ, J. Guía Técnica: Construcción y uso de biodigestores tubulares plásticos. Universidad Nacional Agraria. Managua – Nicaragua; 2007.
- BORRERO L. Jaime. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Trabajo final (Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental). Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona; 1999.
- CASTILLO, D., TITO, C. Obtención de Biogás a Partir de Excremento de Cuy en Condiciones Ambientales en Tacna Perú; 2011.
- CEPAL. Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico. [En línea]:<http://www.cepal.org/es/publicaciones/5763-sostenibilidad-ydesarrollo-sostenible-un-enfoque-sistémico>; 2003.

- CHASE R., AQUILANO N. “Dirección y Administración de la Producción y de las Operaciones”, Addison. Wesley, Sexta edición; 1994.
- CUEVAS, C. Producción y los beneficios del biogás, a partir de las heces de los animales; 2010.
- CRITES, RON. Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Colombia. McGraw-Hill Interamericana; 2000.
- CVC., ET AL. El biodigestor. Cartilla básica de extensión No. 1. Convenio Colombo-Alemán en biogás. Cali. Colombia; 1990
- DALADER, C. TITO, D. Obtención de biogás a partir del excremento de cuy por fermentación en batch en condiciones ambientales. Tacna – Perú; 2011.
- DELGADO, R. Proyecto piloto de viviendas saludables para caficultores orgánicos en el palomar Chanchamayo, Junín. Diplomado en Saneamiento Sostenible. Lima, Perú. Universidad Agraria la Molina; 2011.
- DELGADILLO, O. CAMACHO, A. PEREZ, L., ANDRADE, M. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia; 2010.
- DIONISIO, F. Modelo de reactor anaerobio y filtro de flujo vertical inverso para tratamiento de aguas residuales. Tesis Ing. Ambiental. Tingo María, Huánuco. Universidad Nacional Agraria de la Selva; 2012.
- ECODES.[En línea]: <http://www.Consumoresponsable.org/actua/alimentacion/produccionintegrada>; 2011.
- EL PERUANO. Por una política inclusiva en vivienda rural publicado el 14.02.11. Lima, Peru; 2011.

- EL PERUANO. [EN Línea]. <http://www.elperuano.pe/Edicion/noticia.aspxkey=MMHaKAWP6QQ>. Lima, Peru; 2011.
- ESPINOSA, C. Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Maestría en ingeniería civil, escuela colombiana de ingeniería - Julio Garavito. Bogotá, Colombia; 2014.
- FAO. El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Biocombustibles: perspectivas, riesgos y oportunidades. Roma; 2008.
- FAO. [En línea]: [http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/manual\\_biogas.pdf](http://www.fao.org/alc/file/media/pubs/2011/manual_biogas.pdf); 2011.
- FERNANDEZ, J. Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación. Humedales artificiales para depuración; 2005.
- GTZ-CVC-OEKOTOP. Difusión de la tecnología del biogás en Colombia. Documentación del Proyecto. Cali; 1987.
- GUZMÁN S., J.C. Apuntes sobre consumo energético de biomasa. Diplomado en Energía SNAP, Proyecto No. 003/2008, PROLEÑA Soluciones Energéticas eficientes, La Paz, Bolivia; 2008.
- GARCIA AGUDO, E., & LUDWIG, R. Militamicos como sistemas de pretratamiento. En I. Salas (Ed.). 2000
- GUEVARA V., A. Fundamentos básicos para el diseño de biodigestores anaeróbicos rurales. Producción de gas y saneamiento de efluentes. Documento OPS/CEPIS/96. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – Organización Panamericana de la Salud. Lima, Peru; 1996.

- HERNÁNDEZ, C. Segundo Forum Nacional de Energía: Biogás. La Habana, Cuba; 1990.
- HILBERT, J.A. Manual para la producción de biogás. Instituto de Ingeniería Rural, INTA Castelar, Morón, Argentina. 54 p. 2003
- HOFFMAN, H. Introducción a la biología de procesos de tratamiento de aguas residuales”, exposición del 17 de noviembre del 2011, como parte del Diplomado de Saneamiento Sostenible. Universidad Agraria La Molina. Lima, Peru; 2011.
- INEI, Informe Técnico: Evolución de la Pobreza al 2009, [En línea]: [http://censos.inei.gob.pe/DocumentosPublicos/Pobreza/2009/Infome\\_Pobreza.pdf](http://censos.inei.gob.pe/DocumentosPublicos/Pobreza/2009/Infome_Pobreza.pdf) (Consultado el 17.06.16)
- I.E.1161.(Bioabonos - Mirones Alto. Obtenido de <http://bioabonos.blogspot.pe/2010/04/el-biol.html>. 10 de abril de 2010.
- INSPIRULINA. Lo sostenible no es sustentable. [En línea]: <http://www.inspirulina.com/lo-sostenible-no-es-sustentable.html>. 2012.
- LATORRE, M. Diseño de una Granja Integral Autosuficiente. Tesis Ing. Ambiental. Universidad Internacional Sek del Ecuador. Quito, Ecuador; 2007.
- LARA, J. Depuración de aguas residuales urbanas mediante humedales artificiales [tesis de maestría], Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña, Máster en ingeniería y gestión ambiental; 1999.
- M.A. Hadzich M. “Guíese Ud. Mismo La Casa Ecológica – PUCP”, Grupo de Apoyo al Sector Rural” Lima, Perú. Universidad Pontífice Católica del Perú; 1996.

- MARTI, J. Biodigestores familiares guía de diseño y manual de instalación. La Paz, Bolivia; 2008.
- MINCETUR. Manual técnico e difusión de Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Albergues en Zonas Rurales – área de Gestión Ambiental. Lima, Perú; 2008.
- MORENO, U., FELIPE C. Casa Blanca, centro de producción, investigación y capacitación en Agricultura Ecológica y Agroturismo. 1989.
- MOSCOSO, J. y LEÓN, R. Curso de tratamiento y uso de aguas residuales. OPS/CEPIS/PUB 96.20. Lima, Perú; 1996.
- MVCS. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, [En línea]: <http://www.vivienda.gob.pe/pronasar/qs.html>. 2011.
- MVCS, PRONASAR, MIMDES, FONCODES. Parámetros de diseño de infraestructura de agua y saneamiento para centros poblados rurales. Lima, Perú; 2004.
- NAVARRO Pedreño, J., MORAL Herrero, GÓMEZ Lucas & MATAIX Beneyto. Residuos orgánicos y agricultura. secretariado de Publicaciones, Universidad de Alicante; 1995.
- OLAYA, Y. GONZALEZ, L. Fundamentos para el diseño de biodigestores. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Modulo para la asignatura de construcciones agrícolas; 2009.
- ORDÓÑEZ, R. Plan de Introducción de la carne de cuy en Lima Metropolitana: estudio de mercado y propuesta empresarial. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú; 2003.

- OSNAYA, M. Propuesta de Diseño de un Humedal Artificial para el Tratamiento de Aguas Residuales en la Universidad de la Sierra Juárez. Universidad del Sierra Juárez. México; 2012.
- POSSO, F. Energía y ambiente: Pasado, presente y futuro. Parte Dos: Sistema energético basado en energías alternativas. *Geoenseñanza*, Vol. 7, (1-2), 2002.
- PEREZ, I. Optimización de la producción de biogás de los biodigestores unifamiliares de la zona rural andina de Perú. Universidad Politecnica de Cataluña. Cataluña, España, 2012.
- POINCELOT, R.P. A Scientific Examination of the Principles and Practices of Composting. *Compost Sci*; 1974.
- PUCP. Proyecto “casa ecológica”. Pontificia Universidad Católica del Perú con apoyo de la GTZ Cooperación Técnica Alemana. Lima, Peru; 1996.
- QUIPUZCO, L. Evaluación del comportamiento de dos pantanos artificiales instalados en serie con *Phragmites australis* para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Lima, Perú. Universidad Agraria la Molina; 2000.
- RIVERA Diaz, F., AREVALO Sanchez, K. Tesis “Dimensionamiento de un humedal artificial como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales en la Universidad Nacional de Ucayali”. Universidad Nacional de Ucayali”. Pucallpa, Perú; 2015.
- RODRIGUEZ, L. Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos – FORSU. Tesis Especialista en Gestión de Residuos Sólidos. Universidad EAN. Bogotá, Colombia; 2014.

- SAGARPA. La granja ecológica integral. México; 2007.
- SALINAS G, H. Tesis “la granja integral agroecológica: una alternativa para la seguridad alimentaria de las familias campesinas en el Azuay”. Tesis de ingeniero agrónomo. Universidad de Cuenca, Ecuador; 2012.
- SILVA, J.P. Humedales construidos. Universidad del Valle, Colombia, 2002
- UPC - UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CATALUNYA. Manual de instalación de un biodigestor familiar tipo manga para zonas alto-andinas manual de instalación de un Biodigestor familiar tipo manga para zonas alto-andinas. Cataluña, España; 2007.
- UPME. Guía para la implementación de sistemas de producción de biogás. 1 ed. Bogotá, Colombia; 2003.
- VAN HAANDEL, A. y LETTINGA, G. Tratamiento anaeróbico de esgotos – Um Manual para Regiones de Clima Quente. EpGraf, Campina Grande – PB, Brasil; 1998
- VARNERO, M.T. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile; 1991.
- VOTCHEN, P. SCHOWANEK, D. y VERSTRAETE, W. Aerobic y anaerobic wastewater treatment. Presentado en “5to. Simposio sobre Digestión Anaeróbica. Bologña, Italia; 1988.

**ANEXOS**

Fig. 01. Muestra para el pesado de excretas de cuy.



Fig. 02. Muestra de aguas residuales




**SECCIÓN DE ANÁLISIS  
DE AGUAS Y ALIMENTOS**
**INFORME DE ENSAYO  
CERTIFICADO DE ANALISIS No 16.10.15**
**I. SOLICITANTE:**

RAZÓN SOCIAL	IVET V. FALCON RAMIREZ
RESPONSABLE	La Solicitante
DIRECCIÓN	Jr. Independencia N° 140 -Huánuco
TELEFONO	951-611982

**II. INFORMACION DE SERVICIO:**

MUESTRA	<b>AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS (LAVADO)</b>
PROYECTO DE TESIS	<i>DISEÑO DE SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA OBTENCION DE ENERGIA Y ABONOS ORGANICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN LA GRANJA RETAMA DEL DISTRITO DE HUANUCO</i>
PROCEDENCIA DE MUESTRAS	Granja Retama – Huayocoto – Km 09 Carretera Huánuco – La Unión
TECNICA DE MUESTREO	Muestreo directo
FORMA Y PRESENTACION	Botella de plástico, herméticamente cerrada.
CANTIDAD RECIBIDA	2000 mL. Aprox.
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Carlos Gayoso A. Blgo Ricardo Ayala P
MUESTREADO POR	La solicitante
ANALISIS SOLICITADOS	<b>FISICOQUIMICO Y MICROBIOLÓGICO</b>
FECHA INICIO DE ENSAYO	2016-10-14
FECHA TERMINO DE ENSAYO	2016-10-24
FECHA EMISION DE RESULTADOS	2016-10-24

**III. DOCUMENTO NORMATIVO DE REFERENCIA:**

BASE TECNICA	<b>D.S.N° 003-2010/MINAM</b> <i>Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales</i> <b>D.S. N° 002-2008-MINAM</b> <i>Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua</i> <b>N.T.P. 214.003 / D.S. N° 031 – 2010 – SA</b> <i>"Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano"</i>
NIVEL DE MUESTREO	S-1 NCA 6,5 – Muestreo simple - Muestreo directo
TIPO DE MUESTREO	n.p.

**\*BAJO RESPONSABILIDAD DEL SOLICITANTE**



1de 2

**IV. RESULTADOS DE LA INSPECCION Y MUESTREO:**

**RESULTADOS**

**ANALISIS FISICOQUIMICO**

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	L.M.P.
TEMPERATURA	°C	Termométrico	20,6	< 35
pH	---	Potenciométrico	5,6	6,5 – 8,5
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	uScm/L	Conductímetro	216	1 500
ACEITES Y GRASAS	mg/L	Soxhlet mod.	<0,01	20
SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSION (STS)	ml/l	Gravimétrico	14,3	20
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO5)	mg DBO <sup>-2</sup> /L	Winkler	38,7	250
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO AMONIO	mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L	Titrimétrico	<0,01	250
	mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L	Colorimétrico	0,12	0,50

**ANALISIS MICROBIOLÓGICO**

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	L.M.P.*
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	Fermentación en tubos múltiples	17 500	20 000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 mL	Fermentación en tubos múltiples	3 400	5 000

\* LIMITE MAXIMO PERMISIBLE / \*\*<1,8 EN LA TECNICA DE N.M.P EQUIVALE A AUSENCIA



**Ricardo E. Ayala Poma**  
BIÓLOGO - MICROBIÓLOGO  
CIP N° 11894



**SECCIÓN DE ANÁLISIS  
DE AGUAS Y ALIMENTOS**

**INFORME DE ENSAYO  
CERTIFICADO DE ANALISIS No 16.10.16**

**I. SOLICITANTE:**

RAZÓN SOCIAL RESPONSABLE	IVET V. FALCON RAMIREZ
DIRECCIÓN	La Solicitante
TELEFONO	Jr. Independencia N° 140 -Huánuco
	951-611982

**II. INFORMACION DE SERVICIO:**

MUESTRA	AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS CON ADICION DE RESIDUOS SANITARIOS
PROYECTO DE TESIS	DISEÑO DE SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA OBTENCION DE ENERGIA Y ABONOS ORGANICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN LA GRANJA RETAMA DEL DISTRITO DE HUANUCO
PROCEDENCIA DE MUESTRAS	Granja Retama – Huayocoto – Km 09 Carretera Huánuco – La Unión
TECNICA DE MUESTREO	Muestreo directo
FORMA Y PRESENTACION	Botella de plástico, herméticamente cerrada.
CANTIDAD RECIBIDA	2000 mL. Aprox.
ANALISTA RESPONSABLE	Blgo. Carlos Gayoso A. Blgo Ricardo Ayala P
MUESTREADO POR	La solicitante
ANALISIS SOLICITADOS	<b>FISICOQUIMICO Y MICROBIOLOGICO</b>
FECHA INICIO DE ENSAYO	2016-10-14
FECHA TERMINO DE ENSAYO	2016-10-24
FECHA EMISION DE RESULTADOS	2016-10-24

**III. DOCUMENTO NORMATIVO DE REFERENCIA:**

BASE TECNICA	D.S.N° 003-2010/MINAM <i>Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales</i> D.S. N° 002-2008-MINAM <i>Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua</i> N.T.P. 214.003 / D.S. N° 031 – 2010 – SA <i>"Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano"</i>
NIVEL DE MUESTREO	S-1 NCA 6,5 – Muestreo simple - Muestreo directo
TIPO DE MUESTREO	n.p.

**\*BAJO RESPONSABILIDAD DEL SOLICITANTE**



**IV. RESULTADOS DE LA INSPECCION Y MUESTREO:**

**RESULTADOS**

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO**

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	L.M.P.
TEMPERATURA	°C	Termométrico	22,1	< 35
pH	---	Potenciométrico	7,30	6,5 – 8,5
ACEITES Y GRASAS	mg/L	Soxhlet mod.	<0,01	20
SOLIDOS TOTALES EN SUSPENSION (STS)	ml/l	Gravimétrico	45,5	20
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	uScm/L	Conductimetro	59,0	1 500
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO5)	mg DBO <sup>2</sup> /L	Winkler	78,9	250
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	mg Cl <sup>-</sup> /L	Titrimétrico	<0,01	250
AMONIO	mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /L	Colorimétrico	0,32	0,50

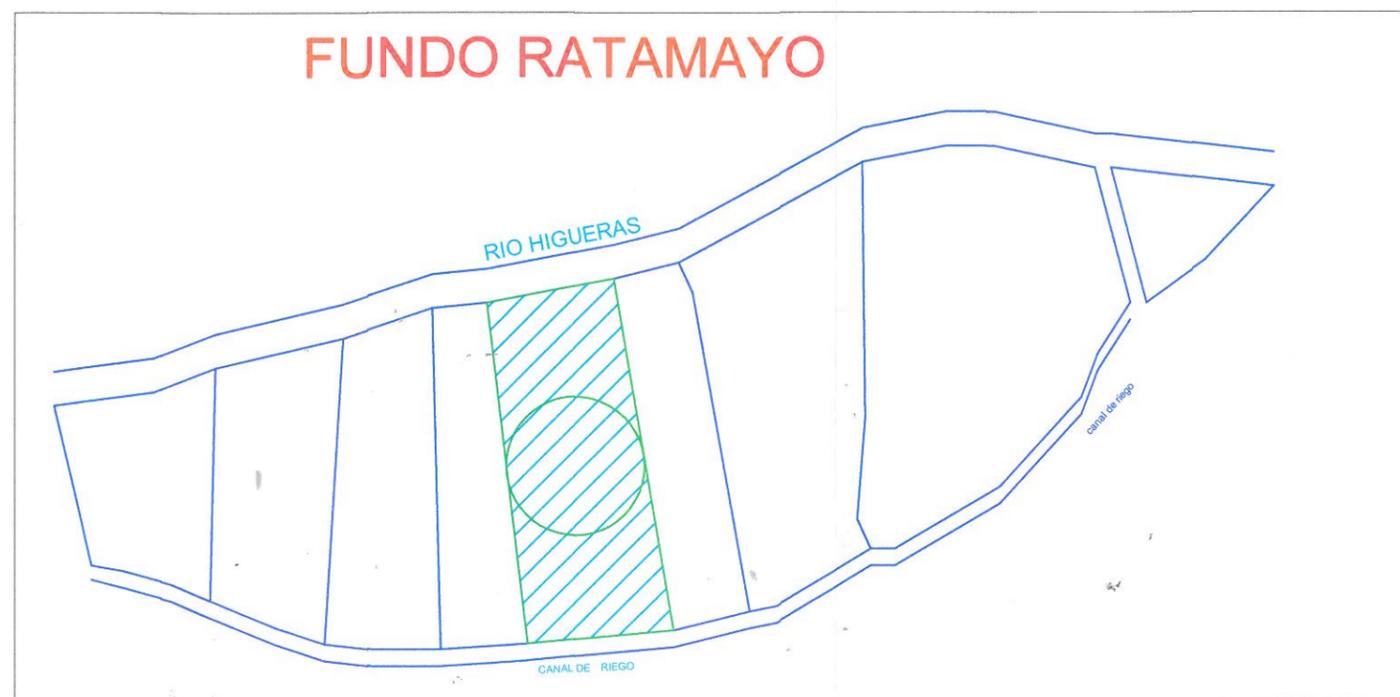
**ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO**

PARAMETRO	UNIDADES	METODO	RESULTADO	L.M.P.*
COLIFORMES TOTALES	NMP/100 mL	Fermentación en tubos múltiples	25 000	20 000
COLIFORMES TERMOTOLERANTES	NMP/100 mL	Fermentación en tubos múltiples	7 800	5 000

\* LIMITE MAXIMO PERMISIBLE / \*\*<1,8 EN LA TECNICA DE N.M.P EQUIVALE A AUSENCIA

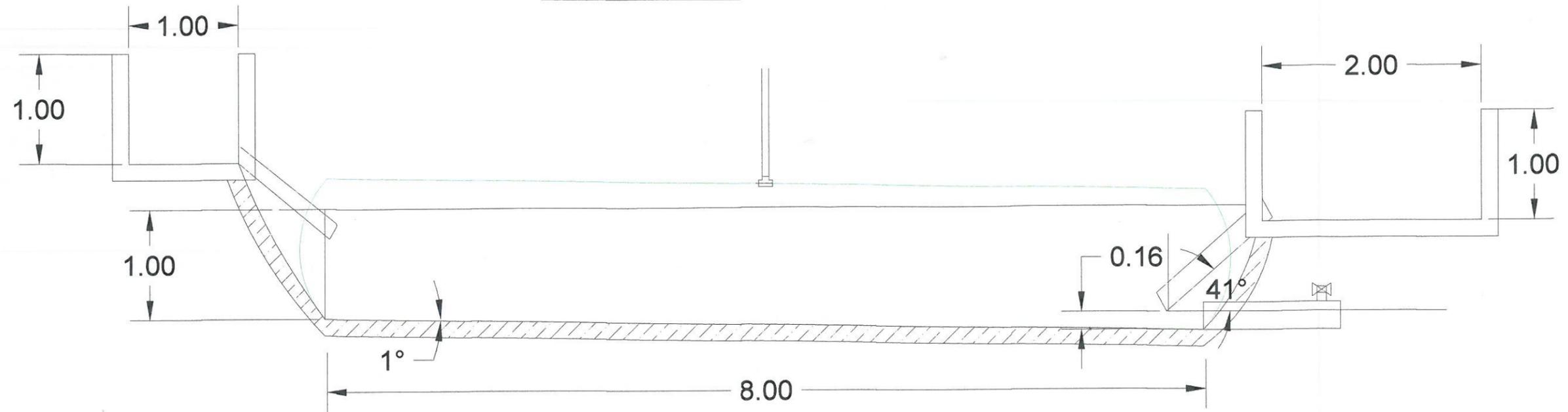


**BIOVital**  
Ricardo E. Ayala Poma  
BIÓLOGO MICROBIOLOGO  
D.S. N° 11892



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN</b> ESCUELA DE POST GRADO MAESTRIA EN GESTIÓN Y NEGOCIOS MENCIÓN GESTIÓN DE PROYECTOS		
PROYECTO: DISEÑO DE SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA Y ABONOS ORGÁNICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN LA GRANJA RETAMA DEL DISTRITO DE HUÁNUCO	FECHA Y VERSIÓN: <b>DICIEMBRE 2016</b>	
PLANO: <b>PLANO DE UBICACION</b>	ESCALA: <b>INDICADA</b>	
ESPECIALIDAD: <b>GESTION DE PROYECTOS</b>	LÁMINA N°: <b>A-01</b>	
TESISISTA: <b>FALCON RAMIREZ, IVET VICTORIA</b>	01 DE 04	

# VISTA LATERAL



# BIODIGESTOR VISTA DE PLANTA



**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN**  
**ESCUELA DE POST GRADO**  
 MAESTRÍA EN GESTIÓN Y NEGOCIOS MENCIÓN GESTIÓN DE PROYECTOS



PROYECTO:  
**DISEÑO DE SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA Y ABONOS ORGÁNICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN LA GRANJA RETAMA DEL DISTRITO DE HUÁNUCO**

FECHA Y VERSIÓN:  
**DICIEMBRE 2016**

PLANO:  
**DISEÑO DE BIODIGESTOR - ARQUITECTURA**

ESCALA:  
**INDICADA**

ESPECIALIDAD:  
**GESTIÓN DE PROYECTOS**

DISEÑO / DIBUJANTE:

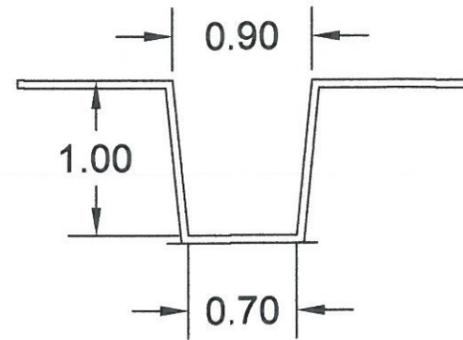
LÁMINA N°

TESISTA:  
**FALCON RAMIREZ, IVET VICTORIA**

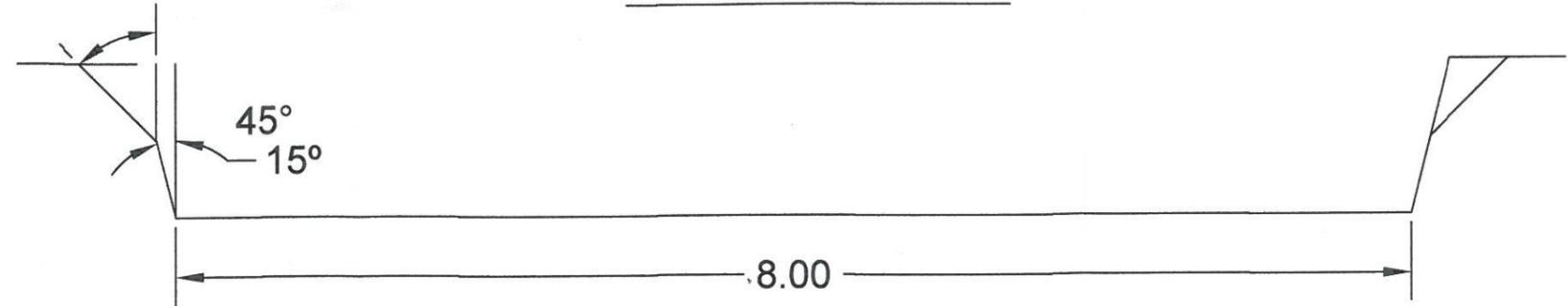
**A-02**

02 DE 04

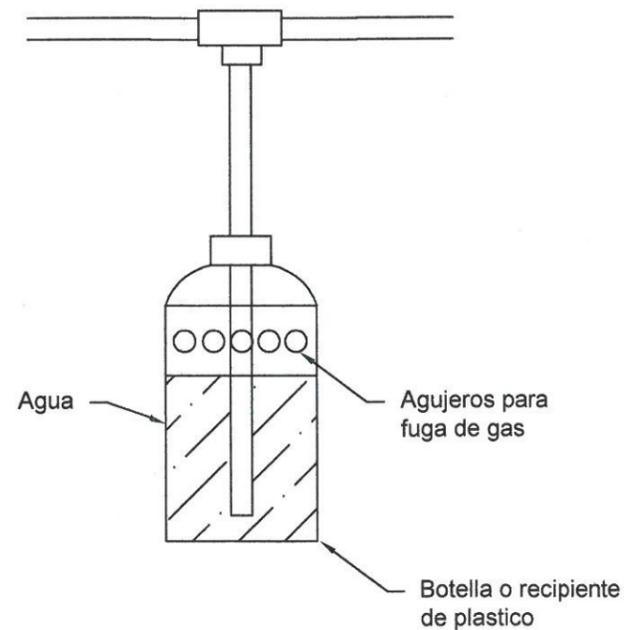
## ZANJA CORTE A



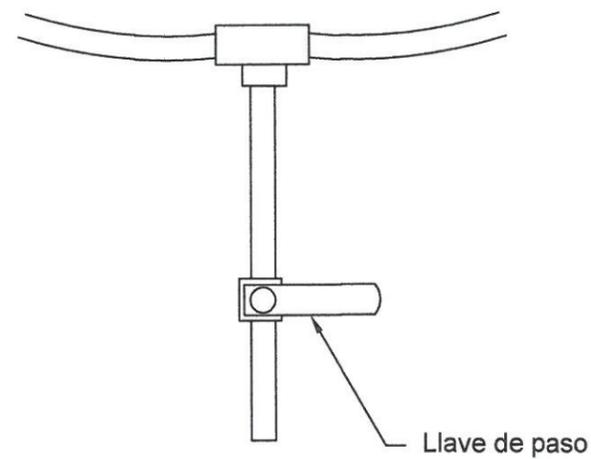
## ZANJA CORTE B



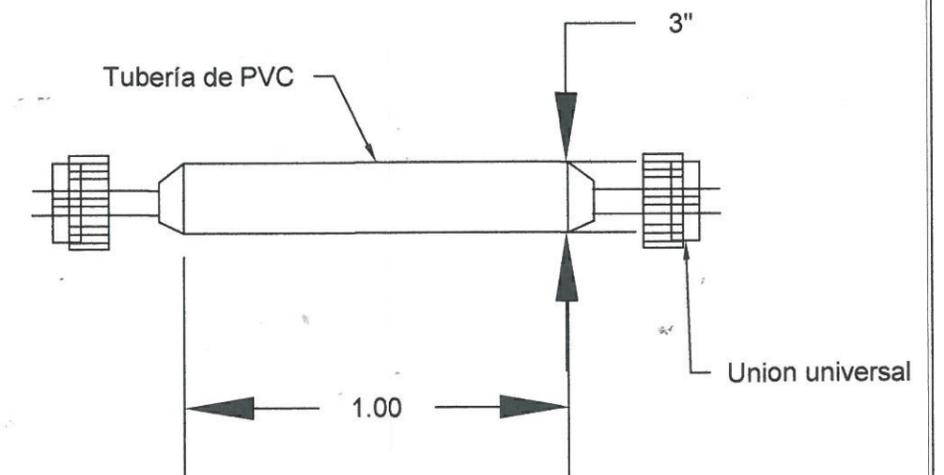
### Válvula de seguridad



### Purga de agua

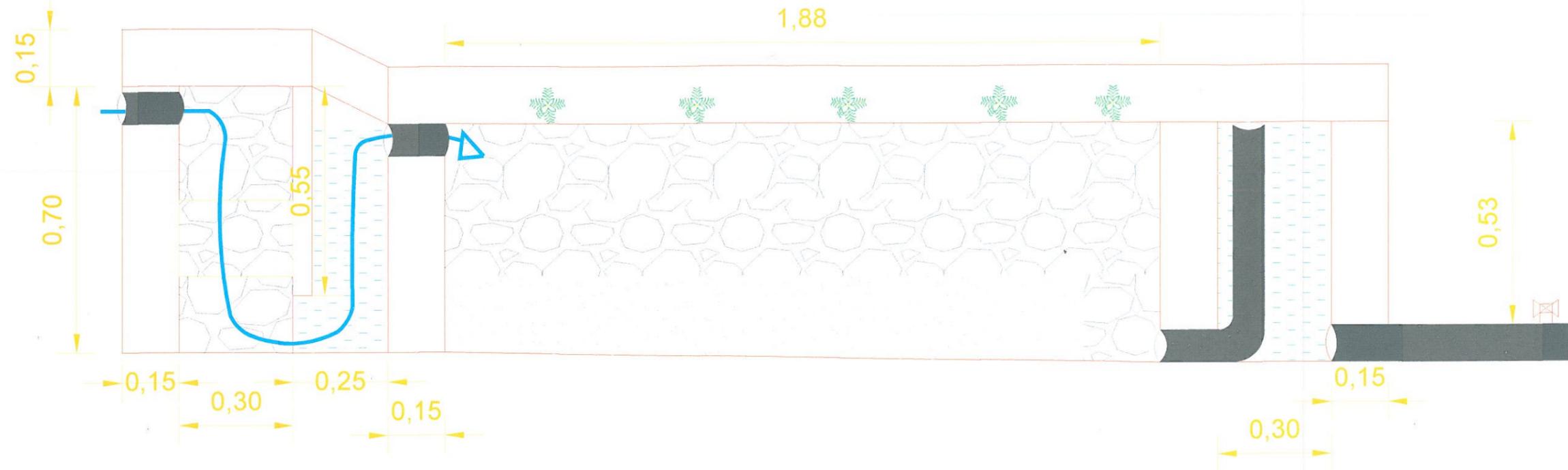


### Filtro de H<sub>2</sub>S

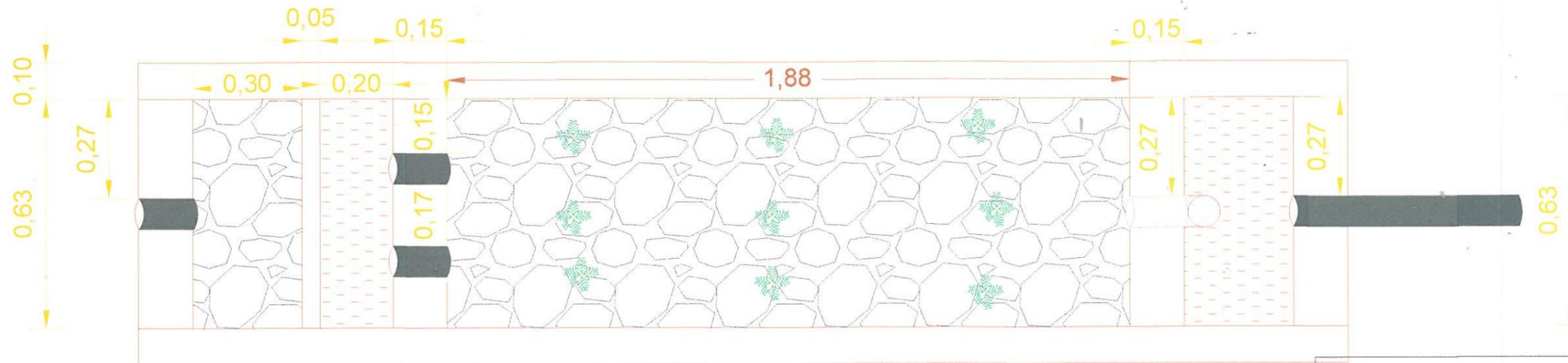


 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZAN</b> ESCUELA DE POST GRADO MAESTRÍA EN GESTIÓN Y NEGOCIOS MENCIÓN GESTIÓN DE PROYECTOS		
PROYECTO: DISEÑO DE SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA Y ABONOS ORGÁNICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN LA GRANJA RETAMA DEL DISTRITO DE HUÁNUCO	FECHA Y VERSIÓN: <b>DICIEMBRE 2016</b>	
PLANO: <b>DISEÑO DE BIODIGESTOR - ARQUITECTURA</b>	ESCALA: <b>INDICADA</b>	
ESPECIALIDAD: <b>GESTION DE PROYECTOS</b>	LAMINA N°: <b>A-03</b>	
TESISISTA: <b>FALCON RAMIREZ, IVET VICTORIA</b>	03 DE 04	

# VISTA LATERAL



# VISTA DE PLANTA



 <b>UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILIO VALDIZÁN</b> ESCUELA DE POST GRADO MAESTRÍA EN GESTIÓN Y NEGOCIOS MENCIÓN GESTIÓN DE PROYECTOS		
PROYECTO: DISEÑO DE SISTEMA PRODUCTIVO SOSTENIBLE PARA LA OBTENCIÓN DE ENERGÍA Y ABONOS ORGÁNICOS Y MEJORAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, EN LA GRANJA RETAMA DEL DISTRITO DE HUÁNUCO	FECHA Y VERSIÓN: <b>DICIEMBRE 2016</b>	
PLANO: <b>DISEÑO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES - ARQUITECTURA</b>	ESCALA: <b>INDICADA</b>	
ESPECIALIDAD: <b>GESTIÓN DE PROYECTOS</b>	LÁMINA N°: <b>A-04</b>	
TESISISTA: <b>FALCON RAMIREZ, IVET VICTORIA</b>	04 DE 04	