

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“IMPLEMENTACION DE UNA PLANTA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS EN LA  
LOCALIDAD DE HUACA III ETAPA EN EL  
DISTRITO DE SANTA, BASADA EN EL DISEÑO  
HIDRÁULICO”**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**TESISTA:**

**Bach. RAMOS LÓPEZ, Paul Jesús**

**ASESOR:**

**Ing. SPARROW ALAMO, Edgar**

**NUEVO CHIMBOTE – PERU  
2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**“IMPLEMENTACION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS SERVIDAS EN LA LOCALIDAD DE HUACA III ETAPA  
EN EL DISTRITO DE SANTA, BASADA EN EL DISEÑO  
HIDRAULICO”**

**TESISTA:**

**Bach. RAMOS LÓPEZ, Paul Jesús**

**REVISADO POR:**

---

**Ing. SPARROW ALAMO, Edgar**

**ASESOR**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**“IMPLEMENTACION DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS SERVIDAS EN LA LOCALIDAD DE HUACA III ETAPA  
EN EL DISTRITO DE SANTA, BASADA EN EL DISEÑO  
HIDRAULICO”**

**REVISADO Y APROBADO POR EL JURADO EVALUADOR:**

---

**M.Sc. Hugo Rojas Rubio**  
Presidente

---

**Ing. Edgar Sparrow Alamo**  
Secretario

---

**Ing. Cirilo Lino Olascuaga Cruzado**  
Integrante

## **DEDICATORIA**

*A mis padres, Gonzalo y Teresa quienes son la razón de mi vida y supieron fomentar en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida.*

*Mis palabras no son suficientes para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles, porque el orgullo que sienten por mí, fue el motor que me hizo ir hasta el final. Este presente informe se los dedico, porque estoy admirado de sus fortalezas y por lo que han hecho de mí.*

*A ellos espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.*

**RAMOS LÓPEZ PAÚL JESÚS**

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero agradecerle a Dios por haberme guiado por el buen camino y estar conmigo a cada momento de mi vida. Gracias te doy por darme la sabiduría e inteligencia para desempeñarme en mis estudios.*

*Agradezco a mi asesor el Ing. Edgar Sparrow Alamo por haber confiado en mi persona, por la paciencia y por la dirección de este trabajo.*

*A mis Docentes, de la escuela Académica Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional del Santa, quienes por guiarme y compartir experiencias que me consolidan como profesional.*

*Igualmente agradezco a mis amigos y familia, que estuvieron conmigo brindándome el apoyo necesario e incondicional para seguir este difícil, pero gratificante camino.*

**RAMOS LÓPEZ PAÚL JESÚS**

## **RESUMEN**

El principal objetivo de este proyecto ha sido la elaboración de un sistema para una planta de tratamiento de aguas servidas, para la localidad de La Huaca III Etapa basado en el diseño hidráulico. Se identifica que el más grave problema que existe en nuestra zona de estudio, es que no cuenta con un sistema de alcantarillado y de tratamiento de las aguas servidas, ni tampoco de un plan de disposición final de esta. Los resultados de esta investigación arrojan que el agua que se vierte sobrepasa los límites permitidos por la Norma de recursos hídricos y reúso de agua, lo que trae consecuencia desfavorable para los habitantes ya que el agua es vertida directamente a las zonas de riego. La solución es la implementación de una planta de tratamiento, la que posteriormente pueda ser usada en otras comunidades de similares características.

## **ABSTRACT**

The main objective of this project was the development of a system to a treatment plant wastewater to the town of La Huaca Stage III based on hydraulic design. It is identified that the most serious problem in our study area, is that you do not have a sewage system and wastewater treatment, nor a plan for the disposal of this. The result of this research shed water being poured exceeds the limits allowed by the standard of water and reuse of water resources, which bring adverse consequences for the inhabitants.

The solution is the implementation of a treatment plant, which later can be used in other communities with similar characteristics.

## INDICE

Dedicatoria	
Agradecimiento	
Resumen	
Abstract	
Índice	
<b>INTRODUCCION</b>	<b>01</b>
<b>CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES</b>	<b>02</b>
1.1. <b>ASPECTO INFORMATIVO</b>	<b>02</b>
1.1.1. Titulo	02
1.1.2. Tipo de investigación	02
1.1.3. Ubicación	03
1.2. <b>PLAN DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>03</b>
1.2.1. Planteamiento del problema	03
1.2.2. Objetivos	04
1.2.2.1. Objetivo generales	04
1.2.2.2. Objetivos específicos	04
1.3. <b>HIPOTESIS</b>	<b>04</b>
1.4. <b>VARIABLES</b>	<b>05</b>
1.4.1. Variable independiente	05
1.4.2. Variable dependiente	05
1.5. <b>TIPO DE DISEÑO</b>	<b>05</b>
1.6. <b>ESTRATEGIA DE TRABAJO</b>	<b>06</b>
1.6.1. Método de estudio	06
1.6.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	06

1.6.3. Técnicas de procesamiento de datos.....	07
<b>CAPITULO II: MARCO TEORICO.....</b>	<b>07</b>
<b>2.1. SITUACION GLOBAL DE LAS PLANTAS SERVIDAS.....</b>	<b>07</b>
2.1.1. Situación de las aguas servidas en países desarrollados.....	07
2.1.2. Situación de las aguas servidas a nivel nacional.....	09
2.1.3 Situación de las aguas servidas a nivel local.....	14
<b>2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO.....</b>	<b>15</b>
2.2.1 Ubicación.....	15
2.2.2 Clima.....	16
2.2.3 Población.....	17
<b>2.3 MARCO LEGAL DE AGUAS SERVIDAS EN EL PERÚ.....</b>	<b>18</b>
2.3.1 Roles de las entidades competentes.....	22
<b>2.4 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS SERVIDAS.....</b>	<b>24</b>
2.4.1 Características físicas y químicas de las aguas servidas.....	24
2.4.2 Características biológicas y microorganismos de las aguas servidas.....	26
<b>2.5 TIPOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS.....</b>	<b>29</b>
2.5.1 Tratamiento Preliminar.....	31
2.5.1.1 Desbaste.....	32
2.5.1.2 Tamizado.....	32
2.5.1.3 Desarenador.....	34
2.5.1.4 Desaceitador y desengrasador.....	35
2.5.2 Tratamiento Primario.....	35
2.5.2.1 Sedimentación.....	36
2.5.2.2 Coagulación y Floculación.....	38
2.5.2.3 Tanques Imhoff.....	40

2.5.2.4 Digestión Primaria de Lodos .....	42
2.5.3 Tratamiento Secundario.....	43
2.5.3.1 Lagunas aireadas.....	45
2.5.3.2 Proceso de lodos activados .....	45
2.5.3.3 Procesos Anaerobios .....	46
2.5.4 Tratamiento Terciario.....	48
2.5.5 Estructuras hidráulicas.....	49
2.5.5.1 Vertedero de control.....	49
<b>2.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO ACTUAL.....</b>	<b>52</b>
<b>2.7 PLANTAS DE TRATAMIENTO EN POBLACIONES PEQUEÑAS.....</b>	<b>53</b>
2.7.1 Problemas específicos asociados a las pequeñas comunidades.....	54
2.7.2 Caudales y características.....	55
2.7.2.1 Caudales de agua servida.....	55
2.7.2.2 Características del agua servida.....	56
<b>2.8 ELECCION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO.....</b>	<b>56</b>
2.8.1 Consideraciones generales para la elección del proceso de tratamiento.....	56
2.8.2 Aplicación de la matriz de selección.....	59
2.8.3 Sistema de tratamiento recomendado.....	62
<b>2.9 DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE FILTRO LENTO.....</b>	<b>62</b>
2.9.1 Descripción general .....	62
2.9.1.1 Características.....	62
2.9.1.2 Efectos.....	63
2.9.1.3 Tipos .....	64
2.9.1.4 Restricciones y condiciones .....	64
2.9.2 Descripción del proceso .....	65

2.9.3	Cálculos hidráulicos.....	66
2.9.3.1	Teorema de Bernoulli.....	66
2.9.4	Parámetros de diseño.....	69
2.9.4.1	Pre filtro sedimentador.....	69
2.9.4.2	Filtro lento.....	71
<b>2.10</b>	<b>PROYECTOS REALIZADOS AFINES CON LA TESIS.....</b>	<b>76</b>
	<b>CAPITULO III: MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS.....</b>	<b>77</b>
<b>3.1</b>	<b>DISEÑO HIDRAULICO.....</b>	<b>77</b>
3.1.1	Cálculo de caudal de diseño.....	77
3.1.1.1	Cálculo de población futura.....	77
3.1.1.2	Calculo de caudales.....	79
3.1.2	Cálculos de mecánica de fluidos.....	80
3.1.3	Cálculo hidráulico del tratamiento preliminar.....	83
3.1.3.1	Rejas.....	83
3.1.3.2	Sedimentador.....	83
3.1.4	Cálculo hidráulico del tratamiento secundario.....	86
3.1.4.1	Filtro lento.....	86
<b>3.2</b>	<b>PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA PTAR FILTRO LENTO.....</b>	<b>90</b>
	<b>CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS.....</b>	<b>92</b>
4.1.	Análisis y discusión de resultados.....	92
	<b>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>94</b>
5.1.	Conclusiones.....	94
5.2.	Recomendaciones.....	96
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....</b>	<b>99</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## **INDICE DE TABLAS Y FIGURAS**

### **TABLAS.**

Tabla N° 01: Características de aguas servidas de países industrializados y en desarrollo.....	<b>09</b>
Tabla N° 02: Coberturas de agua y saneamiento.....	<b>11</b>
Tabla N° 03: Plantas de tratamiento en Perú.....	<b>13</b>
Tabla N° 04: Información Meteorológica Mensual 2012 – 2013.....	<b>17</b>
Tabla N°05: Número de habitantes residen en la Zona La Huaca III Etapa.....	<b>18</b>
Tabla N° 06: Marco Legal y Normativo.....	<b>19</b>
Tabla N°07: Categoría de las aguas para el reúso.....	<b>29</b>
Tabla N°08: Parámetro para riego de vegetales y bebida de animales.....	<b>29</b>
Tabla N° 09: Plantas de tratamientos existentes en el distrito de Santa.....	<b>52</b>
Tabla N° 10, Datos obtenidos con ensayos de laboratorio.....	<b>53</b>
Tabla N° 11, Comparación de los datos mínimos y los obtenidos en el laboratorio.....	<b>53</b>
Tabla N° 12: Clasificación de alternativas por parámetro.....	<b>57</b>
Tabla N° 13: Determinación de valores de importancia relativa (VIR).....	<b>58</b>
Tabla N° 14: Asignación de valores, VIR.....	<b>58</b>
Tabla N° 15: Matriz de decisión.....	<b>59</b>
Tabla N° 16: Orden de elegibilidad.....	<b>59</b>
Tabla N° 17: Resumen de características de la PTAR evaluadas.....	<b>59</b>
Tabla N° 18: Clasificación de alternativas por parámetro.....	<b>60</b>
Tabla N° 19: Determinación de valores de importancia relativa (VIR).....	<b>60</b>
Tabla N° 20: Asignación de valores,por orden de clasificación de alternativas.....	<b>61</b>
Tabla N° 21: Matriz de decisión.....	<b>61</b>
Tabla N° 22: Orden de elegibilidad.....	<b>61</b>

Tabla N° 23: Propuesta por Camp de acuerdo al diámetro de partícula.....	<b>70</b>
Tabla N° 24: Clasificación de Suelos Alemania - 1936, propuesta por Kopercky.....	<b>70</b>
Tabla N° 25: Velocidades de sedimentación w calculado por Arkhangelski en función del diámetro de partículas.....	<b>71</b>
Tabla N° 26: Relación Número de horas de servicio/día.....	<b>72</b>
Tabla N° 27: Relación Número de cajas por cantidad de población.....	<b>73</b>
Tabla N° 28: Parámetros de diseño elegidos para las rejillas.....	<b>83</b>
Tabla N° 29: Relación entre las dimensiones del sedimentador y tiempo.....	<b>84</b>
Tabla N° 30: Parámetros elegidos para el diseño del sedimentador.....	<b>86</b>
Tabla N° 31: Parámetros elegidos para la altura del filtro.....	<b>87</b>
Tabla N° 32: Parámetros elegidos para forma de caja.....	<b>87</b>
Tabla N° 33: Parámetros elegidos para número de cajas.....	<b>88</b>
Tabla N° 34: Parámetros elegidos para tipo de drenaje.....	<b>88</b>
Tabla N° 35: Parámetros elegidos para el lecho filtrante.....	<b>88</b>
Tabla N° 36: Parámetros elegidos para capa sobrenadante.....	<b>89</b>
Tabla N° 37: Parámetros elegidos para regulación de entrada y salida.....	<b>89</b>
Tabla N° 38: Valores para la medición de caudales.....	<b>90</b>
Tabla N° 39: Parámetros de diseño de la planta de tratamiento.....	<b>90</b>

## **FIGURAS**

Figura N° 01: Población en el Perú.....	<b>09</b>
Figura N° 02: Evolución del tratamiento de aguas servidas.....	<b>12</b>
Figura N°03: Mapa del Perú.....	<b>15</b>
Figura N° 04: Mapa Provincial de Ancash.....	<b>15</b>
Figura N° 05: Mapa Satelital de Ubicación de la zona de estudio.....	<b>16</b>
Figura N°06: Secuencia completa de tratamientos de aguas servidas domésticas por Lodos Activados.....	<b>31</b>
Figura N° 07: Esquema de desbaste de los residuos de un agua servida.....	<b>32</b>
Figura N° 08: Esquema de tamizado de un agua servida.....	<b>33</b>
Figura N° 09: Esquema de un desarenador del agua servida.....	<b>34</b>
Figura N° 10: Esquema del desengrasado del agua servida.....	<b>35</b>
Figura N° 11: Esquema de sedimentación del agua servida.....	<b>38</b>
Figura N° 12: Esquema de coagulación - floculación del agua servida.....	<b>40</b>
Figura N° 13: Esquema de un tanque Imhoff.....	<b>42</b>
Figura N° 14: Esquema Digestión Primaria de Lodos.....	<b>43</b>
Figura N° 15: Preparación de los contenedores para tratamiento secundario.....	<b>44</b>
Figura N° 16: Pozas para laguna aireada de gran extensión.....	<b>45</b>
Figura N° 17: Esquema del proceso de digestión de lodos activos.....	<b>46</b>
Figura N° 18: Esquema del proceso de digestión anaerobia.....	<b>47</b>
Figura N° 19: Cámara de mezclado con agentes purificadores.....	<b>49</b>
Figura N° 20: Esquema del desarrollo de la fórmula de Poleni-Weisbach.....	<b>50</b>
Figura N° 21: Idealización de las presiones existentes en el sedimentador.....	<b>81</b>
Figura N° 22: Idealización de las presiones y alturas existentes en el sedimentador.....	<b>82</b>



## INTRODUCCION

Uno de los grandes problemas de la población es la forma como tratar los residuos de aguas utilizadas en las diversas actividades diarias por eso el trabajo de investigación denominado "Implementación de una planta de tratamiento de aguas servidas en la localidad de Huaca III etapa en el Distrito de Santa, basada en el Diseño Hidráulico" permitirá a los interesados tener como instrumento para la solución de esta problemática.

El problema principal del sector de saneamiento peruano es la sostenibilidad deficiente del servicio de agua potable y de la gestión de aguas servidas. De acuerdo al INEI, el 24% de la población peruana no cuenta con servicio de agua potable de calidad adecuada; el 44% no está conectado a un sistema de alcantarillado y el 78% de las aguas servidas son descargadas sin tratamiento directamente a los ríos o al mar. Además, El 48% de municipios destina su sistema de desagüe una laguna de oxidación, el 40% a un río, el 5% al mar, el 1% a la playa, el 1% a un lago, y el 9% a otro lugar.

En el Departamento de Ancash el 52.66% de las viviendas no cuenta con desagüe por red pública. Existe un 50 % de las familias que usan silos artesanales elaborados por sí mismas, sin ninguna orientación técnica y de estos casi un 80% aproximadamente, se encuentran en mal estado por falta de mantenimiento.

Los beneficios de inmediatos de la implementación de una planta de tratamiento en la zona son con respecto a:

**Salud:** reduce al mínimo los niveles de bacterias en el agua que se usa para los regadíos de la misma zona. También elimina la proliferación de mosquitos en el dren improvisado con el que cuenta la zona, esto evita el contagio de paludismo y el dengue.



**Economía:** Al reducir la proliferación de enfermedades también se reduce el costo para el tratamiento de estas. Con el sistema actual a base de un dren improvisado, periódicamente hay q pagar personal para la limpieza y eliminación de residuos acumulados, con la planta de tratamiento quedaría eliminada esa necesidad.

**Ambiental:** Se eliminaría la emanación de olores fétidos producto de la descomposición de las aguas servidas estancadas. Los niños y sus mascotas no jugarían en las orillas del dren y se evita el riesgo de accidentes y enfermedades. La investigación realizada resalta su importancia debido a que la implementación de una planta de tratamiento basado en el diseño hidráulico, es que marca la pauta de inicio para la elaboración de un sistema que trata las aguas servidas y de esta manera evita la proliferación de enfermedades producidas por las bacterias existentes en las aguas negras; además disminuye el grado de riesgo de contaminación de los alimentos cultivados en la zona y se riegan con esa misma agua. Además otra razón importante es que el agua contaminada tiene repercusión en las localidades que se asientan aguas abajo.

## **CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. ASPECTO INFORMATIVO**

#### **1.1.1. Titulo**

“Implementación de una planta de tratamiento de aguas servidas en la localidad de Huaca III Etapa en el Distrito de Santa, basada en el diseño hidráulico”

#### **1.1.2. Tipo de investigación**

**DESCRIPTIVO – EXPLICATIVO:** Se especifica las propiedades importantes de los fenómenos que sean sometidos a análisis, se miden y evalúan diversos



aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno que se investiga y explica por qué ocurre el fenómeno y en qué condiciones se da éste.

### **1.1.3. Ubicación**

Región : Ancash  
Departamento : Ancash  
Provincia : Santa  
Distrito : Santa  
Localidad : La Huaca III

## **1.2. PLAN DE INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. Planteamiento del problema**

Se ha identificado un problema ambiental puesto que la localidad de La Huaca, Distrito de Santa evacua sus aguas servidas a un dren improvisado y este a su vez se vierte a las afluentes del rio Santa, el mencionado dren genera gastos económicos puesto que necesita periódicamente mantenimiento para eliminar los residuos acumulados.

La planta de Tratamiento de Aguas Servidas es esencialmente eficaz en la eliminación de problemas y contaminantes como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y otros como solidos suspendidos, nitrógeno, fosforo, hidrocarbonos y metales que pueden ser tratados mediante este sistema. Entonces, ¿Cómo se realizara la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para la Localidad La Huaca III Etapa, basada en el diseño hidráulico?



## **1.2.2. Objetivos**

### **1.2.2.1. Objetivo generales:**

- Obtener un óptimo diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas para la Localidad La Huaca III Etapa, Distrito de Santa, Provincia del Santa, Departamento de Ancash.

### **1.2.2.2. Objetivos específicos:**

- Determinar las características topográficas del terreno de la Localidad La Huaca III Etapa, Distrito de Santa, Provincia del Santa, Departamento de Ancash.
- Determinar las propiedades físico-químicas y bacteriológicas de las aguas servidas de las plantas de tratamiento existentes en la zona.
- Determinar los parámetros necesarios para su diseño hidráulico, como la población con que cuenta la zona de estudio de la Localidad La Huaca III Etapa, Distrito de Santa, Provincia del Santa, Departamento de Ancash.

## **1.3. HIPÓTESIS**

La determinación de los parámetros necesarios para la implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas, inicia la solución a la problemática de contaminación del agua y suelo que existe en la localidad La Huaca III Etapa, Distrito de Santa, Provincia del Santa, Departamento de Ancash.



## 1.4. VARIABLES

### 1.4.1. Variable independiente

- Implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

### 1.4.2. Variable dependiente

- Diseño Hidráulico de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.

## 1.5. TIPO DE DISEÑO DE INVESTIGACION

Diseño Cuasi-experimental.

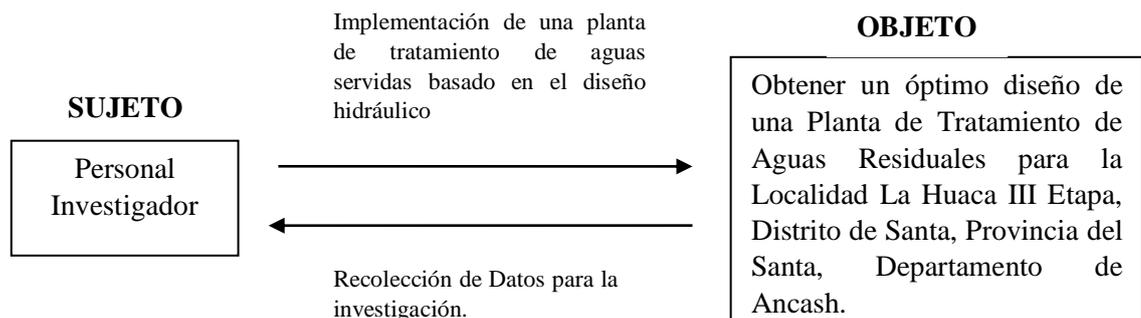
### G: X O

Donde:

G : La localidad de la Huaca III Etapa. Distrito de Santa

O : Implementación de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en la localidad de la Huaca III Etapa. Distrito de Santa basada en un diseño hidráulico.

X : Parámetros mínimos para la implementación de un diseño hidráulico de una Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en la localidad de la Huaca III Etapa. Distrito de Santa





## **1.6. ESTRATEGIA DE TRABAJO**

Este trabajo de investigación, se realizó tomando datos mediante observación directa en campo como método y técnica, tratando de obtener la mayor información y así obtener los datos y resultados más precisos posibles.

La obtención de la información de la comunidad (autoridades vecinales y población en general), se hizo mediante entrevista directa y por ultimo para la obtención de los parámetros hidráulicos, se realizó la técnica de partición activa del investigador.

### **1.6.1. Método de estudio**

El método de estudio utilizado en esta investigación es el método empírico ya que nos permite obtener y elaborar los datos empíricos y el conocer los hechos fundamentales que caracterizan a los fenómenos mediante la observación, la medición, la experimentación y la entrevista.

### **1.6.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

La técnica utilizada será la observación, la entrevista y la encuesta:

La observación: se realizara visitas a campo y se tomara registro fotográfico de la problemática.

La entrevista: se dialogara con los moradores de la zona La Huaca III, a fin de conocer la situación en la que viven y obtener datos adicionales para la investigación.

La encuesta: mediante un formato de hoja de encuesta (Anexo) establecido se recolectaran los datos para luego hacer un análisis porcentual y cuantitativo de la situación socio-ambiental.



### 1.6.3. Técnicas de procesamiento de datos

Para el procesamiento de los datos numéricos se usara el programa Microsoft Excel y para los datos de diseño hidráulico se usara el programa AUTOCAD.

## CAPITULO II: MARCO TEORICO

### 2.1. SITUACION GLOBAL DE LAS PLANTAS SERVIDAS

#### 2.1.1. Situación de las aguas servidas en países desarrollados:

En vista que en la gran mayoría de países en vías de desarrollo la principal causa de mortalidad son las enfermedades gastroentéricas, el uso de plantas de tratamiento está relacionado con aspectos de salud pública.

Reconociendo este importante problema, varias agencias internacionales emprendieron en estudios e investigaciones sobre aspectos de salud y el reúso de desechos.

*En la década de los años 70, el Banco Mundial evidencia su preocupación sobre aspectos de salud del manejo de excretas y lodos de sistemas individuales de saneamiento (OMS, 1973 Reúso de efluentes:tratamiento y cuidado de la salud).*

*Paralelamente el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente realiza en el Perú uno de los trabajos pioneros en la determinación de parásitos en aguas residuales (Yáñez F., 1980 Evaluación de las lagunas de San Juan, Reporte final de la 1r a. fase).*

Más tarde la Organización Mundial de la Salud, reconociendo la importancia de actualizar criterios sobre el reúso de efluentes, conduce una serie de investigaciones y reuniones de expertos que finalmente terminan en la



publicación de las nuevas "Guías de Salud para el Uso de Aguas Servidas en la Agricultura y Acuicultura".

Este documento de gran importancia ha sido difundido entre las autoridades de Salud Pública, quienes están reconociendo en forma cada vez más notoria, la necesidad de implementar reglamentos que tiendan a limitar las concentraciones de organismos patógenos en descargas de aguas servidas. Esto es particularmente cierto en países que practican reuso agrícola de desagües domésticos tratados.

Debido a la falta de investigación sobre organismos patógenos en aguas servidas de países en desarrollo, la práctica para diseño de lagunas ha sido similar a la de países industrializados, basada en la reducción de compuestos orgánicos (DBO, DQO, nutrientes), con poca o ninguna atención a los aspectos de salud pública. Esta práctica convencional ha resultado con mucha frecuencia, en sistemas con celdas únicas.

Una revisión de la práctica moderna de diseño de plantas servidas indica que las nuevas concepciones están basándose en criterios múltiples, como la reducción de compuestos orgánicos, sólidos en suspensión, parásitos y coliforme fecal. Al poner en práctica esta nueva tendencia, los diseños resultan en instalaciones con unidades múltiples.

Característica	Un.	Pais industrializado	Pais en desarrollo
<b>DBO, 5 dias, 20 °C</b>	mg/l	220	220
<b>DQO</b>	mg/l	500	500
<b>Sólidos en suspensión</b>	mg/l	220	220
<b>Nitrógeno NH3-N</b>	mg/l	25	25
<b>Coliformes totales</b>	NMP/100 ml	1.0 E +06 - 1.0 E +10	1.8 E +08
<b>Coliformes fecales</b>	NMP/100 ml	1.0 E +06 - 1.0 E +08	1.2 E +06
<b>Conteo total de parásitos</b>	NMP/100 ml	Ausente	1.8 E +03
<b>Salmonella</b>	NMP/100 ml	Ausente	210

Tabla N° 01: Características de aguas servidas de países industrializados y en desarrollo

Fuente: *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse, Metcalf & Eddy. Fourth Edition*

### 2.1.2. Situación de las aguas servidas a nivel nacional

El Perú tiene una extensión territorial de 1,285,216 km<sup>2</sup> divididos en tres regiones naturales, la costa, la sierra y la selva y se define como un país pluricultural, intercultural, multilingüe y multiétnico. En 1993 la población total del país ascendía a 21,801,600 habitantes, en 1998 a 24,800,700 habitantes y según el último censo realizado por el INEI en el año 2005 se tenía una población de 27,219,264 habitantes, lo que hace una densidad poblacional media de 21.2 habitantes por km<sup>2</sup>, con una tasa de crecimiento de 1.40% anual, de los cuales 19.6 millones viven en zonas urbanas y los restantes en zonas rurales.

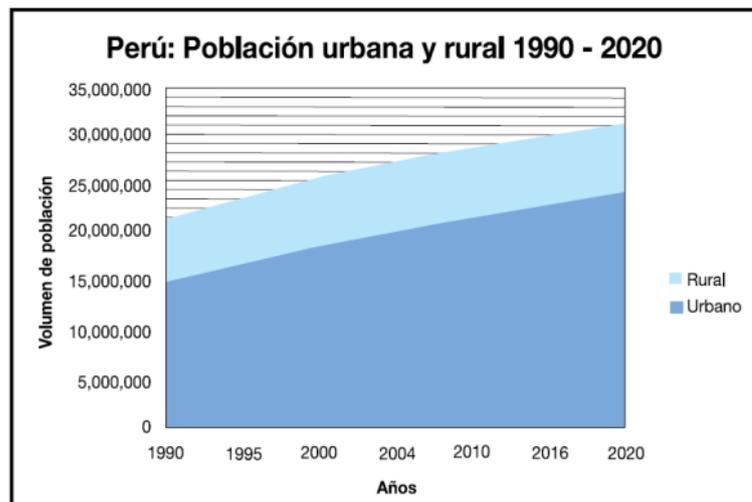


Figura N° 01: Población en el Perú

FUENTE: INEI – Censo Poblacional – Estimaciones de población 1990 – 2020

Se estima que a fines del año 2007 el Perú tenía una población total de 28,3 millones de habitantes, de los cuales 21,1 millones vivían en zonas urbanas; y los restantes 7,2 millones, en zonas rurales. Políticamente, el país está dividido en 24 departamentos que, a su vez, se subdividen en 196 provincias y 1.833 distritos. Por otro lado, de los 1.833 distritos del Perú, 1.520 son atendidas por



las municipalidades, juntas administradoras de servicios de saneamiento u otras; mientras que 312 se encuentran bajo el ámbito de EPS Saneamiento (*Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento*) supervisadas por la SUNASS (*Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento*).

En el ámbito de supervisión de SUNASS se tienen 50, de las cuales 48 son empresas municipales; una, SEDAPAL, se encuentra bajo la responsabilidad del Gobierno Central; y una, Aguas de Tumbes (ATUSA), se encuentra en Concesión. Cada cual en su ámbito, estas EPS brindan los servicios de agua potable y alcantarillado a un total 314 distritos a nivel nacional, encontrándose bajo su ámbito de administración un total de 18,1 millones de habitantes, es decir un 85 % de la población urbana y un 62 % de la población total a nivel nacional, de los cuales cuentan con los servicios de agua potable y alcantarillado un total de 15,2 y 13,7 millones de habitantes respectivamente.

De todas las EPS, SEDAPAL, que atiende a la capital de la República y a la provincia constitucional del Callao, es la mayor de todas; en el área geográfica de su jurisdicción están concentrados 8,4 millones de habitantes, siendo la mayor parte (48,8%) de la población urbana del ámbito de todo el conjunto de las EPS supervisadas por la SUNASS.

Según el número de conexiones cubiertas, las EPS se han clasificado en cuatro:

a. SEDAPAL: Por ser la EPS que abastece a la ciudad de Lima y Callao, constituye un grupo por sí misma, ya que tiene 1,28 millones de conexiones de agua potable.



- b. EPS Grandes: Son las que abastecen a ciudades grandes, por lo que tienen entre 40 mil a 200 mil conexiones de agua potable.
- c. EPS Medianas: Tienen entre 10 mil a 40 mil conexiones de agua potable.
- d. EPS Pequeñas: Son las que abastecen a poblaciones urbanas pequeñas, por lo que tienen menos de 10 mil conexiones de agua potable.

En el 2009, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento registro que el volumen de aguas servidas volcado a la red es de 786 379 599 m<sup>3</sup> anual, de los cuales solamente el 35% es tratado, es decir; 275 millones de m<sup>3</sup> de aguas servidas se estarían volcando directamente a un cuerpo receptor sin un tratamiento previo.

*Tabla N° 02: Coberturas de agua y saneamiento.*

Coberturas		1988 APIS	1993 INEI	1998 ENED	2003 SUNASS	2010 INEI
Nacional	Agua *	58.4	70.6	75.4	83.6	76
	Saneamiento **	47	63.5	73.7	75.3	66.2
Urbano	Agua *	67.2	88.7	86.8	-	89
	Saneamiento **	54.3	82.5	89.5	-	81.9
Rural	Agua *	22.3	36.2	50.6	-	38.8
	Saneamiento **	6	27	39.5	-	21.3

*Fuente: APIS Evaluación del decenio del abastecimiento de agua potable y del saneamiento en el Perú INEI - Censo Nacional*

En el aspecto de la cobertura es notable la influencia que tiene la empresa SEDAPAL, que genera 529.8 millones de metros cúbicos de aguas servidas y trata únicamente 45.1 millones de metros cúbicos, lo que representa el 8.5%.

En el resto de EPS (Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento) del país el nivel de tratamiento de las aguas servidas es diverso, destacando



EPSEL, EPS TACNA, EPS EMAPICA, EPS MOQUEGUA, EMSA PUNO y EMAPISCO, que realizan el tratamiento a más del 75% de las aguas servidas.

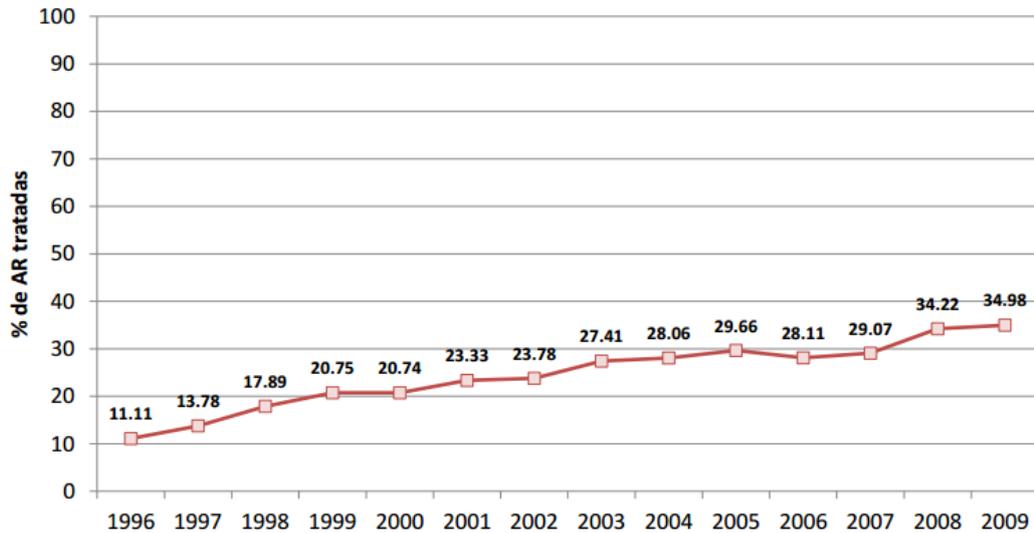


Figura N° 02: Evolución del tratamiento de aguas servidas

Fuente: Informe de Indicadores de Gestión 2009 "EPS y su Desarrollo"/SUNASS

La cobertura de tratamiento de aguas servidas es de un 14%; sin embargo, debe destacarse que se están haciendo importantes esfuerzos para incrementar esta cobertura con los proyectos de plantas de tratamiento en las ciudades de mayor población del país (Lima, Chiclayo, Trujillo, Arequipa, entre otras). Algunas de estas plantas ya están construidas, otras en proceso de construcción, y las restantes en estudio. De concretarse la construcción de las plantas proyectadas, en el período 2001- 2010, la cobertura de tratamiento de aguas servidas se incrementaría a un 70%.

Con el incremento de la cobertura de tratamiento no solo mejorará la calidad de los cuerpos de agua receptores, además se podrá aprovechar en condiciones sanitarias el agua servida tratada incrementando la frontera agrícola, liberando volúmenes de aguas superficiales a favor del uso



urbano y reduciendo la práctica actual de riego con aguas servidas sin tratamiento previo.

Otro aspecto a destacar es la obligatoriedad de incluir el tratamiento de aguas servidas en todo proyecto de alcantarillado en el medio rural, requisito considerado por FONCODES y el MINSA de acuerdo con la reglamentación vigente (Reglamento Nacional de Edificaciones). Sin embargo, se reconoce que existen serios problemas en la operación y mantenimiento de los sistemas construidos por la falta de capacitación a la población, evaluación y seguimiento por parte de alguna institución responsable por el sector rural y por el vacío existente en la implementación de la reglamentación de las JASS (Juntas de Agua y Saneamiento). Los tipos de planta de tratamiento utilizadas a nivel nacional se muestran en la tabla.

*Tabla N° 03: Plantas de tratamiento en Perú*

Biofiltro	1
Lagunas de oxidación	307
Lagunas/taq. séptico	3
Lodos activados	2
RAFA	1
Tanque Imhoff	33
Tanque séptico	308
Sin identificar	39
<b>TOTAL</b>	<b>694</b>

*Fuente: DIGESA 2010*



### **2.1.3 Situación de las aguas servidas a nivel local**

En el Departamento de Ancash el 52.66% de las viviendas no cuenta con desagüe por red pública. En la Provincia del Santa, Distrito de Santa, se encuentra ubicada la localidad "La Huaca III" tiene una población de 257 habitantes y cuenta con un sencillo sistema de alcantarillado. Existe un 50 % de las familias que usan silos artesanales elaborados por sí mismas, sin ninguna orientación técnica y de estos casi un 80% aproximadamente, se encuentran en mal estado por falta de mantenimiento.

Se ha identificado un problema ambiental puesto que la localidad de La Huaca, Distrito de Santa evacua sus aguas servidas a las afluentes del rio Santa, lo que genera la contaminación del agua de riego además de la proliferación de malos olores y agentes biológicos dañinos, ya que no existe un sistema de tratamiento para remover eficientemente la mayoría de los contaminantes asociados con las aguas negras municipales, a manera de que no contamine las áreas de cultivo y se pueda reusar. La planta de Tratamiento de Aguas Servidas es esencialmente eficaz en la eliminación de problemas y contaminantes como la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) y otros como solidos suspendidos, nitrógeno, fosforo, hidrocarburos y metales que pueden ser tratados mediante este sistema.

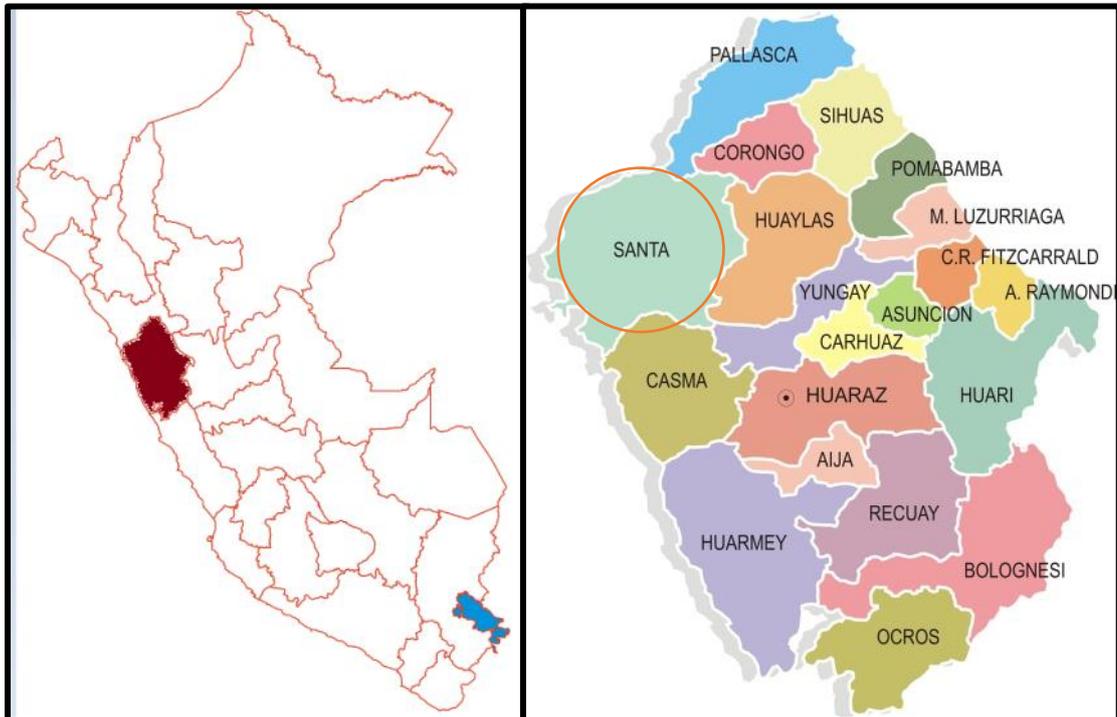
En el año 2010 pese a los intentos del Departamento de Medio Ambiente de la Municipalidad Distrital de Santa por dar la iniciativa de la creación de una pequeña Planta de tratamiento que permita la captación, tratamiento y reutilización de las aguas servidas, la localidad La Huaca III aún no cuenta con este servicio básico. En la actualidad existen 6 sistemas de pozas, las principales

se ubican una en Tamborreal y otra en Pampa La Grama, aunque ninguna de ellas tiene ningún tipo de diseño ni estudios previos.

## 2.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 2.2.1 Ubicación

El terreno de la futura planta de tratamiento se ubica en la localidad de La Huaca III Etapa, Distrito de Santa, Provincia del Santa, Departamento de Ancash. Geográficamente se ubica en los  $8^{\circ}59'40.93''$  de latitud Sur y  $78^{\circ}36'7.65''$  de longitud oeste y entre los 25 y 29 msnm.



*Figura N°03: Mapa del Perú*

*Figura N° 04: Mapa Provincial de Ancash*



*Figura N° 05: Mapa Satelital de Ubicación de la zona de estudio*

*Fuente: Imagen satelital proporcionada por Google Earth*

### 2.2.2 Clima

El área de la planta está ubicada en el valle de Santa en la costa central peruana, la cual tiene un clima subtropical árido y se caracteriza por tener una temperatura media anual de 18.2°C, la ausencia de lluvias regulares y gran humedad atmosférica; es árido y nuboso la mayor parte del año debido a la posición geográfica en el trópico, la cordillera de los Andes, el anticiclón del Pacífico Sur y la corriente oceánica de Humboldt. La Temperatura Atmosférica durante el verano la temperatura asciende a poco más de 26°C, mientras que en invierno desciende a 13°C. La temperatura media anual (18,2°C) es baja, pues debió ser 25 a 26°C. La humedad es excesiva. Esto significa que el aire es muy húmedo, pues tiene abundante vapor de agua.



La precipitación pluvial es escasa con un promedio de 25 mm anuales. Los vientos alcanzan en promedio anual una velocidad de 7 km/h y mayormente se presentan durante las horas de la tarde y con mayor fuerza en los meses de diciembre a mayo.

Tabla N° 04: Información Meteorológica Mensual 2012 – 2013

Variable	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul
T° máxima promedio (°C)	23,33	23,85	24,50	25,52	27,23	29,06	30,75	30,58	29,70	25,61	16,58	16,31
T° máxima absoluta (°C)	30,00	27,50	27,00	29,00	30,00	32,00	33,00	33,00	33,00	30,00	13,00	14,00
T° mínima promedio (°C)	16,85	15,83	15,80	16,75	17,26	19,66	21,04	20,87	18,70	16,31	23,20	25,61
T° mínima absoluta (°C)	11,50	12,50	13,50	15,00	15,00	17,00	19,00	19,00	16,50	14,00	28,00	30,00
T° promedio (°C)	19,87	19,67	19,84	20,87	22,06	24,09	25,20	25,20	23,96	20,82	19,66	20,82
HR promedio 07 horas (%)	17,18	96,45	96,12	95,48	100,88	101,31	97,17	100,00	102,66	105,45	104,21	105,45
HR promedio 13 horas (%)	22,38	85,71	83,45	80,91	82,32	84,28	82,79	84,12	82,84	85,17	89,87	85,17
HR promedio 19 horas (%)	19,03	98,38	100,38	101,01	99,92	96,00	105,37	104,06	102,04	108,70	102,02	108,70
HR promedio (%)	102,44	93,51	93,32	92,47	94,37	93,86	95,11	96,06	95,85	99,77	98,70	99,77
Precipitación 08-09 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitación 07-08 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitación 06-07 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitación 05-06 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Precipitación Hist. (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: Dirección Información Agraria UNIDAD: Agro meteorología

### 2.2.3 Población

La zona de la Huaca III Etapa, cuenta con 62 viviendas y 257 habitantes, el 100% de la zona es agrícola, aunque no se considera rural porque cuenta con todos los servicios básicos, salvo el alcantarillado, y es de fácil acceso.; según la encuesta realizada por el personal investigador.

En cuanto al abastecimiento de agua y saneamiento, en cuanto al agua, esta es abastecida por convenio con una empresa Eléctrica que reside en la zona, y en cuanto al saneamiento el 10% de las familias tiene un sistema de pozo ciego para sus desechos fecales y el 90 % los elimina directamente a un dren natural, ya que la población no cuenta con una red de alcantarillado.



Tabla N°05: Número de habitantes que residen en la Zona La Huaca III Etapa

BLOQUE	N° DE VIVIENDAS	SERVICIOS BASICOS CON QUE CUENTA					CON QUE SISTEMA DE DESAGUE CUENTA				PERSONAS QUE RESIDEN
		AGUA	DESAGUE	LUZ	TELEFONO	INTERNET	POZO CIEGO	ALCANTARILLAD O MUNICIPAL	NINGUNO	OTROS	
A	12	10	10	10	1	1	0	0	0	10	48
B	5	5	5	5	2	2	1	0	0	5	18
C	8	8	8	8	0	0	2	0	0	8	34
D	4	4	4	4	0	0	0	0	0	4	16
E	11	11	11	11	0	1	0	0	0	11	46
F	7	6	7	7	0	0	1	0	0	7	37
G	7	7	7	7	0	1	0	0	0	7	38
H	5	5	5	5	2	0	2	0	0	5	9
I	3	3	3	3	0	0	0	0	0	3	11
TOTAL	62	59	60	60	5	5	6	0	0	60	257
% PORCENTAJES	100	98.33	100.00	100.00	8.33	8.33	10.00	0.00	0.00	100.00	

FuenteFuente: Personal Investigador (2014)

### 2.3 MARCO LEGAL DE AGUAS SERVIDAS EN EL PERÚ

En el Perú, el sector saneamiento, pertenece al sector público. La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, SUNASS, es la encargada de regular, supervisar y fiscalizar el mercado de servicios de agua potable. El Estado promueve la participación del sector privado mediante procesos de concesión a nivel nacional, enmarcado en la Ley General de Servicios de Saneamiento, Ley N° 26338 y su Reglamento. La siguiente tabla se muestra el resumen del marco legal en el Perú, para el sector saneamiento.



Tabla N° 06: Marco Legal y Normativo

INSTITUCION	N° LEY	RESUMEN DE COMPETENCIA
<b>Constitución Política del Perú</b>	31/10/1993	Base del ordenamiento jurídico nacional.
<b>Ley de Reforma sobre Descentralización</b>	Ley N° 27680	Las municipalidades promueven, apoyan y reglamentan la participación vecinal en el desarrollo local.
<b>Ley General de Salud</b>	Ley N° 26842	El abastecimiento del agua, alcantarillado, disposición de excretas, reúso de aguas servidas y disposición de residuos sólidos quedan sujetos a las disposiciones que dicta la Autoridad de Salud competente, la que vigilara su cumplimiento.
<b>Ley General del Ambiente</b>	Ley N° 28611	El estado promueve el tratamiento de las aguas residuales con fines de reutilización considerando como premisa la obtención de la calidad necesaria de reúso, sin afectar la salud humana, el ambiente o las actividades en las que se reutilizan.
<b>Aprueban los ECA para Agua</b>	Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM	Aprueban estándares de calidad ambiental para agua publicado en el Diario El Peruano el 31 de Junio de 2008.
<b>Aprueban disposiciones para la implementación de los ECAs para Agua</b>	Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM	Aprueban disposiciones para la implementación de los estándares nacionales de calidad ambiental (ECA) para agua. A partir del 01 de Abril del 2010.
<b>Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR Domésticas o</b>	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	Cumplimiento de los límites máximos permisibles de PTAR.



<b>Municipales</b>		
<b>Ley Marco para la Inversión Privada</b>	D.L. N° 757	Garantiza la libre iniciativa y las inversiones privadas en todos los sectores de la actividad económica y en cualquiera de las formas empresariales o contractuales permitidas por la Constitución y las Leyes.
<b>Ley Orgánica de Gobiernos Regionales</b>	Ley N° 27902	Regula la participación de los Alcaldes Provinciales y la Sociedad Civil en los Gobiernos Regionales y fortalecer el proceso de Descentralización y Regionalización
<b>Ley de Creación, Organización y Funciones del MINAM</b>	D.L. N° 1013	Crea el Ministerio del Ambiente y establece su ámbito sectorial, y regula la estructura orgánica, competencias y funciones del mismo.
<b>Ley Orgánica de Municipalidades</b>	Ley N° 27972	Establece normas sobre la creación, origen, naturaleza, autonomía, organización, finalidad, tipos, competencias, clasificación y régimen económico de las municipalidades.
<b>Ley del Procedimiento Administrativo General</b>	Ley N° 27444	Regula las actuaciones de la función administrativa del Estado y el procedimiento administrativo común desarrollados en las entidades.
<b>Ley de Recursos Hídricos</b>	Ley N° 29338 (2009)	Regula el uso y gestión de los recursos hídricos. Comprende el agua superficial, subterránea, continental y los bienes asociados a esta.
<b>Resolución Jefatural N°0291-2009-ANA</b>	R.J. N° 0291-2009-ANA	Disposiciones referidas al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y de reusos de aguas residuales tratadas.



<b>Resolución Jefatural N°0351-2009-ANA</b>	R.J. N°0351-2009-ANA	Modifican R.J. N° 0291-2009-ANA referente al otorgamiento de autorizaciones de vertimientos y reúsos de aguas residuales tratadas.
<b>Aprobación del TUPA del MINSA y sus Órganos Desconcentrados</b>	Decreto Supremo N° 013-2009-SA	Unifica y estandariza los procedimientos administrativos que se siguen antes las distintas instancias del MINSA, sus órganos desconcentrados y organismos públicos descentralizados.
<b>Ley del Sistema Nacional de evaluación del impacto ambiental</b>	Ley N° 27446	Creación del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental (SEIA) y establecimiento de un proceso uniforme que comprenda los requerimientos, etapas, y alcances de las evaluaciones del impacto ambiental de proyectos de inversión.
<b>Ley General de Servicios de Saneamiento y su Texto único ordenado del Reglamento</b>	Ley N° 26338	Regula la prestación de los servicios de saneamiento en los ámbitos rural y urbano.
<b>Código Penal</b>	D. Leg. N° 635 (03-04-91)	Concreta los postulados de la moderna política criminal, sentando la premisa que el Derecho Penal es la garantía para la viabilidad posible en un ordenamiento social y democrático de derecho.
<b>Norma procesal penal ambiental</b>	Ley N°26631	Para efecto de formalizar denuncia de la legislación ambiental.

*Fuente: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, OEFA (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales*



### 2.3.1 Roles de las entidades competentes

En cuanto a los principales roles de cada sector involucrado, las funciones de cada uno son las que se describen brevemente a continuación:

- **Ministerio del Ambiente (MINAM):** Se encarga de asegurar el cumplimiento del mandato constitucional sobre la conservación y el uso sostenible de los recursos naturales, la diversidad biológica y las áreas naturales protegidas y el desarrollo sostenible de la Amazonía. Asegura la prevención de la degradación del ambiente y de los recursos naturales y revertir los procesos negativos que los afectan.
- **Autoridad Nacional del Agua (ANA):** La Autoridad Nacional del Agua es el organismo encargado de realizar las acciones necesarias para el aprovechamiento multisectorial y sostenible de los recursos hídricos por cuencas hidrográficas. Sus principales funciones son formular la política y estrategia nacional de recursos hídricos, administrar y formalizar los derechos de uso de agua, distribuirla equitativamente, controlar su calidad y facilitar la solución de conflictos.  
  
Esta nueva entidad regula la actuación de las entidades del Poder Ejecutivo y de los actores privados en la gestión integrada y multisectorial de los recursos hídricos, estableciendo como unidad de gestión a las cuencas hidrográficas y acuíferos del país.
- **Ministerio de Agricultura (MINAG):** Otorga licencias para uso de aguas Superficiales, Subterráneas y otorga licencias para el uso de aguas residuales.



- **Ministerio de Economía y Finanzas (MEF):** Aprueba presupuestos de EPS y SUNASS. Aprueba y canaliza los fondos para inversión.
- **Ministerio de la Producción:** Regula la calidad de las descargas industriales en los sistemas de desagüe.
- **Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento:** Responsable del sector saneamiento, determina políticas y promueve el desarrollo, regula los estándares de diseño y las especificaciones técnicas de los sistemas de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas residuales (Reglamento Nacional de Edificaciones – Títulos II y III).
- **Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS):** Organismo regulador y fiscalizador de la prestación de los servicios de saneamiento en el Perú. Establece las condiciones generales de la prestación del servicio. Fiscaliza el cumplimiento de las normas de prestación del servicio y de fijación tarifaria. Supervisa las EPS urbanas debidamente registradas, sin embargo no supervisa las JASS (Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento).
- **Ministerio de Salud (MINSA):** Es la autoridad Sanitaria. Regula la calidad del agua para consumo humano, autoriza vertimientos, aprueba proyectos de plantas de tratamiento de agua potable y de aguas residuales, formula políticas y dicta



las normas de calidad sanitaria y protección ambiental, a través de DIGESA, ejerce la vigilancia de la calidad del agua.

## **2.4 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS AGUAS SERVIDAS**

En este punto se describen las características más resaltantes de las aguas servidas de la zona, las que se consideraran domesticas ya que no existe ningún tipo de empresa o industria que aporte sus residuos al sistema.

### **2.4.1 Características físicas y químicas de las aguas servidas**

Los sistemas de drenaje urbano son los que encargan de transportar las aguas servidas de las ciudades, a cuerpos receptores o al suelo.

Estas aguas son generalmente producto de las actividades del hombre, en residencias e instalaciones comerciales (agua servida doméstica) y producto de las actividades industriales (agua servida industrial) . El agua drenada por los sistemas colectores urbanos sufre también la aportación debida a infiltraciones y agua pluvial que resulta de la esorrentía superficial.

En los proyectos desarrollados para la recolección, tratamiento y evacuación de las aguas servidas, es de suma importancia el conocer de forma adecuada los componentes físico-químicos y biológicos de las mismas para establecer estrategias de control de la contaminación y alcanzar las normas de calidad establecidas en las legislaciones vigentes.

Actualmente la gran actividad desarrollada en las ciudades y regiones industriales traen como consecuencia la generación de un sin número de componentes servidas, que presentes en las aguas de drenaje y descargadas en cuerpos receptores pueden ocasionar efectos negativos en el ambiente,



modificando sensiblemente las características del mismo, haciéndolo inadecuado para las actividades del hombre y perjudicando el desarrollo de la fauna y de la flora.

Para el planeamiento y control de la calidad de las aguas, se hace entonces necesario el conocimiento de las características físicas - químicas y biológicas y su fuente de procedencia, así como también los contaminantes más importantes considerados en los tratamientos de las aguas servidas.

La Temperatura de las aguas servidas oscila entre 10-20 °C. Además de las cargas contaminantes en Materias en suspensión y Materias Orgánicas, las aguas servidas además contienen otros muchos compuestos como nutrientes (N y P), Cloruros, detergentes, etc. y cuyos valores orientativos de la carga por habitante y día son:

- N amoniacal: 3-10 gr/hab/d
- N total: 6.5-13 gr/hab/d
- P ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) ; 4-8 gr/hab/d
- Detergentes : 7-12 gr/hab/d

La Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica de una muestra de agua en un periodo de 5 días. Las condiciones en las que se lleva a cabo la prueba son tales que favorecen el desarrollo de los microorganismos, pero inhibe los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno.



#### 2.4.2 Características biológicas y microorganismos de las aguas servidas

Las aguas servidas pueden contener millones de bacterias por mililitro: bacilos anaerobios, coliformes, estreptococos, bacterias del grupo Proteuss, y otros tipos que proceden del tracto intestinal humano. Además, las aguas servidas domésticas son un buen receptáculo de protozoos, bacterias y virus patógenos, tales como agentes etiológicos de la disentería el cólera, y la fiebre tifoidea.

Las heces de huéspedes infectados pueden fácilmente depositar en las aguas servidas los virus de: poliomiелitis, hepatitis infecciosa y coxsackie.

*Los rasgos biológicos de las aguas negras lo presentan, indudablemente, las poblaciones bacterianas con una gama de organismos anaeróbicos estrictos y facultativos, así como la presencia de organismos patógenos de todo tipo que van desde virus hasta vermes (Babbit y Bauman, 1980).*

##### a) Características del agua antes del tratamiento

Los desechos de distintos tipos producen efectos típicos indeseables; los sólidos, la temperatura, el color, son parámetros físicos medibles y negativos ecológicamente. Los sólidos en un cuerpo de agua natural disminuyen la cantidad de luz necesaria a los vegetales, impiden las funciones branquiales de los peces y aumentan el colchón de sedimento originando así condiciones anaeróbicas en los lechos.

El color también disminuye la productividad fotosintetizadora al disminuir la entrada de la luz; la temperatura también afecta notablemente a los microorganismos. Tales parámetros físicos, presentes en las aguas negras son inhibidores de las funciones vitales.



Entre los componentes químicos, los hay orgánicos e inorgánicos cuya procedencia es doméstica o industrial, aunque también el lixiviado de tierras produce desechos orgánicos e inorgánicos. Las sustancias orgánicas más comunes son proteínas, carbohidratos, grasa, surfactantes, fenoles, aminoácidos, pesticidas y otras; en cuanto a sustancias inorgánicas éstas son cloruros, alcalinizantes, nitrógenos, fósforos, azufres, compuestos tóxicos, metales pesados, algunos gases como sulfuro de hidrógeno, metano, CO<sub>2</sub> y otras sustancias.

Gran parte de las sustancias orgánicas son aprovechadas por las bacterias y protozoarios (sarcodinos y mastigóforos). Acontecen además muchas reacciones químicas que permiten la autólisis de variadas sustancias que en ocasiones el resultado final son productos simples como las sales de ácidos grasos solubles, difícilmente degradables como las sales de ácidos grasos insolubles y complejos tóxicos como las cloraminas.

Las proteínas y los carbohidratos son fácilmente degradables y utilizados por microorganismos; algunas grasas y aceites son degradables mientras que otros no, la abundancia de estas sustancias es perjudicial pues forma una capa que impide el intercambio gaseoso aumentando así las características anaeróbicas de las aguas negras.

Aceites minerales como los derivados del petróleo, tienen la propiedad de absorberse, con lo cual se afectan muchísimo las reacciones de autólisis y de biodegradación obstaculizándose así las actividades ecológicas en la naturaleza y un mal funcionamiento en las plantas de tratamiento.



Los surfactantes más usuales son los fundamentados en las cadenas de (ABS) y lauril sulfato (LAS) cuya bio degradabilidad aún es incierta; no obstante, se ha sugerido una mayor biodegradabilidad para el LAS.

Los fenoles, que son típicamente bactericidas, son biooxidables cuando las concentraciones son menores de 500 mg/l.

Los plaguicidas, los metales pesados y algunas sustancias tóxicas son comúnmente no biodegradables y acumulativas, los daños que causan son letales al equilibrio ecológico.

*“Las sustancias minerales: nitrogenadas, fosfatados, sulfuros y otros son factibles de utilización metabólica, lo que permite el reingreso de las mismas en los ciclos naturales” (Painter, 1979).*

#### **b) Características del agua después del tratamiento**

Las características finales del agua tratada son muy distintas, pues esto depende de los constituyentes físico-químicos de las aguas negras, del proceso utilizado, de la finalidad del tratamiento y de la acción biológica ejercida sobre tales desechos.

*“La acción biológica intensa y suficiente produce finalmente agua mineralizada cuyas características son las requeridas en el desarrollo de la flora y la fauna, lo cual significa capacidad de intercambio gaseoso, oxígeno suficiente (6mg/l), materia orgánica biodegradable mínima, y una gran variedad de sustancias minerales, tales como: carbonatos, bicarbonatos, cloruros, sulfonatos, nitratos y fosfatos que actúan aniómicamente y cationes como el sodio, potasio calcio y magnesio. Otros compuestos minerales que pueden estar presentes son los*



*silicatos» fluoruros, compuestos de hierro, magnesio, aluminio, boro y otros”*  
(Nemerov, 1971).

De acuerdo al decreto supero N° 002 – 2008, en la categoría de riego de vegetales y bebidas de animales:

*Tabla N°07: Categoría de las aguas para el reúso*

CATEGORIA	USO
<b>Categoría 1</b>	Poblacional y recreacional
<b>Categoría 2</b>	Actividades marino costeras
<b>Categoría 3</b>	Riego de vegetales y bebidas animales
<b>Categoría 4</b>	Conservación del ambiente acuático

*Tabla N°08: Parámetro para riego de vegetales y bebida de animales*

PARAMETRO PARA RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES			
PARAMETRO	Unidad	Vegetales Tallo bajo	Vegetales Tallo alto
		Valor	Valor
Coliformes totales	NMP/100mL	<b>5000</b>	5000
Entero cocos	NMP/100mL	20	100
Escherichia coli	NMP/100mL	100	100
Huevos de Helminfos	Huevos/filtro	< 1	< 1
Salmonella sp.	Ausente		
Vibtion cholerae	Ausente		
pH	Unidades pH	<b>6.5 – 8.4 (para bebidas animales)</b>	

## 2.5 TIPOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SERVIDAS

El proceso de autodepuración es inherente a los cuerpos de agua, ocurre gracias a la presencia de diversos microorganismos como bacterias y algas, que descomponen los desechos, metabolizándolos y transformándolos en sustancias



simples tales como dióxido de carbono, nitrógeno, entre otros, además de ciertos microorganismos que absorben algunas sustancias inorgánicas.

Es por esto que, al arrojar sustancias extrañas a los cuerpos de agua, si estas se encuentran dentro de ciertas concentraciones límites, se inicia el proceso de autodepuración, este proceso se aplica a sustancias orgánicas como detergentes, fenoles, ciertas sustancias inorgánicas, entre otros. De lo contrario, si son vertidos que pasan las concentraciones límites para que el cuerpo de agua inicie el proceso de autodepuración natural, es necesario un tratamiento.

El diseño eficiente y económico de una planta de tratamiento de aguas servidas requiere de un cuidadoso estudio basado en aspectos, tales como: el caudal ( $m^3/s$ ), el uso final del producto final (agua tratada), el área disponible para la instalación, la viabilidad económica, características meteorológicas (clima, precipitación). En tal sentido, teniendo en mente que la solución tecnológica más adecuada es aquella que optimiza la eficiencia técnica en la forma más simple y menos costosa, la tecnología debe hacer uso de los recursos humanos y materiales disponibles en el país. Asimismo, cabe señalar que la selección de los procesos y/o el tipo de planta serán diferentes dependiendo de cada caso específico. El Fondo Nacional del Ambiente (FONAM) y la Norma OS. 090 del Reglamento Nacional de Edificaciones clasifican los procesos del tratamiento de aguas servidas de la siguiente manera:

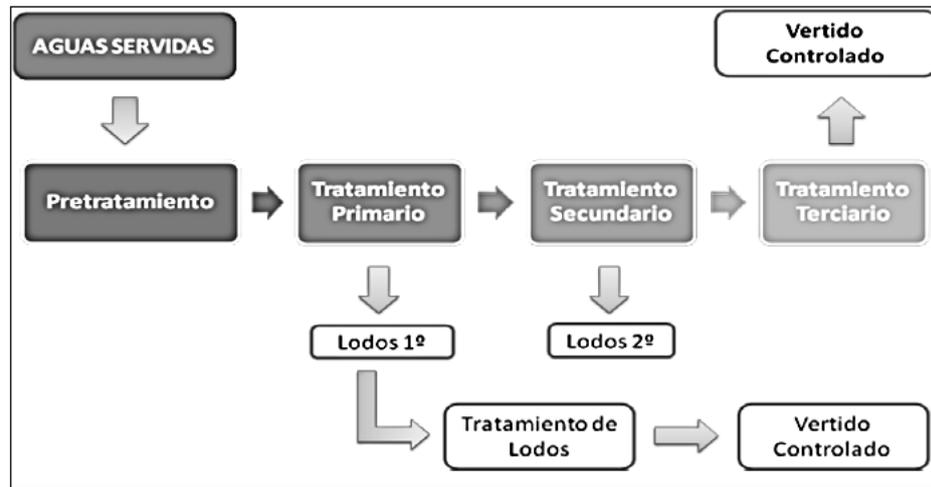


Figura N°06: Secuencia completa de tratamientos de aguas servidas domésticas por Lodos

Activados

Fuente: FONAM (2010)

### 2.5.1 Tratamiento Preliminar

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua servida. Se pretende con el pretratamiento la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las maquinas, equipos e instalaciones de La estación depuradora.

En el pretratamiento se efectúa un desbaste (rejas) para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo y un tamizado para eliminar las partículas en suspensión. Un desarenado, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un desengrasado para eliminar los aceites presentes en el agua servida así como elementos flotantes. Como principales procesos de tratamiento preliminar tenemos: desbaste, tamizado, desarenador, desengrasador y desaceitador.

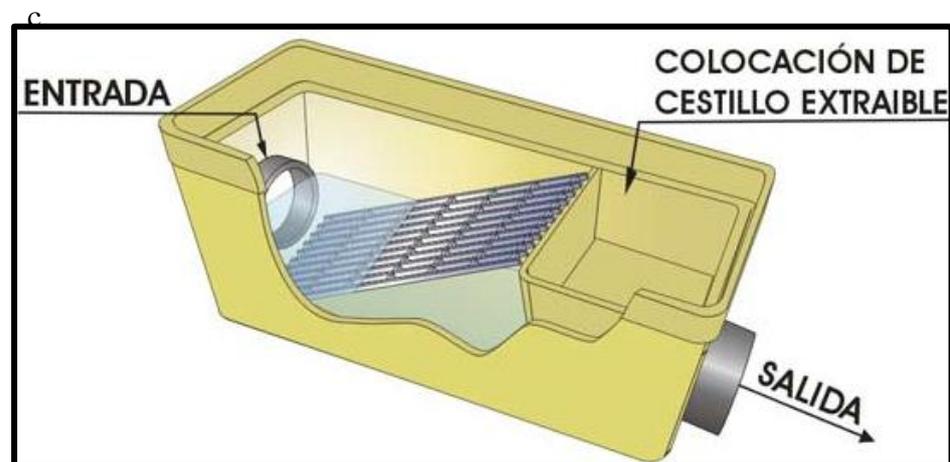
### 2.5.1.1 Desbaste

Esta operación consiste en hacer pasar el agua servida a través de una reja. De esta forma, el desbaste se clasifica según la separación entre los barrotes de la reja en:

- **Desbaste fino:** con separación libre entre barrotes de 10-25 mm.
- **Desbaste grueso:** con separación libre entre barrotes de 50-100 mm.

En cuanto a los barrotes, estos han de tener unos espesores mínimos según sea:

- **Reja de gruesos:** entre 12-25 mm.
- **Reja de finos:** entre 6-12 mm. También tenemos que distinguir entre los tipos de limpieza de rejas igual para finos que para gruesos:
  - a. Rejas de limpieza manual
  - b. Rejas de limpieza automática



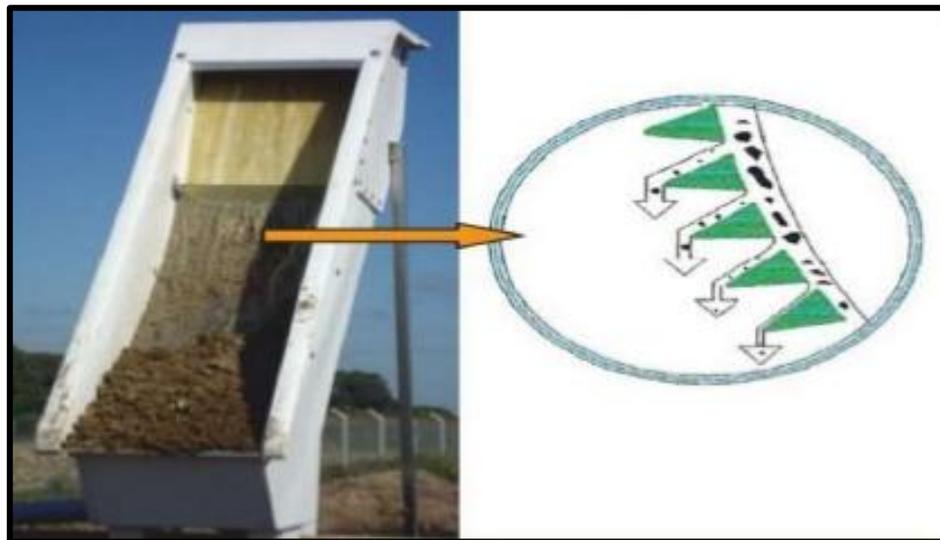
*Figura N° 07: Esquema de desbaste de los residuos de un agua servida*

### 2.5.1.2 Tamizado

Consiste en una filtración sobre soporte delgado, y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su

tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores. Según las dimensiones de los orificios de paso del tamiz, se distingue entre:

- **Macrotamizado:** Se hace sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0,2 mm. Se utilizan para retener materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, ramas,... de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.
- **Microtamizado:** Hecho sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Se usa para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en el agua de abastecimiento (Plancton) o en aguas servidas pre tratadas. Los tamices se incluirán en el pretratamiento de una estación depuradora en casos especiales cuando las aguas servidas brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos.



*Figura N° 08: Esquema de tamizado de un agua servida*

### 2.5.1.3 Desarenador

El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente.

Los desarenadores se diseñan para eliminar partículas de arenas de tamaño superior a 0,200 mm y peso específico medio 2,65, obteniéndose un porcentaje de eliminación del 90%. Si el peso específico de la arena es bastante menor de 2,65, deben usarse velocidades de sedimentación inferiores a las anteriores.

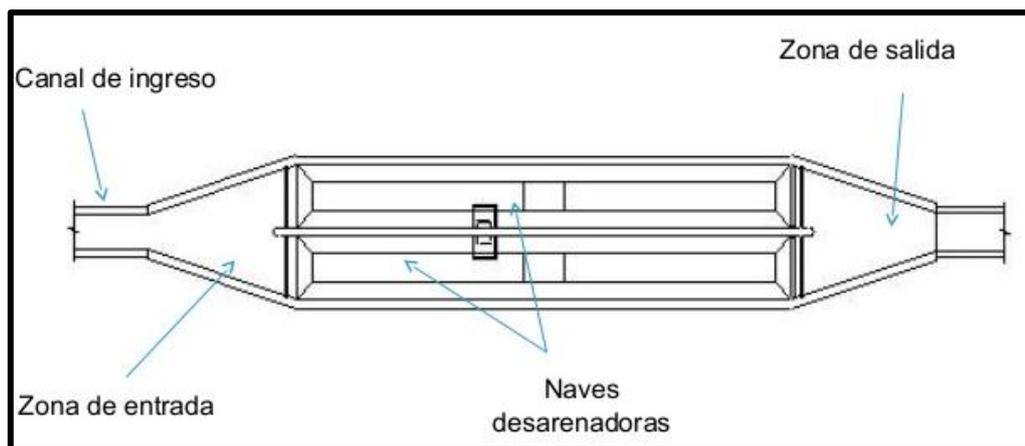


Figura N° 09: Esquema de un desarenador del agua servida

### 2.5.1.4 Desaceitador y desengrasador:

El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores.

El desaceitado consiste en una separación líquido-líquido, mientras que el desengrase es una separación sólido-líquido. En ambos casos se eliminan

mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

Se podría hacer esta separación en los decantadores primarios al ir provistos éstos de unas rasquetas superficiales de barrido, pero cuando el volumen de grasa es importante, estas rasquetas son insuficientes y la recogida es deficitaria.

Si se hacen desengrasado y desarenado junto en un mismo recinto, es necesario crear una zona de tranquilización donde las grasas flotan y se acumulan en la superficie, evacuándose por vertedero o por barrido superficial, y las arenas sedimentan en el fondo y son eliminadas por uno de los métodos que desarrollamos en el apartado anterior.



*Figura N° 10: Esquema del desengrasado del agua servida*

### 2.5.2 Tratamiento Primario

El tratamiento primario que recibe las aguas servidas consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendidos flocculantes bien mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas y en la remoción de compuestos inorgánicos mediante precipitación química. En



algunos casos se puede utilizar la coagulación como auxiliar del proceso de sedimentación.

Entre los principales procesos y operaciones de tratamiento primario están: sedimentación, coagulación y floculación, tanques imhoff y digestión primaria de lodos.

### **2.5.2.1 Sedimentación**

La separación de los sólidos por gravedad se basa en la diferencia que existe entre los pesos específicos del líquido que es la fase continua y el de las partículas, las cuales constituyen la fase discreta. Para que se produzca la separación entre el líquido y los sólidos pueden seguirse dos caminos: aquellas partículas que tienen un peso específico mayor que el del agua sedimentada, y que aquellas otras con un peso específico menor que el del agua flotante. Se puede pues utilizar la sedimentación o la flotación para separar del agua servida los sólidos en suspensión presentes en ella.

Existe la sedimentación floculante o llamada también sedimentación de partículas aglomerables. Se presentan cuando la velocidad de asentamiento de las partículas aumenta a medida que descienden hacia el fondo del tanque. Los aumentos en la velocidad de sedimentación se deben a que las partículas incrementan su tamaño por acción de la floculación que ocurre en el tanque. Esta floculación puede deberse a la acción de barrido que ejercen algunas partículas, o a corrientes de densidad o turbulencia.



Asimismo, se tiene la sedimentación primaria, que es uno de los procesos más utilizados en los sistemas de tratamiento de aguas servidas, bien sea como tratamiento único, o bien como proceso de tratamiento anterior o previo al tratamiento biológico propiamente dicho. El objetivo fundamental de la sedimentación primaria es remover de las aguas servidas aquella fracción de los sólidos que es sedimentable, además de la carga orgánica asociada con dichos sólidos. La base o criterio práctico de diseño es la carga superficial, la cual usualmente se expresa en términos de  $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$  o  $\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ , o sea el resultado de dividir el caudal en  $\text{m}^3/\text{día}$  o  $\text{m}^3/\text{h}$  por la superficie total del tanque de sedimentación en metros cuadrados.

Se recomienda que la carga superficial de un sedimentador primario para aguas servidas domésticas no exceda el valor de  $24 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$ , cuando el caudal de tratamiento es inferior a  $4000 \text{ m}^3/\text{día}$ . Si el caudal de aguas servidas a tratar es mucho mayor que  $4000 \text{ m}^3/\text{día}$ , entonces es posible utilizar cargas superficiales del orden de los  $30\text{-}32 \text{ m}^3/\text{día}/\text{m}^2$  y aún mayores.

Para el diseño se debe considerar las zonas de entrada y de salida del tanque de sedimentación, la profundidad mínima que debe tener el tanque y sobre la forma y tamaño que este debe tener. Además es preciso recordar que las variaciones bruscas en la temperatura del agua, así como las características de cada agua servidas pueden afectar considerablemente la eficiencia del tanque en la remoción de sólidos sedimentables.

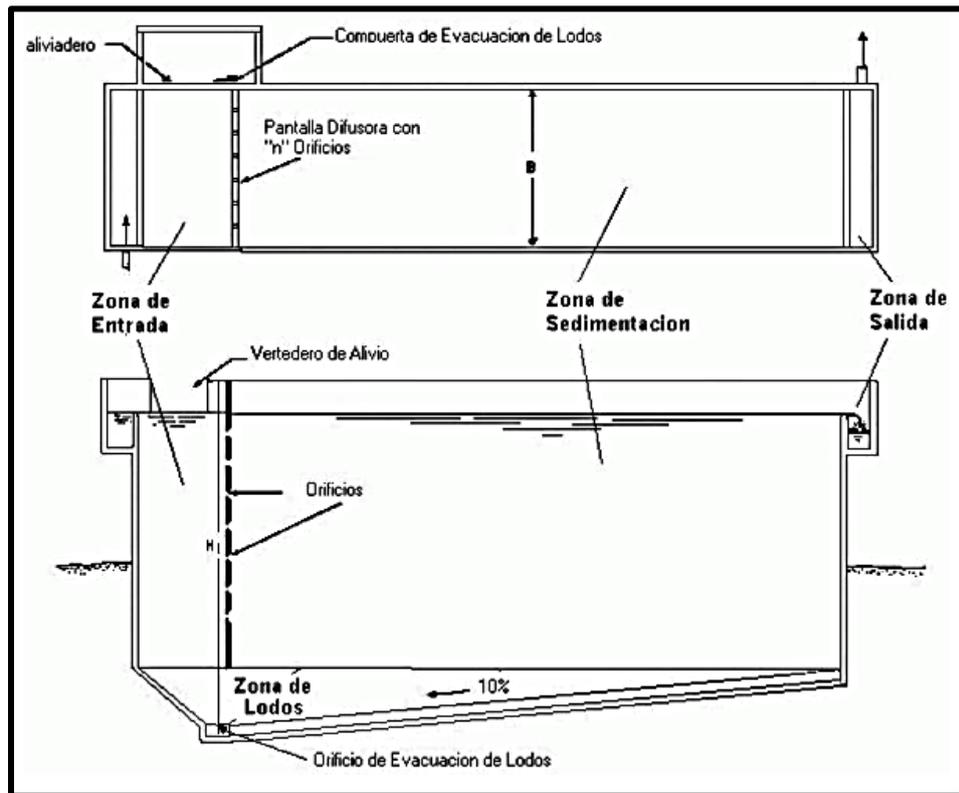


Figura N° 11: Esquema de sedimentación del agua servida

### 2.5.2.2 Coagulación y Floculación

Los procesos de coagulación-floculación facilitan el retiro de los sólidos en suspensión y de las partículas coloidales. Algunas veces existe la confusión entre estas dos por el hecho que frecuentemente ambas operaciones se realizan de forma simultánea. En ese sentido, se define a la coagulación como la desestabilización de la suspensión coloidal, mientras que la Floculación se limita a los fenómenos de transporte de las partículas coaguladas para provocar colisiones entre ellas promoviendo su aglomeración.

Por tanto, la Coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante.



Históricamente, los coagulantes metálicos, sales de Hierro y Aluminio, han sido los más utilizados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas servidas. Tienen la ventaja de actuar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo. Sin embargo tienen el inconveniente de ser muy sensibles a un cambio de pH. Si éste no está dentro del intervalo adecuado la clarificación es pobre y pueden solubilizar Fe ó Al y generar problemas. Entre los coagulantes más utilizados son: sulfato de alúmina, sulfato férrico, cloruro férrico.

La floculación es un proceso de separación de líquido-sólido utilizado para la remoción de partículas o sólidos suspendidos en las aguas servidas. Se usa principalmente para la separación de grasas, aceites, material fibroso y otros sólidos de densidad baja. Los principales componentes de un proceso de flotación son el compresor de aire, un tanque de retención donde se almacenan las aguas servidas presurizadas, una válvula reductora de presión y el tanque de flotación. El proceso puede realizarse bien inyectando el aire directamente a las aguas servidas crudas, o bien al efluente recirculado del tanque de flotación, el cual se mezcla con las aguas servidas crudas. Los floculantes más usados son los siguientes: oxidantes, adsorbentes, sílice activa.

Los factores, que pueden promover la coagulación-floculación, son el gradiente de la velocidad, el tiempo, y el pH. El tiempo y el gradiente de velocidad son importantes al aumentar la probabilidad de que las partículas se unan. Por otra parte el pH es un factor prominente en el retiro de coloides.

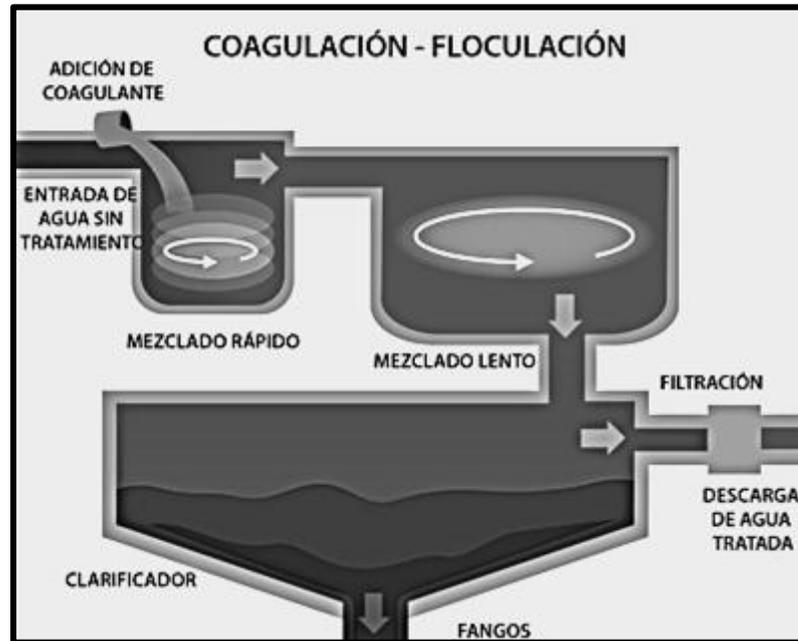


Figura N° 12: Esquema de coagulación - floculación del agua servida

### 2.5.2.3 Tanques Imhoff

El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos.

Los tanques Imhoff ofrecen ventajas para el tratamiento de aguas servidas domésticas, ya que integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad, por ese motivo también se llama tanques de doble cámara.

Los tanques Imhoff tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas, sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas servidas pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas.



El tanque Imhoff típico es de forma rectangular y se divide en tres compartimientos:

- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área de ventilación y acumulación de natas.

Durante la operación, las aguas servidas fluyen a través de la cámara de sedimentación, donde se remueven gran parte de los sólidos sedimentables, estos resbalan por las paredes inclinadas del fondo de la cámara de sedimentación pasando a la cámara de digestión a través de la ranura con traslape existente en el fondo del sedimentador. El traslape tiene la función de impedir que los gases o partículas suspendidas de sólidos, producto de la digestión, que inevitablemente se producen en el proceso de digestión, son desviados hacia la cámara de natas o área de ventilación.

Estas unidades no cuentan con unidades mecánicas que requieran mantenimiento y la operación consiste en la remoción diaria de espuma, en su evacuación por el orificio más cercano y en la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme en los dos extremos del digestor de acuerdo con el diseño y retirarlos periódicamente al lecho de secado.

Los lodos acumulados en el digestor se extraen periódicamente y se conduce a lechos de secado, en donde el contenido de humedad se reduce por infiltración, después de lo cual se retiran y se disponen de ellos enterrándolos o pueden ser utilizados para mejoramiento de los suelos.

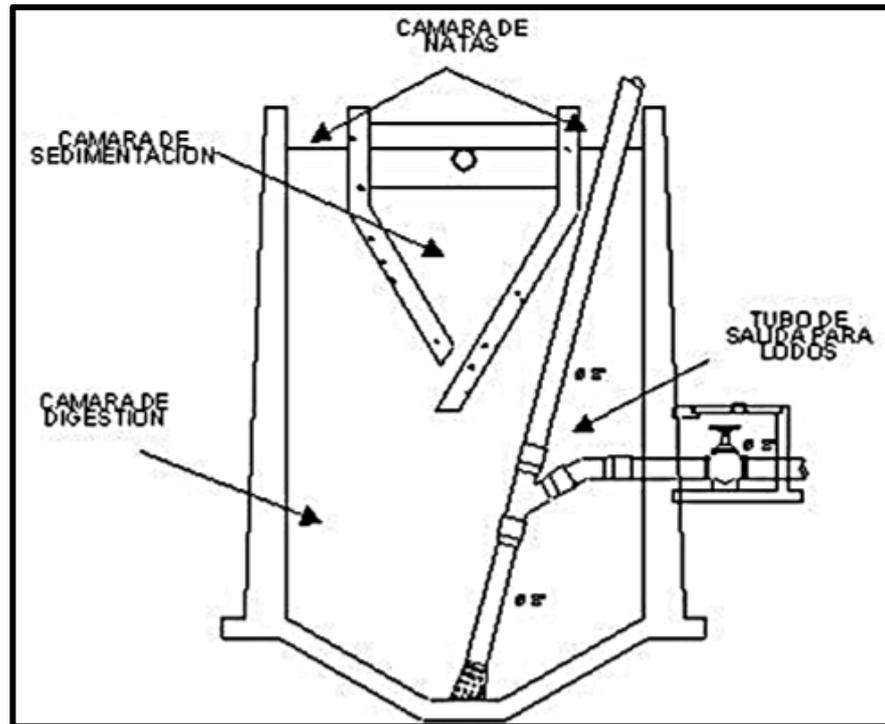


Figura N° 13: Esquema de un tanque Imhoff

#### 2.5.2.4 Digestión Primaria de Lodos

En la decantación primaria y secundaria se producen lodos primarios o secundarios. Estos lodos están compuestos por agua y partículas sólidas. El agua se encuentra agregada o como agua capilar. Las proteínas hidrófilas absorben, por otra parte, moléculas de agua. La proporción del líquido es del 95 - 99 %.

El volumen de lodos que se produce depende del tipo de tratamiento de las aguas servidas y de factores externos, como la climatología o el volumen residual tratado. Estos lodos pueden entrar rápidamente en putrefacción y producir, además, malos olores. En tal sentido, la digestión de los lodos primarios requiere de sistemas que garanticen tiempos de detención de sólidos superiores a los 25 días cuando se tienen aguas servidas con temperaturas promedio entre los 20 – 25 °C.

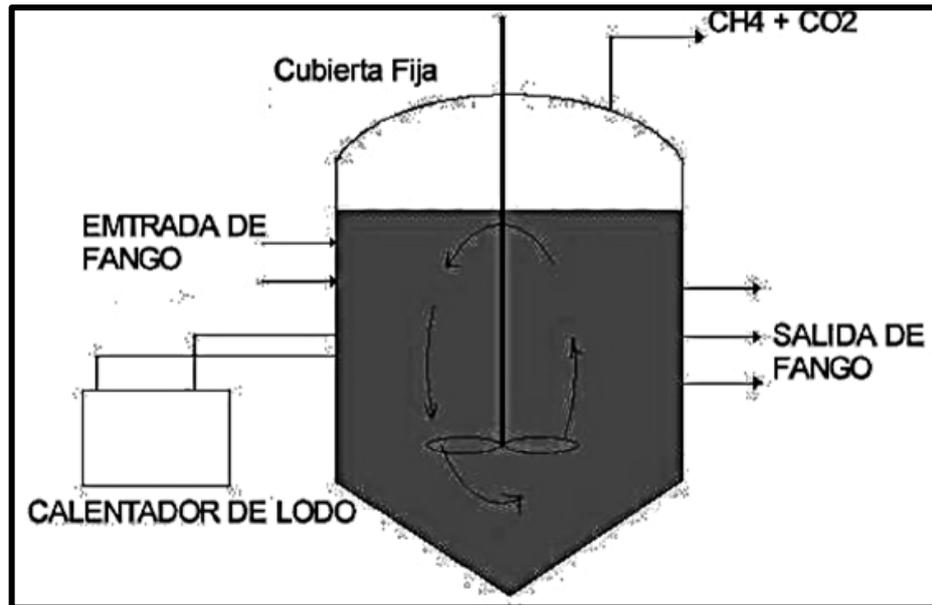


Figura N° 14: Esquema Digestión Primaria de Lodos

### 2.5.3 Tratamiento Secundario

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas servidas una vez superadas las fases de pretratamiento y tratamiento primario. El tratamiento secundario o biológico ha sido diseñado, tomando como ejemplo el proceso biológico de autodepuración, anteriormente mencionado, que ocurre naturalmente. La aplicación de éste en aguas servidas, previene la contaminación de los cuerpos de agua antes de ser descargadas. En estos procesos, la materia orgánica biodegradable de las aguas servidas domésticas actúa como nutriente de una población bacteriana a la cual se le proporciona oxígeno y condiciones controladas, en resumen, el tratamiento biológico es por tanto una oxidación de la materia orgánica biodegradable con participación de bacterias que se ejecuta para acelerar un proceso natural y evitar posteriormente la presencia de contaminantes y la ausencia de oxígeno en los cuerpos de agua.

Para que la transformación biológica se haga efectiva y de manera eficiente, deben existir condiciones adecuadas para el crecimiento bacteriano, considerando temperatura (30 – 40 °C), oxígeno disuelto, pH adecuado (6,5 - 8,0), salinidad (menor a 3 000 ppm). En estos procesos, actúan como sustancias inhibitoras las sustancias tóxicas, como metales pesados Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb y otros, así como cianuros, fenoles y aceites, por este motivo es necesario evitar la presencia de estos.

La biomasa bacteriana puede estar soportada en un lecho fijo, como superficies inertes (rocas, escoria, material cerámico o plástico) o puede estar suspendida en el agua a tratar, siendo estos de lecho móvil o lecho fluidizado. En cada una de estas situaciones la concentración de oxígeno en el agua determina la existencia de bacterias aeróbicas, facultativas o aerobias. Los procesos aerobios con biomasa suspendida que más se aplican son los de lagunas aireadas y los de lodos activados, además los procesos anaerobios.



*Figura N° 15: Preparación de los contenedores para tratamiento secundario*

### 2.5.3.1 Lagunas aireadas

Son embalses de agua servida que ocupan una gran superficie de terreno, por lo que se emplean cuando éste es un bien barato. El agua servida así dispuesta se oxigena mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos para generar oxidación bacteriana. Estos dispositivos crean una turbulencia que mantiene la materia en suspensión. El tiempo de residencia normal de este proceso es de 3 a 6 días, tiempo en que las bacterias poseen un crecimiento acelerado, dependiendo de las condiciones climáticas y suponiendo una aireación suficiente. La separación de sólidos de este tratamiento se logra por decantación que demora de 6 a 12 horas. La calidad del efluente de este proceso es inferior al de lodos activados, cuya diferencia fundamental es que en el primero no hay recirculación de lodos.



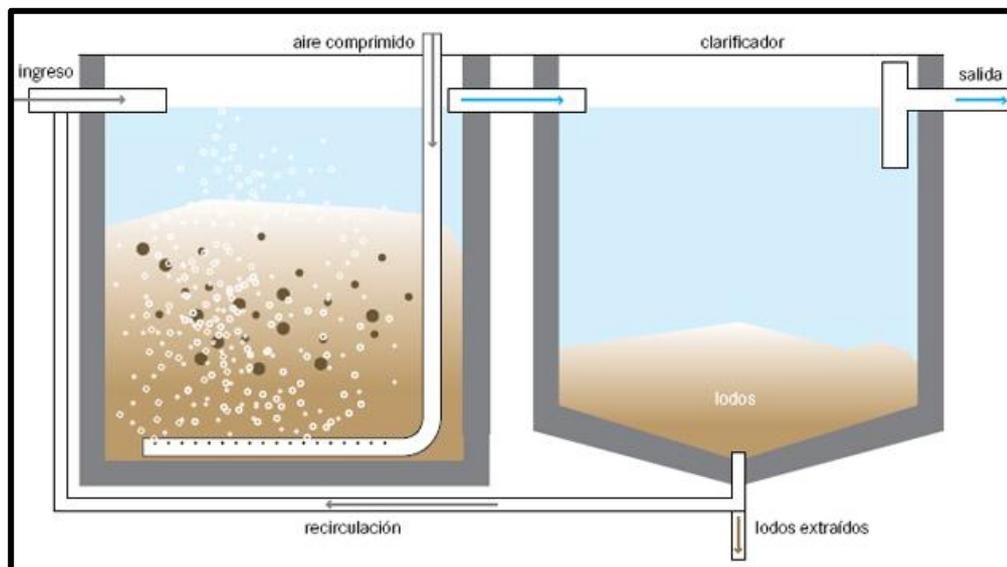
*Figura N° 16: Pozas para laguna aireada de gran extensión*

### 2.5.3.2 Proceso de lodos activados

El agua servida aireada se mezcla con bacterias aeróbicas que se han desarrollado con anterioridad. A diferencia del anterior, la mezcla del agua servida, previamente decantada, se agita por medio de bombas para que la

materia esté en suspensión y en constante contacto con oxígeno en el interior de piscinas de concreto armado. La materia orgánica degradada del agua servida flocula, por lo que luego se puede decantar. Una parte de la biomasa sedimentada se devuelve al tratamiento biológico, para mantener una población bacteriana adecuada, y el resto se separa como lodo.

Las ventajas principales de este proceso son el corto tiempo de residencia de la biomasa en las piscinas (6 horas), permitiendo tratar grandes volúmenes en espacios reducidos y la eficiencia en la extracción de las materias suspendidas. Sin embargo, la eficiencia en la eliminación de bacterias patógenas es baja. El agua tratada en un proceso de lodos activados o en lagunas aireadas puede servir para regadío si previamente se somete a cloración para desinfectarla.



*Figura N° 17: Esquema del proceso de digestión de lodos activos*

### 2.5.3.3 Procesos Anaerobios

También podemos considerar en los procesos anaerobios que consiste en una serie de procesos microbiológicos que ocurren dentro de un recipiente hermético, que realizan la digestión de la materia orgánica con producción de

metano. Pueden intervenir diferentes tipos de microorganismos, pero es desarrollado principalmente por bacterias. Ejemplos de tratamientos anaeróbicos son los tanques sépticos y los reactores anaerobios que tratan el agua en un sistema sin luz, oxígeno ni movimiento.

Las ventajas principales sería que generalmente requiere de instalaciones menos costosas, y no hay necesidad de suministrar oxígeno, por lo que el proceso es más barato y el requerimiento energético es menor. Produce una menor cantidad de lodos (el 20% en comparación con un sistema de lodos activos).

Por otro lado, sus desventajas sería que es más lento que el tratamiento aeróbico, es decir, requiere un mayor tiempo de contacto o retención hidráulica, así como más tiempo de aclimatación, lo que impide el tratamiento de grandes volúmenes de aguas servidas.

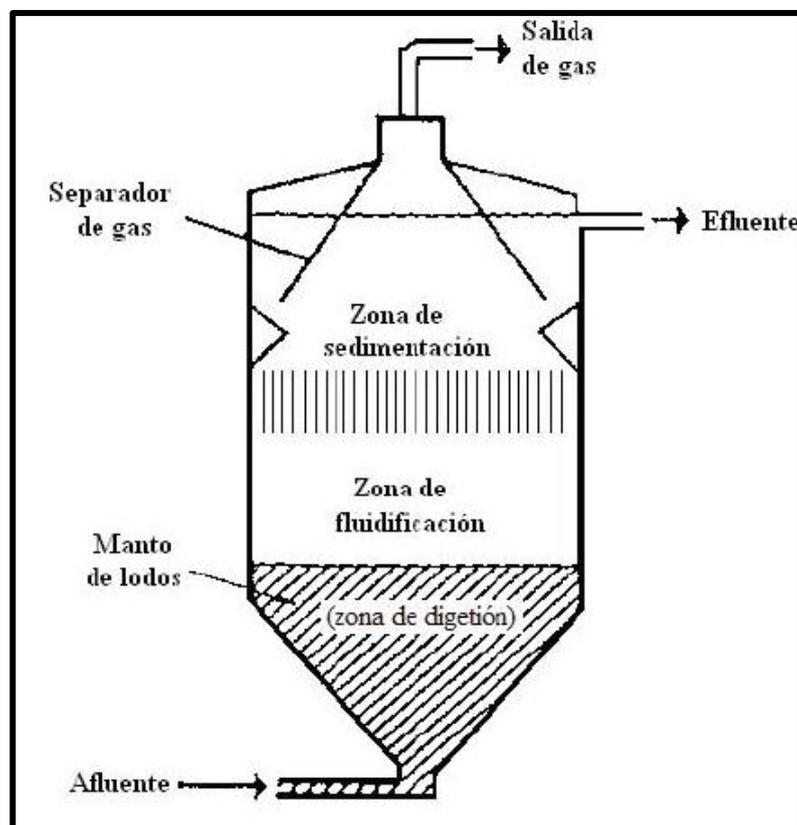


Figura N° 18: Esquema del proceso de digestión anaerobia



#### **2.5.4 Tratamiento Terciario**

Los objetivos del tratamiento terciario son eliminar la carga orgánica remanente de un tratamiento secundario, eliminar microorganismos patógenos, eliminar color y olor indeseables, remover detergentes, fosfatos y nitratos residuales, que ocasionan espuma y eutrofización respectivamente. La cloración es parte del tratamiento terciario o avanzado que se emplea para lograr un agua más pura, incluso hasta llegar a potabilizarla si se desea.

En el tratamiento de aguas servidas, es importante tener en cuenta el manejo de los lodos provenientes de los tratamientos primario y secundario. Estos lodos, no tienen valor económico, pero si ocasionan daños al medio ambiente.

Para estabilizar estos lodos, es decir, destruir las bacterias patógenas y volverlos inocuos al medio ambiente, el lodo se concentra por sedimentación y coagulación-floculación durante el tratamiento secundario. Este lodo, así concentrado, se puede tratar con cal como bactericida y eliminar el agua mediante exposición al sol, filtros de arena, filtros al vacío o centrifuga. Sin embargo, éstas técnicas poseen costos elevados y problemas técnicos.

El lodo deshidratado puede disponerse en vertederos, incinerarlo, o lo más deseable, usarlo como fertilizante y acondicionador del suelo, aunque su composición limita este empleo.



*Figura N° 19: Cámara de mezclado con agentes purificadores*

## **2.5.5 Estructuras hidráulicas**

### **2.5.5.1 Vertedero de control**

Los vertederos son estructuras que tienen aplicación muy extendida en todo tipo de sistemas hidráulicos y expresan una condición especial de movimiento no uniforme en un tramo con notoria diferencia de nivel. Normalmente desempeñan funciones de seguridad y control.

Un vertedero puede tener las siguientes funciones:

- Lograr que el nivel de agua en una obra de toma alcance el valor de requerido para el funcionamiento de la misma.
- Mantener un nivel casi constante aguas arriba de una obra de toma, permitiendo que el flujo sobre el coronamiento del vertedero se desarrolle con una lámina líquida de espesor limitado.
- En una obra de toma, el vertedero de excedencias se constituye en el órgano de seguridad de mayor importancia, evacuando las aguas en exceso generadas durante los eventos de máximas crecidas.

- Permitir el control del flujo en estructuras de caída, disipadores de energía, transiciones, estructuras de entrada y salida en alcantarillas de carreteras, sistemas de alcantarillado, etc.

Los vertederos de pared delgada sirven determinar la capacidad de evacuación se considerará un vertedero de flujo libre que presenta una condición de descarga que no es influenciado o afectado por el escurrimiento que se desarrolla aguas abajo. Se toma como base los conceptos de Poleni - Weisbach, aplicable a un vertedero de pared delgada. Considerando el coronamiento o cresta del vertedero como la línea de referencia y de la aplicación de la ecuación de la energía a la línea de flujo 1 -2, resulta:

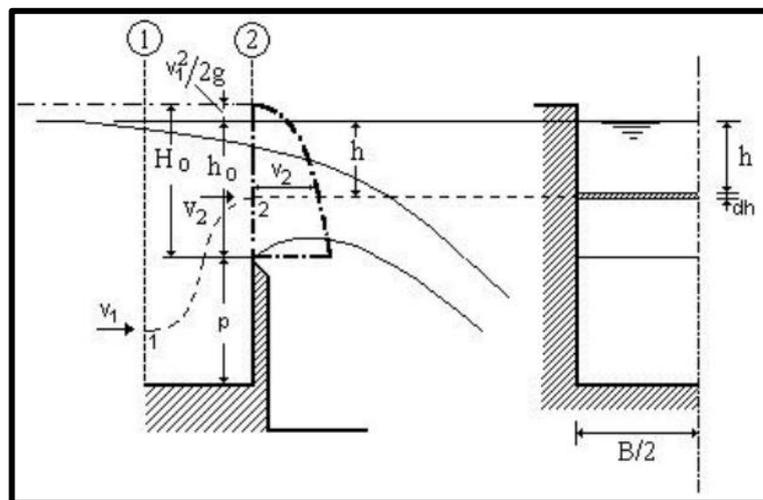
$$Q = \frac{2}{3} m \cdot \sqrt{2g} \cdot B \cdot \left[ \left( h_0 + \frac{v_1^2}{2g} \right)^{3/2} - \left( \frac{v_1^2}{2g} \right)^{3/2} \right]$$

*Fórmula 01*

Dónde:

B : Ancho del vertedero.

m : Coeficiente de corrección o de descarga



*Figura N° 20: Esquema para el desarrollo de la fórmula de Poleni-Weisbach*



Cuando la altura de carga  $h_0$  es mayor a la altura de velocidad  $v_1^2/2g$ , el último término entre paréntesis resulta muy pequeño, por lo que se lo puede despreciar.

De este modo la ecuación se escribe:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot m \cdot \sqrt{2g} \cdot B \cdot \left[ h_0 + \frac{v_1^2}{2g} \right]^{3/2}$$

*Fórmula 02*

Cuando la velocidad de acercamiento del flujo es muy pequeña, es posible también despreciar  $v_1^2/2g$ , resultando entonces:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot m \cdot \sqrt{2g} \cdot B \cdot h_0^{3/2}$$

*Fórmula 03*

Los vertederos triangulares permiten el conocimiento de la cantidad de agua disponible en un predio, es de fundamental importancia para decidir el establecimiento de un sistema de agua servida. La determinación de la cantidad de agua que se disponen en un predio se denomina aforo y puede ser realizado de diferentes maneras. Una de estas y la más fácil de construir e instalar es el vertedero triangular. La escotadura de este tipo de vertedero es de forma triangular. El ángulo que se forma es de  $90^\circ$ . El vertedero triangular es el más preciso para medir caudales pequeños. El caudal se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$Q = 1.4 \times H^{5/2}$$

*Fórmula 04*

Dónde:

$$Q = \text{Gasto (m}^3/\text{s)} \quad m = \text{Carga de agua (H)}$$



Un resumen de la secuencia completa de tratamientos que pueden aplicarse a aguas servidas domésticas, y también aguas servidas industriales, se representa en este esquema.

## 2.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE TRATAMIENTO ACTUAL

En el distrito de Santa, existen 6 plantas de tratamiento de aguas servidas, las que describiremos en la siguiente tabla.

*Tabla N° 09: Plantas de tratamiento existentes en el distrito de Santa*

Localidad	Sistema de tratamiento	Tratamiento Primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario	Disposición Final	Estado
<b>Pampa la Grama</b>	Laguna de oxidación	Sedimentador	Poza de oxidación	Ninguno	Afluentes Rio Santa	Regular
<b>La Huaca</b>	Laguna de oxidación	Sedimentador	Poza de oxidación	Ninguno	Afluentes Rio Santa	Regular
<b>Alto Peru</b>	Laguna de oxidación	Ninguno	Poza de oxidación	Ninguno	Afluentes Rio Santa	Pésimo
<b>Tamboreal Antiguo</b>	Laguna de oxidación	Ninguno	Poza de oxidación	Ninguno	Afluentes Rio Santa	Pésimo
<b>Tamboreal Nuevo</b>	Laguna de oxidación	Sedimentador	Poza de oxidación	Ninguno	Afluentes Rio Santa	Malo
<b>Rinconada</b>	Laguna de oxidación	Ninguno	Poza de oxidación	Ninguno	Afluentes Rio Santa	Pésimo

*Fuente: Personal investigador*

### 2.6.1 Estudio del agua tratada actualmente:

Se tomó una muestra del agua que se trata en la Planta de tratamiento en Tamboreal Antiguo y se obtuvo los siguientes resultados:



Tabla N° 10, datos obtenidos con ensayos de laboratorio

MUESTRA	ENSAYOS	
	Ingreso	Salida
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	$13 \times 10^5$	$33 \times 10^4$
pH	6.06	5.14
Cloruros ppm -Cl	42.54	148.89

Fuente: Análisis realizados en el laboratorio de Química UNS y laboratorios COLECBI SAC

Lo cual comparado con los parámetros mínimos para tratamiento de agua, resulta completamente desfavorable para este sistema actual.

Tabla N° 11, comparación de los datos mínimos y los obtenidos en el laboratorio

MUESTRA	ENSAYOS		
	Ingreso	Salida	Valores mínimos
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	$13 \times 10^5$	$33 \times 10^4$	$5 \times 10^3$
pH	6.06	5.14	6.5 – 8.4
Cloruros ppm -Cl	42.54	148.89	250

Fuente: Análisis realizados en el laboratorio de Química UNS y laboratorios COLECBI SAC

## 2.7 PLANTAS DE TRATAMIENTO PARA POBLACIONES PEQUEÑAS

Los autores Metcalf & Eddy en su libro "Ingeniería de Aguas Residuales", consideran comunidades pequeñas a aquellas poblaciones iguales o inferiores a 1000 habitantes. Por su propia situación geográfica y desarrollos, las pequeñas comunidades presentan una serie de problemas específicos que hacen difícil la provisión de sistemas tanto de abastecimiento de agua potable como de tratamiento de lagunas residuales.



### **2.7.1 Problemas específicos asociados a las pequeñas comunidades.**

Debido a su tamaño, las pequeñas comunidades se enfrentan a una serie de problemas que dificultan la construcción y explotación de las plantas de tratamiento de aguas residuales habitualmente gestionadas por los entes municipales. Los principales problemas que se presentan están relacionados con:

#### **a. Normativas de vertido estrictas**

Para la preservación del medio ambiente, las normativas de vertido de aguas residuales tratadas son las mismas para comunidades grandes que para pequeñas. Como consecuencia de ello, las pequeñas comunidades se ven obligadas a proporcionar el mismo nivel de tratamiento que las grandes comunidades. El problema que se plantea es proveer este nivel de tratamiento contando con las siguientes limitaciones económicas.

#### **b. Elevado coste por habitante**

Debido a su tamaño, las pequeñas comunidades no pueden aprovechar las ventajas de la economía de escala que se derivan de la construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales para grandes comunidades. De hecho, cuando la población es inferior a un valor determinado, la curva de costes por habitante tiende a ser plana. Como consecuencia de ello, las instalaciones convencionales suelen tener un coste constructivo por habitante más elevado en pequeñas comunidades que en otras de mayor tamaño. En las pequeñas comunidades, el hecho de que la población este mas dispersada también contribuye a elevar el coste por habitante entre 2 y 4 veces superior en una comunidad de 1000 habitantes que en una de 100000.



### **c. Financiación limitada**

En general, las pequeñas comunidades se enfrentan con problemas de financiación de las instalaciones de gestión de aguas residuales que obedecen a uno o más de los siguientes motivos:

- Menores ingresos por vivienda. Los ingresos de familias instaladas en zonas no urbanas son inferiores a los de las familias de zonas urbanas. El porcentaje de familias pobres es mucho mayor en zonas no urbanas.
- Financiación. Las pequeñas comunidades tienen grandes problemas para acceder al mercado de crédito. Aquellas que lo consiguen, suelen tener una cotización baja.

## **2.7.2 Caudales y características**

Los caudales y características de las aguas residuales de pequeña comunidades difieren notablemente de los sistemas de grandes dimensiones. Por lo tanto, para el diseño de instalaciones que sirvan a residencias individuales, urbanizaciones y pequeñas comunidades, es fundamental conocer los caudales y características previsibles de las aguas residuales a tratar.

### **2.7.2.1 Caudales de agua servida**

Tanto en sistemas de viviendas individuales como en sistemas para urbanización y comunidades pequeñas, es necesario tener en cuenta los caudales por habitante y sus variaciones. Aproximadamente según el RNE la dotación de agua para viviendas de hasta 200 m<sup>2</sup> es de 1500 l/d y el 80 % de esta agua se convierte en agua servida es decir se va a la red de alcantarillado.



### **2.7.2.2 Características del agua servida**

El agua servida domestica contiene 120 g/hab d de heces y 1.1 l/hab.d de orina, las que llamamos aguas negras y aguas grises a las que contienen aguas jabonosas que pueden contener grasas también, provenientes de la ducha, tina, lavamanos, lavaplatos, lavadero y lavadora.

## **2.8 ELECCION DEL PROCESO DE TRATAMIENTO**

En zonas no conectadas a una red de alcantarillado, las aguas servidas de pequeñas comunidades se suelen tratar mediante sistemas de tratamiento y evacuación ubicados en las proximidades de las fuentes de generación. Las diferentes posibilidades de gestión de las aguas servidas que se pueden adoptar en zonas no conectadas a una red de alcantarillado vendrán del análisis de las ventajas y desventajas que ofrecen otros sistemas de tratamiento. A pesar de que se han empleado varios tipos de sistemas de tratamiento parcial del agua servida y la percolación en el terreno mediante un sistema de infiltración para el tratamiento final y evacuación del efluente de la fosa séptica. Como quiera que, en algunas zonas, es imposible de disponer de terrenos para la evacuación del efluente con sistemas convencionales de infiltración, se han desarrollado diversos sistemas alternativos. De estos, los que proporcionan mejores resultados incluyen el tratamiento con filtros intermitentes y con recirculación.

### **2.8.1 Consideraciones generales para la elección del proceso de tratamiento**

Para el procedimiento de selección de la alternativa óptima se utiliza la Metodología de Matriz de Selección con la ponderación de valores para los parámetros de evaluación escogidos, es una herramienta cualitativa usada en



administración y aplicada a diversas ramas de la investigación ya sea salud, proyectos, economía. Utiliza para evaluar distintas opciones puntuándolas respecto a criterios de interés para un problema, de manera que se intenta objetivar la elección, según la importancia relativa de los mismos, importancia determinada por un grupo de profesionales participantes en el proyecto para evitar la subjetividad de la selección.

En primer lugar, las alternativas a evaluar se clasificaron del 1 al 5 para cada uno de los cinco parámetros de evaluación, asignándole el N° 1 a la que se considera más barata o más factible o de menor impacto y el valor 5 a la más cara, difícil o de mayor impacto. La siguiente tabla se utiliza para esa clasificación.

Tabla N° 12: Clasificación de alternativas por parámetro.

CLASIFICACIÓN DE ALTERNATIVAS POR PARÁMETRO						
ALTERNATIVAS	PARAMETRO	COSTOS	FACTIB. IMPLEMT	FACTIBIL TECNICA	FACILID. OPERAT.	IMPACTO AMBIENT
a. Lagunas facultativas						
b. Lagunas aireadas						
c. Filtros percoladores						
d. Zanjas de oxidación						
e. Lodos activados						

Para adelantar una evaluación ponderada, se realiza una comparación entre los diferentes parámetros de evaluación, por parejas, asignándose el valor de 1 a aquel que se considera como más importante del par y 0 al menos importante. Cuando se consideran de igual importancia se les asigna el valor de 0.5. Se busca que la asignación de los valores de importancia relativa se realizada por el grupo de profesionales involucrados en el proyecto, tanto de la parte de diseño como de la parte operativa. El resultado conformará la siguiente tabla.





Tabla N° 15: Matriz de decisión.

MATRIZ DE DECISION					
PARAMETRO	ASIGNACION VALOR IMPORTANCIA RELATIVA AJUSTADO				
	COSTOS	FACTIBIL. IMPLEM.	FACTIBIL. TÉCNICA	FACILIDAD OPERATIV	IMPACTO AMBIENT
ALTERNATIVA					
a. Lagunas facultativas.					
b. Lagunas aireadas.					
c. Filtros percoladores.					
d. Zanjas de oxidación					
e. Lodos activados.					

Finalmente, con los puntos establecidos en la Matriz de Decisión, se establece el orden de elegibilidad.

Tabla N° 16: Orden de elegibilidad.

ORDEN DE ELEGIBILIDAD		
PUESTO	ALTERNATIVAS	PUNTOS
1		
2		
3		
4		
5		

## 2.8.2 Aplicación de la matriz de selección

Utilizando los criterios descritos se desarrollaron los cuadros de la matriz de selección obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 17: Resumen de características de la PTAR evaluadas

PARAMET. ALTERN.	COST.	FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACION		FACTIBILIDAD TECNICA			FACIL. OPERAT.	IMPACTO AMBIENTAL
		POBLACION MAX. Y MIN. (hab)	TERRENO NECES.	CALID. SALID.	CAPAC. (m3)	INTERV. DE MANT.		
Tanque séptico	Bajo	150 - 200	Areas pequeñas (10 m2 aprox.)	45 a 60%	20	2 años	Fácil	Descarga al suelo, produce lodos
Tanque imhoff	Bajo	200 - 400	Estructuras profundas > 6 m	20 a 35 %	más de 20	3 meses	Fácil	Descarga al suelo, produce lodos
Laguna de estabilización	Alto	> 400	Grandes areas y prof. 2 a 4 m	75 a 85 %	más de 40	3 meses	Fácil	Produce lodos, malos olores
Poza de percolación	Medio	200 - 400	Area pequeña (de acuerdo al diseño)	65 - 75 %	más de 20	3 meses	Fácil	Descarga a un cuerpo receptor, produce lodos

Fuente: Manual técnico de difusión sistema de tratamiento de aguas residuales para albergues en zonas rurales - Plan nacional de calidad turística del Perú (CALTUR), MINCETUR



Tabla N° 18: Clasificación de alternativas por parámetro

CLASIFICACION DE ALTERNATIVAS POR PARAMETRO					
PARAMET. ALTERNATIV	COSTOS	FACTIB. IMPLEMENT.	FACTIB. TECNICA	FACIL. OPERAT.	IMPACT. AMBIENTAL
Tanque séptico	1	2	3	1	3
Tanque imhoff	2	2	4	1	3
Laguna de estabilizacion	4	4	2	1	3
Poza de percolacion	2	1	2	1	2

Tabla N° 19: Determinación de valores de importancia relativa (VIR)

DETERMINACION DE LA IMPORTANCIA RELATIVA											TOTAL PROM.	VIR. PROM.		
PARAMET. DE EVALUACION	COMPARACIONES POR PAREJAS										TOTAL PROM.	VIR. PROM.		
Costos	0.5	0.5	0.5	0	1						2.5	16.67		
Factibilidad Implementación	0.5					0.5	0	0	1		2	13.33		
Factibilidad Técnica		0.5				0.5			0.5	0	1	2.5	16.67	
Factibilidad Operativa			0.5				1		0.5		0.5	1	3.5	23.33
Impacto Ambiental				1				1		1	0.5	1	4.5	30.00
Parámetro Ficticio					0				0		0	0	0	0.00
<b>TOTAL</b>											<b>15</b>	<b>100.00</b>		



Tabla N° 20: Asignación de valores, VIR, por orden de clasificación de alternativas

ASIGNACION DE VALORES POR ORDEN DE CLASIFICACION DE LAS ALTERNATIVAS						
CLASIFICAC.DE LA ALTERNAT.	% ASIGNADO PARA LA CLASIF.	VIR ASIGNADO POR PARAMETRO				
		COSTOS	FACTIB. IMPLEM.	FACTIB. TECNICA	FACILID. OPERAT.	IMPACTO AMBIENT.
1	100	16.67	13.33	16.67	23.33	30.00
2	75	12.50	10.00	12.50	17.50	22.50
3	50	8.33	6.67	8.33	11.67	15.00
4	25	4.17	3.33	4.17	5.83	7.50

Tabla N° 21: Matriz de decisión

MATRIZ DE DECISIÓN					
PARAMETRO ALTERNATIVA	ASIGNACION VALOR IMPORTANCIA RELATIVA AJUSTADO				
	COSTOS	FACTIB. IMPLEM.	FACTIB. TECNICA	FACILID. OPERAT.	IMPACTO AMBIENT.
Tanque septico	16.67	12.5	8.33	23.33	15
Tanque imhoff	12.5	12.5	4.17	23.33	15
Laguna de estabilizacion	4.17	3.33	12.5	23.33	15
Poza de percolacion	12.5	13.33	12.5	23.33	22.5

Tabla N° 22: Orden de elegibilidad

ORDEN DE ELEGIBILIDAD		
PUESTO	ALTERNATIVAS	PUNTOS
1	Poza de percolación	84.16
2	Tanque séptico	75.83
3	Tanque imhoff	67.50
4	Laguna de estabilización	58.33



Tal como lo indica la Tabla N° 22, los procesos de tratamiento de mejor aplicación son los filtros percoladores, tanques sépticos y tanques imhoff.

### **2.8.3 Sistema de tratamiento recomendado**

Basándonos en la evaluación antes descrita, la alternativa de pozo percolador es la más adecuada, debido a que es un sistema de tratamiento adecuado para la zona descrita y que se acomoda a la topografía del terreno y a las condiciones sociales de la comunidad.

El caudal que puede tratar se adecua a la cantidad de pobladores y a la dotación de agua diaria por habitante, además de ser un sistema de tratamiento por gravedad su fácil operatividad y mantenimiento refuerzan la decisión de su elección. Debido a su corto periodo de retención, se minimiza la emanación de malos olores y proliferación de huevecillos de zancudos y mosquitos, los cuales pueden ser eliminados con tratamiento químico.

Para la disposición de los lodos, se plantea el secado y luego reutilización como fertilizante, esta opción estará supeditada a la decisión de la entidad responsable del sistema de tratamiento, pues elegirá el mejor método de disposición del material retenido.

## **2.9 DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE FILTRO LENTO**

### **2.9.1 DESCRIPCIÓN GENERAL**

#### **2.9.1.1 Características**

Según el ANA, el RNE y el Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales realizado por el Fondo Perú Alemania realizado por el Ing. Eduardo García Trisolini (Lima, junio 2009)



Una planta de tratamiento de filtro lento básicamente consiste en un caja (de concreto, ladrillos o mampostería), que contiene arena con un espesor de aproximadamente de 0.7 – 1.4 m. y para su funcionamiento se llena de agua hasta 1 a 1.5 m, por encima de la superficie de la arena, llamada capa sobrenadante.

En la base de la caja debe tener un sistema de drenaje para captar el agua que atraviesa el filtro. Para el ingreso y salida del agua de la caja deberán llevar las estructuras correspondientes.

Es importante anotar que el agua filtrada no es evacuada en la cota de la base de la caja, sino más alta, en una cota de aproximadamente 0.3 m. por encima de la superficie del filtro de arena, con el objeto de que la filtración sea lenta.

Para que el agua que ingresa a la caja tenga un primer proceso de tratamiento se utiliza un sedimentador o un filtro grueso.

#### **2.9.1.2 Efectos**

Este sistema de tratamiento elimina la turbidez del agua y reduce considerablemente el número de microorganismos (bacterias, virus y quistes).

Es un proceso semejante a la percolación del agua a través del subsuelo debido al movimiento lento del agua.

Estos filtros se utilizan desde el siglo XIX habiéndose probado su efectividad en múltiples usos, resultando como uno de los procesos de tratamiento más efectivo, simple y económico para áreas rurales. Su diseño simple facilita el uso de materiales y mano de obra locales y no requiere equipo especial.



### **2.9.1.3 Tipos**

Los filtros lentos pueden ser de varios tipos:

- Convencionales.
- Modificados.
- Flujo ascendente.
- Dinámicos.

El más usado es el convencional, por resultar el más práctico para su operación y mantenimiento.

El filtro convencional tiene un flujo constante de sentido ascendente, altura constante y velocidad regulada.

Sus componentes son:

- Capa sobrenadante.
- Lecho filtrante.
- Sistema de drenaje.
- Sistema de regulación (entrada y salida).

### **2.9.1.4 Restricciones y condiciones**

- Las restricciones de su uso son las siguientes:
- Turbiedad del agua mayor a 50 UT, por pocos días hasta 100 UT.
- Temperaturas menores a 4° C.
- Presencia de agroquímicos en el agua, que pueden modificar o destruir el proceso microbiológico que sirve de base a la filtración lenta.
- Es fundamental la presencia de la luz solar.



## **2.9.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

La filtración biológica (o filtración lenta) se consigue al hacer circular el agua cruda a través de un manto poroso, usualmente arena. Durante el proceso, las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen a la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución o permanecen como material inerte hasta su subsecuente retiro o limpieza. Los procesos que se desarrollan en un filtro lento se complementan entre sí para mejorar las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua tratada, actuando en forma simultánea.

El agua cruda que ingresa a la unidad, permanece sobre el medio filtrante (filtros lentos convencionales) de tres a doce horas, dependiendo de las velocidades de filtración adoptadas. En este tiempo las partículas más ligeras se pueden aglutinar, llegando a ser más fácil su remoción posterior. Durante el día y bajo la influencia de la luz del sol, se produce el crecimiento de algas, las cuales absorben bióxido de carbono, nitratos, fosfatos y otros nutrientes del agua, para formar material celular y oxígeno.

El oxígeno así formado se disuelve en el agua y entra en reacción química con las impurezas orgánicas, haciendo que éstas sean más asimilables por las algas.

En la superficie del medio filtrante se forma una capa principalmente de origen orgánico conocido como "piel de filtro", formado principalmente por algas, plancton, diatomeas, protozoarios, rotíferas y bacterias.



La acción de estos organismos atrapa, digiere y degrada la materia orgánica contenida en el agua. El agua sale libre de impurezas y con bajo contenido de sales en solución. Por lo general el agua sale con bajo contenido de oxígeno y alto contenido de CO<sub>2</sub>, por lo tanto se requiere aireación. La arena de cuarzo tiene carga negativa, mientras que todos los metales en solución están cargados positivamente, por lo que son absorbidos por el cuarzo.

Esta actividad biológica actúa en los primeros 0.4 m. del filtro. Factores que afectan el proceso:

- Diámetro de partículas (del material filtrante).
- Temperatura (la eficiencia es baja, cuando baja de 2° C).
- Desarrollo de algas, requieren luz. Sin embargo, filtros cubiertos también trabajan bien.
- Capacidad de oxidación del filtro.
- Pesticidas y sustitutos tóxicos (negativo).
- Los poros conforman aproximadamente el 40% del volumen.

### **2.9.3 CALCULOS HIDRAULICOS**

Para los cálculos hidráulicos, considerando que el sistema es por gravedad y de canal abierto aplicaran las fórmulas de mecánica de fluidos, las que se describen a continuación:

#### **2.9.3.1 Teorema de Bernoulli**

##### **a) Formulación de la ecuación**

La ecuación de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido bajo condiciones variantes y tiene la forma siguiente:



$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$$

Formula 05

## b) Parámetros

En la ecuación de Bernoulli intervienen los parámetros siguientes:

- **P**: Es la presión estática a la que está sometido el fluido, debida a las moléculas que lo rodean
- **$\rho$** : Densidad del fluido.
- **v**: Velocidad de flujo del fluido.
- **g**: Valor de la aceleración de la gravedad (**9.81 m/s<sup>2</sup>**) en la superficie de la Tierra).
- **h**: Altura sobre un nivel de referencia.

## c) Aplicabilidad

Esta ecuación se aplica en la dinámica de fluidos. Un fluido se caracteriza por carecer de elasticidad de forma, es decir, adopta la forma del recipiente que la contiene, esto se debe a que las moléculas de los fluidos no están rígidamente unidas, como en el caso de los sólidos. Fluidos son tanto gases como líquidos.

Para llegar a la ecuación de Bernoulli se han de hacer ciertas suposiciones que nos limitan el nivel de aplicabilidad:

- El fluido se mueve en un régimen estacionario, o sea, la velocidad del flujo en un punto no varía con el tiempo.



- Se desprecia la viscosidad del fluido (que es una fuerza de rozamiento interna).
- Se considera que el líquido está bajo la acción del campo gravitatorio únicamente.

**d) Efecto Bernoulli**

El efecto Bernoulli es una consecuencia directa que surge a partir de la ecuación de Bernoulli: en el caso de que el fluido fluya en horizontal un aumento de la velocidad del flujo implica que la presión estática decrecerá.

Un ejemplo práctico es el caso de las alas de un avión, que están diseñadas para que el aire que pasa por encima del ala fluya más velozmente que el aire que pasa por debajo del ala, por lo que la presión estática es mayor en la parte inferior y el avión se levanta.

**e) Tubo de Venturi**

El caudal (o gasto) se define como el producto de la sección por la que fluye el fluido y la velocidad a la que fluye. En dinámica de fluidos existe una ecuación de continuidad que nos garantiza que en ausencia de manantiales o sumideros, este caudal es constante. Como implicación directa de esta continuidad del caudal y la ecuación de Bernoulli tenemos un tubo de Venturi.

Un tubo de Venturi es una cavidad de sección  $S_1$  por la que fluye un fluido y que en una parte se estrecha, teniendo ahora una sección  $S_2 < S_1$ .

Como el caudal se conserva entonces tenemos que  $V_2 > V_1$ . Por tanto:



$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

*Formula 06*

Si el tubo es horizontal entonces  $h_1 = h_2$ , y con la condición anterior de las velocidades vemos que, necesariamente,  $P_1 > P_2$ . Es decir, un estrechamiento en un tubo horizontal implica que la presión estática del líquido disminuye en el estrechamiento.

## 2.9.4 PARAMETROS DE DISEÑO

### 2.9.4.1 Pre filtro sedimentador

Estructura para que el agua discurra a baja velocidad, para la decantación de partículas finas, removiendo:

- Turbidez hasta 1000 UT.
- Partículas mayores a 0.05 mm.

Las recomendaciones para el diseño son:

- Profundidad: 1.5 a 2.5 m.
- Relación largo / ancho: 4 a 6/1.
- Relación largo profundidad: 5 a 20/1.
- Tiempo de retención: 4 a 12 horas.
- Calculo de la velocidad de flujo en el tanque

#### a. Velocidad de sedimentador

La velocidad en un sedimentador se considera lenta, cuando está comprendida entre 0.20 m/s a 0.60 m/s. La elección puede ser arbitraria o puede realizar utilizando la fórmula de Camp.



$$v = a\sqrt{d} \text{ (cm/s)}$$

Formula 07

Dónde:

**d** = diámetro (mm)

**a** = constante en función del diámetro

Tabla N° 23: propuesta por Camp de acuerdo al diámetro de partícula

a	d (mm)
51	< 0.1
44	0.1 - 1
36	> 1

Tabla N° 24: Clasificación de Suelos Alemania - 1936, propuesta por Kopercky

MATERIAL	CARACTERISTICA	TAMAÑO (mm)
Piedra	----	> 70
Grava	Gruesa	30 - 70
	Media	5 - 30
	Fina	2 - 5
Arena	Gruesa	1 - 2
	Media	0.2 - 1
	Fina	0.1 - 0.2
Polvo	Grueso	0.05 - 0.1
	Fino	0.02 - 0.05
Limo	Grueso	0.006 - 0.02
	Fino	0.002 - 0.006
Arcilla	Gruesa	0.0006 - 0.002
	Fina	0.0002 - 0.0006
Ultra - Arcilla	----	0.00002 - 0.0002

Según Dubuat, las velocidades límites por debajo de las cuales el agua cesa de arrastrar diversas materias son:

- Para la arcilla 0.081 m/s



- Para la arena fina 0.16 m/s
- Para la arena gruesa 0.216 m/s

### b. Cálculo de velocidades de sedimentación

Para calcular el tiempo necesario para sedimentar y la velocidad de sedimentación del fluido usaremos la tabla propuesta por Arkhangelski (1935) de acuerdo al diámetro de la partícula a sedimentar.

Tabla N° 25: Velocidades de sedimentación  $w$  calculado por Arkhangelski en función del diámetro de partículas

d (m)	W (cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560
0.20	2.160
0.25	2.700
0.30	3.240
0.35	3.780
0.40	4.320
0.45	4.860
0.50	5.400
0.55	5.940
0.60	6.480
0.70	7.320
0.80	8.070
1.00	9.44
2.00	15.29
3.00	19.25
5.00	24.90

### 2.9.4.2 Filtro lento

#### a) Cálculo del área de la caja del filtro

Se utiliza la siguiente relación:



$$A = \frac{V}{0.1a + b}$$

Formula 08

Dónde:

A = Área en m<sup>2</sup> de la superficie del filtro.

V = Volumen de demanda diaria en m<sup>3</sup>.

a = Horas de operación / día.

b = Coeficiente dependiente del N° de horas de servicio/día

Tabla N° 26: Relación Numero de horas de servicio/día

Horas	Coeficiente
8	0.5
16	0.7
24	0

Fuente: Plantas de tratamiento de filtros lentos, Ing. Lidia Vargas de Cánepa

### b) Altura de la caja del filtro

De 2.20 m. a 3.60 m., con la distribución siguiente:

- Drenaje: 0.3 – 0.4 m.
- Lecho filtrante: 0.7 – 1.4 m.
- Capa sobrenadante: 1.0 – 1.5 m.
- Borde libre: 0.2 – 0.30 m.
- Total 2.20 – 3.60 m.**

### c) Condiciones de caja

- Se construye de concreto, ladrillos o mampostería de piedra.



- Los muros pueden ser verticales o inclinados, ya que lo que importa en el diseño es el área superficial y no el volumen.
- Debe ser hermético para evitar pérdida de agua.
- La caja puede tener forma circular o rectangular.
- Las paredes inclinadas tiene las siguientes ventajas:
  - a. Menor espesor de muros por transmitir la carga del terreno.
  - b. Menos volumen de excavación.
  - c. Menor volumen de material filtrante.

#### d) Número

Se recomienda el siguiente número de cajas trabajando en paralelo

*Tabla N° 27: Relación Número de cajas por cantidad de población*

N° de cajas	Población (habitante)
2	< 2000
3 a 4	> 2000

*Fuente: Plantas de tratamiento de filtros lentos, Ing. Lidia Vargas de Cánepa*

#### e) Drenaje

El dren es la estructura que sirve para evacuar el agua filtrada, que será conducido al reservorio de regulación.

Los drenes pueden ser:

- Tuberías perforadas.
- Ladrillos o bloques de concreto con aberturas.



Encima del dren se colocará una capa de grava de 0.2 m. de espesor, denominado capa de soporte, con granulometría decreciente en el sentido ascendente. El espesor del dren será de 0.3 a 0.4 m.

Los drenes se colocan en forma de espina de pescado con orientación hacia el punto de salida.

#### f) Lecho filtrante

Es el filtro propiamente dicho, formado por material inerte granular durable, normalmente arena sin arcilla y sin materia orgánica.

- Espesor : 0.7 – 1.4 m.
- Granulometría
  - a. Tamaño de granos : 0.15 – 0.35 mm.
  - b. Coeficiente de uniformidad (CU)  
Ideal: 1.5  
Usual: 1.8 – 2.0  
Máximo: 3
  - c. Velocidad de filtración : 0.1 m/hora/m<sup>2</sup>
  - d. Área de filtros : 10 – 100 m<sup>2</sup>

#### g) Capa sobrenadante

Cumple básicamente las siguientes funciones:

- Proporcionar la carga necesaria al filtro para vencer la resistencia del lecho filtrante al paso del agua.



- Proporciona un tiempo de retención del agua de varias horas, para que en un proceso físico y bioquímico las partículas en suspensión se asientan y aglomeran.

El espesor de la caja sobrenadante debe ser de 1.00 – 1.50 m.

#### **h) Sistema de regulación y control (entrada y salida)**

- **Ingreso de agua**

El ingreso debe ser mediante un vertedor ancho, que caiga a un mandil de concreto (o tablas) en el lecho de filtración, para evitar que el filtro se ahueque con la caída del agua.

El llenado del lecho filtrante debe realizarse de abajo hacia arriba para eliminar el aire, por lo que se debe diseñar un tubo de ingreso con válvula, para el ingreso del agua por la parte baja.

**Vertedero:** Se usara un vertedero de acero, cuya área de medición estada definida por la relación 1:1 formándose triangulo notable  $45^\circ$ .

- **Salida del agua**

El agua del drenaje ingresa a un caja de la misma altura que la caja del filtro, con un vertedor de salida de las aguas tratadas, cuyo nivel podrá salir:

- a. Máxima: altura capa sobrenadante (1.0 o 1.5 m).
- b. Mínima: 0.10 a 0.20 encima del nivel del filtro.
- c. Media: 0.5 m. encima del filtro.

Esta agua se conduce con tubería al reservorio de regulación.



Además de la salida descrita, es necesario considerar una salida de purga, en el fondo de la caja del filtro, con tubo y válvula, para verter toda el agua cuando se quiera hacer una limpieza.

## **2.10 PROYECTOS REALIZADOS AFINES CON LA TESIS**

Existen también proyectos de investigación relacionados con el problema de tratamiento de aguas servidas tenemos por ejemplo en el año 2007 en la Universidad Nacional del Santa se realizó una tesis que llevaba por título, Optimización en la producción de la planta de tratamiento de agua de Nuevo Chimbote con el empleo de arena y antracita en el lecho filtrante, realizado por la bachiller Sheila Legendre Salazar y consistía en mejorar la planta de tratamiento de agua de Nuevo Chimbote en los filtros cambiándolo a un sistema dual (arena y antracita), en las conclusiones se obtuvieron resultados positivos dado que aumentó en un 35% promedio la tasa de filtración a comparación de los filtros anteriores de un solo medio(arena).

En el 2010 en la misma universidad se realizó una tesis que llevaba por título, Diseño de una planta de tratamiento del tipo reactor anaeróbico de flujo ascendente por gravedad en el Distrito de Nuevo Chimbote, realizado por los Bachilleres Walter Cruz Regalado y David Miñano Mendoza. Esta tesis consistía en diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales cuyo principio es trabajar con sistema anaeróbico haciendo que exista una población micro bacteriana totalmente distinta a los que existen en una laguna de oxidación, los resultados no fueron tan alentadores puesto que el diseño que resulto no era



propicio para zonas con topografía plana puesto que se planteó un sistema a gravedad, además la demanda utilizada para 10 000 habitantes fue insuficiente.

El trabajo de investigación se justifica debido a que propone la elaboración de un diseño óptimo de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, con la finalidad de disminuir el impacto ambiental negativo.

En la Universidad de Piura, el Bachiller Ramón Espinoza Paz, realiza una tesis para la Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales, titulada, Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores, la que consistía en ampliar y cambiar el sistema de tratamiento en San Juan, al mismo tiempo que se incrementará la cobertura del servicio de alcantarillado al tratar los desagües provenientes del colector Villa El Salvador, en los resultados se logró reducir la contaminación costera causada por efecto de las descargas de aguas residuales del colector Surco al que pertenece el sistema San Juan, se calculó que el sistema recolecta un promedio de 6,500 l/s de desagües. Además se comprobó que se necesitan mejoras adicionales al diseño para su funcionamiento óptimo.

### **CAPITULO III: MATERIALES Y PROCEDIMIENTOS.**

#### **3.1 CALCULO HIDRAULICO**

##### **3.1.1 Cálculo de caudal de diseño**

###### **3.1.1.1 Cálculo de población futura:**

Según INEI, la tasa de crecimiento anual del Departamento de Ancash es 0.80 %.



Por lo tanto en basado en ese índice diremos que en 20 años. La población actual de la localidad es de 257 hab. Para el cálculo usaremos la fórmula de Crecimiento Aritmético:

$$Pf = Pa \left( 1 + \frac{rt}{100} \right)$$

*Formula 09*

Dónde:

Pf: población futura

Pa: población actual

r: tasa de crecimiento (%)

t: periodo de diseño

Reemplazando los datos, tenemos:

$$Pf = 257 \left( 1 + \frac{0.80 \times 20}{100} \right)$$

$$Pf = 298.12 \text{ hab} < > 300 \text{ hab. para el diseño}$$

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en la norma OS. 100 de consideraciones básicas de diseño de infraestructura sanitaria para población y dotación de agua, dice lo siguiente:

Zonas urbanas y lotes : > 90m<sup>2</sup>

Climas templados y cálidos : 220 l/hab/día



### 3.1.1.2 Cálculo de caudales:

#### a) Caudal promedio ( $Q_p$ )

$$Q_p = \frac{\text{Poblacion} \times \text{dotacion}}{86400}$$

*Formula 10*

$$Q_p = \frac{300 \times 220}{86400}$$

$$Q_p = 0.764 \text{ l/s}$$

#### b) Caudal máximo diario ( $Q_{md}$ )

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en la norma OS. 100; para variaciones de consumo dice lo siguiente:

Localidades urbanas y rurales:  $k_1 = 1.3$

El  $Q_{md}$  se define por la siguiente formula:

$$Q_{md} = k_1 \times Q_p$$

*Formula 11*

$$Q_{md} = 1.3 \times 0.764$$

$$Q_{md} = 0.993 \text{ l/s}$$

#### c) Caudal máximo horario ( $Q_{mh}$ )

De acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en la norma OS. 100; para variaciones de consumo dice lo siguiente:

Localidades urbanas:  $k_2 = 1.8 - 2.5$

Localidades rurales:  $k_2 = 1.5$



El Qmh se define por la siguiente formula:

$$Qmh = k_2 \times Qp$$

*Formula 12*

$$Qmh = 2.5 \times 0.764$$

$$Qmh = 1.91 \text{ l/s}$$

Convertimos de l/s a m<sup>3</sup>/s:

$$Qmd = 1.91/\text{s} < > 0.00191 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para el diseño de plantas de tratamiento de aguas servidas usamos el 80% del Qmh, según la norma OS. 070 para el Caudal de contribución al alcantarillado.

$$Qmh = 0.00191 \times 0.8$$

$$Qmh = 0.001528 \text{ m}^3/\text{s}$$

### 3.1.2 Cálculos de mecánica de fluidos

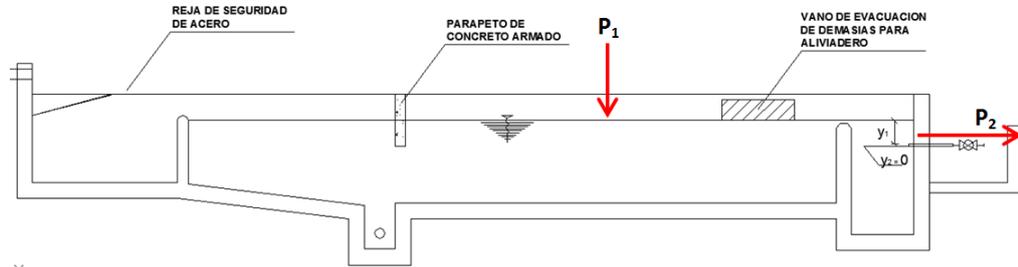
Aplicando la ecuación de Bernoulli de la formula tenemos:

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

*Formula 13*

En la figura N° 21:

Figura N° 21: Idealización de las presiones existentes en el sedimentador



Tenemos que la presión en  $P_1$  será igual a la presión atmosférica por estar en contacto con el ambiente y de la misma manera  $P_2$  será igual a la presión atmosférica por estar en la misma condición, además el peso específico en ambos lados es igual por ser el mismo fluido.

$$P_1 = P_2 = P_{atm.}$$

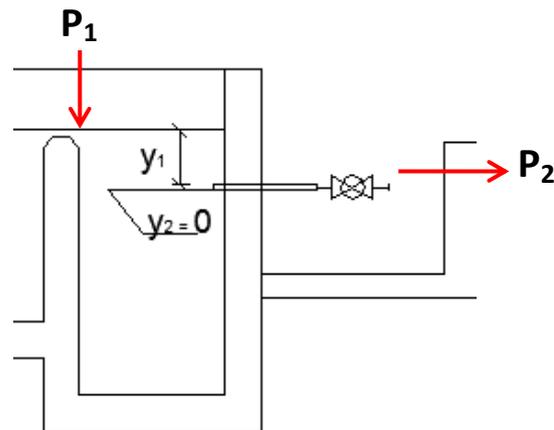
$$P_{atm} + \rho_{H_2O}gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_{atm} + \rho_{H_2O}gh_2 + \frac{1}{2}\rho_{H_2O}v_2^2$$

En la ecuación se eliminan las  $P_{atm}$  de ambos lados.

$$\rho_{H_2O}gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = \rho_{H_2O}gh_2 + \frac{1}{2}\rho_{H_2O}v_2^2$$

Usamos como punto de referencia la base de la salida de agua con menor área en este caso sería  $y_2$ :

Figura N° 22: Idealización de las presiones y alturas existentes en el sedimentador



Y considerando que la velocidad en donde se ejerce la  $P_1$  es mucho menor a la que de salida donde está la  $P_2$  tenemos:

$$V_2 > V_1$$

Por lo que la velocidad en el punto 1 se desprecia:

$$V_1 = 0$$

Entonces la formula quedaría de la siguiente manera:

$$\rho_{H_2O} g h_1 = \frac{1}{2} \rho_{H_2O} v_2^2$$

De donde despejamos el peso específico:

$$g h_1 = \frac{1}{2} v_2^2$$

Así despejamos  $V_2$ :

$$v_2 = \sqrt{2gh}$$

Pero  $h = y_1$

$$v_2 = \sqrt{2gy_1}$$

Reemplazando los datos de la figura en la ecuación tenemos:

$$v_2 = \sqrt{2(9.81)(0.25)}$$

$$v_2 = 2.215 \text{ m/s}$$



De este resultado entendemos que la velocidad a la máxima capacidad del tanque será 2.215 m/s, cuando el tanque este a su capacidad mínima el conducto de salida se comporta como vertedero y la velocidad será igual a la del sedimentador.

### 3.1.3 Cálculo hidráulico del tratamiento preliminar

#### 3.1.3.1 Rejas

Según la norma OS. 090, para tratamiento preliminar:

- a) Abertura o espaciamiento de las barras

Rejas medias: 20 hasta 50 mm (son las más comunes)

- b) Tipo de reja:

Reja sencilla de limpieza manual

- c) Espesor de acero

Acero de sección rectangular de 5 a 15 mm de espesor y 30 a 75 mm de ancho.

Finalmente para el diseño de las rejas usaremos los siguientes parámetros:

*Tabla N° 28: Parámetros de diseño elegidos para las rejas*

PARAMETRO DE DISEÑO	VALOR USADO
Abertura o espaciamiento de las barras	35 mm
Tipo de reja	Reja sencilla
Espesor de acero	3 mm de espesor y 30 mm

#### 3.1.3.2 Sedimentador

Para el caudal:  $Q = 0.001528 \text{ m}^3/\text{s} < > 1.528 \text{ l/s}$

De acuerdo a los parámetros de diseño el sedimentador consta de:



- a. Profundidad 1.5 m. (Cumple entre 1.5 a 2.5 m.)
- b. Ancho de 1.5 m. y largo 7.5 m. (relación 5/1)
- c. Relación largo profundidad:  $7.5/1.52 = 5/1$

- Calculamos el volumen del sedimentador:

$$V_{sed.} = \text{Profundidad} \times \text{Ancho} \times \text{Largo}$$

- Calculamos tiempo de retención:

$$T = \frac{V}{Q}$$

Formula 14

De la tabla N° 29 analizamos los mejores resultados:

Tabla N° 29: Tabulación de relación entre las dimensiones del sedimentador y tiempo

Profundidad (1.5 a 2.5 m)	Ancho	Largo	Volumen (litros)	Tiempo (Horas)
	Relación 5/1			
1.50	1.50	7.50	16875.00	3.07
1.55	1.55	7.75	18619.38	3.38
1.60	1.60	8.00	20480.00	3.72
1.65	1.65	8.25	22460.63	4.08
<b>1.70</b>	<b>1.70</b>	<b>8.50</b>	<b>24565.00</b>	<b>4.47</b>
1.75	1.75	8.75	26796.88	4.87
1.80	1.80	9.00	29160.00	5.30
1.85	1.85	9.25	31658.13	5.76
1.90	1.90	9.50	34295.00	6.23
1.95	1.95	9.75	37074.38	6.74
2.00	2.00	10.00	40000.00	7.27
2.05	2.05	10.25	43075.63	7.83
2.10	2.10	10.50	46305.00	8.42
2.15	2.15	10.75	49691.88	9.03
2.20	2.20	11.00	53240.00	9.68
2.25	2.25	11.25	56953.13	10.35
2.30	2.30	11.50	60835.00	11.06



- Cálculo de la velocidad del flujo en el tanque del sedimentador:

Diámetro de partícula:

$$d_{\text{part.}} = 0.05 \text{ mm; para arena fina y limo.}$$

Según la Autoridad Nacional del Agua, usamos la fórmula de Camp:

$$v = a\sqrt{d} \text{ (cm/s)}$$

Formula 15

De la tabla N° 23 de Camp:

a	d (mm)
51	< 0.1
44	0.1 - 1
36	> 1

Reemplazando los datos:

$$v = 51\sqrt{0.05} \text{ (cm/s)}$$

$$v = 11.4 \text{ (cm/s)}$$

$$v = 0.114 \text{ (m/s)}$$

Según el ANA, la velocidad de un desarenador de baja velocidad es < 1m/s, por lo que nuestro resultado es conforme.

- Cálculo de la velocidad de sedimentación (w):

Según Arkhangelski, según el tamaño de partícula usado anteriormente tenemos que en la tabla el valor de la tabla N° 25 sería el siguiente:

d(m)	W(cm/s)
0.05	0.178
0.10	0.692
0.15	1.560

De la tabla:

$$w = 0.178 \text{ cm/s}$$

$$w = 0.00178 \text{ m/s}$$



Calculamos para una arena muy fina y arcilla para que no se vierta en el filtro lento esto para evitar que los poros que constituyen el lecho filtrante sean ocupados por estos materiales finos y así se reduzca la capacidad de filtrado. Finalmente luego del análisis de los parámetros tenemos la siguiente tabla con los datos del diseño del sedimentador:

*Tabla N° 30: Parámetros elegidos para el diseño del sedimentador*

PARAMETRO DE DISEÑO	VALOR CALCULADO
Profundidad	1.70 m
Ancho	1.70 m
Largo	8.50 m
Volumen	24565.00 l = 24.564 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	4.47 horas
Velocidad de flujo	$v = 0.114$ (m/s)
Velocidad de sedimentación	$w = 0.00178$ m/s

### 3.1.4 Cálculo hidráulico del tratamiento secundario

#### 3.1.4.1 Filtro lento

Con los siguientes datos diseñamos las dimensiones de la caja del filtro lento:

Población: 300 hab.

Dotación: 220 l/hab/día

Tiempo de funcionamiento: 24 horas.

De la tabla N° 26:

Horas	Coficiente
8	0.5
16	0.7
24	0



a) Área de la caja del filtro:

Reemplazamos datos en la fórmula:

$$A = \frac{V}{0.1a + b}$$

Formula 16

$$A = \frac{0.220 \text{ m}^3/\text{hab}/\text{dia} \times 300 \text{ hab}}{0.1 \times 24 + 0}$$

$$A = 27.5 \text{ m}^2$$

Usaremos entonces un área de: **28 m<sup>2</sup>**

b) Altura de la caja del filtro:

Tabla N° 31: Parámetros elegidos para la altura del filtro

ITEM	ALTURA RECOMENDADA	ALTURA USADA
Drenaje	0.30 – 0.40 m	<b>0.30 m</b>
Lecho filtrante	0.70 – 1.40 m	<b>1.00 m</b>
Capa sobrenadante	1.00 – 1.50 m	<b>1.50 m</b>
Borde libre	0.20 – 0.30 m	<b>0.20 m</b>
Total		<b>3.00 m</b>

c) Condiciones de caja:

Tabla N° 32: Parámetros elegidos para forma de caja

CONDICION	ELECCION PARA EL DISEÑO
Material	Concreto armado
Configuración de muros	Verticales
Aislamiento	Hermético
Forma	Rectangular



d) Numero de cajas:

Tabla N° 33: Parámetros elegidos para número de cajas

N° DE CAJAS	N° HABITANTES
2	< 2000
3 a 4	> 2000

e) Drenaje:

Tabla N° 34: Parámetros elegidos para tipo de drenaje

TIPO	ELEGIDA
Tuberías perforadas	x
Ladrillos con aberturas	-

Encima del dren se colocará una capa de grava de 0.3 m. de espesor o también llamada capa de soporte. La granulometría de la grava gruesa: 50 mm

La configuración de los drenajes será de espina de pescado con orientación hacia el punto de salida.

f) Lecho filtrante

Tabla N° 35: Parámetros elegidos para el lecho filtrante

ITEM	VALORES RECOMENDADOS	VALOR USADO
Espesor	0.70 – 1.40 m	1.00 m
Granulometría		
- Tamaño de granos finos	0.15 – 0.35 mm	-
- Coef. de uniformidad (CU)	1.5 - 3	1.5
- Velocidad de filtración	0.1 m/hora/m <sup>2</sup>	0.1 m/hora/m <sup>2</sup>
- Área de filtros	10 – 100 m <sup>2</sup>	56 m <sup>2</sup>



La granulometría decreciente en el sentido ascendente:

- Distribución del lecho filtrante:

Arena fina: 0.20 mm

Arena gruesa: 1.50 mm

Grava fina: 3.00 mm

**g) Capa sobrenadante**

*Tabla N° 36: Parámetros elegidos para capa sobrenadante*

ITEM	VALOR RECOMENDADO	VALOR USADO
Espesor de la capa sobrenadante	1.00 – 1.50 m	1.50 m

**h) Sistema de regulación y control (ingreso y salida)**

*Tabla N° 37: Parámetros elegidos para regulación de entrada y salida*

SISTEMA	DESCRIPCION DE DISEÑO
<b>Ingreso del agua</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Vertedero ancho</li><li>- Debe constar de un mandil de concreto con 45° de inclinación para evitar que el filtro se ahueque.</li><li>- El llenado del lecho filtrante se realiza de abajo hacia arriba, por lo que debe constar con una válvula en la parte baja.</li><li>- Según el RNE el diámetro mínimo de tubería para el ingreso del agua será 10 mm ó 4”.</li></ul>
<b>Salida del agua</b>	<p>El agua del drenaje ingresa a un caja de la misma altura que la caja del filtro, con un vertedor de salida de las aguas tratadas, cuyo nivel podrá salir:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Máxima: altura capa sobrenadante (1.0 o 1.5 m).</li><li>- Mínima: 0.10 a 0.20 encima del nivel del filtro.</li><li>- Media: 0.5 m. encima del filtro, esta es la medida que usaremos para el diseño. Esta agua se conduce con tubería al reservorio de regulación.</li></ul>
<b>Vertedero</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Se usa una plancha de acero de ¼”</li><li>- El ángulo del vertedero triangular es de 45°</li><li>- Se pueden usar los valores de la tabla N° 38.</li></ul>



Tabla N° 38: Valores para la medición de caudales

H (cm)	Q (L/s)						
1	0.01	6	1.23	11	5.62	16	14.34
1.5	0.04	6.5	1.51	11.5	6.28	16.5	15.48
2	0.08	7	1.81	12	6.98	17	16.68
2.5	0.14	7.5	2.16	12.5	7.73	17.5	17.94
3	0.22	8	2.53	13	8.53	18	19.24
3.5	0.32	8.5	2.95	13.5	9.37	18.5	20.61
4	0.45	9	3.40	14	10.27	19	22.03
4.5	0.60	9.5	3.89	14.5	11.21	19.5	23.51
5	0.78	10	4.43	15	12.20	20	25.04

### 3.2 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO POR FILTRO LENTO:

En la siguiente tabla se muestra los valores calculados necesarios para el diseño de una planta de tratamiento por filtro lento:

Tabla N° 39: Parámetros de diseño para la implementación de la planta de tratamiento

PARAMETRO DE DISEÑO	VALOR CALCULADO
<b>Población futura</b>	300 hab.
<b>Caudal</b>	
Caudal promedio	0.764 l/s
Caudal máximo diario	0.993 l/s
Caudal máximo horario	1.91 l/s
Caudal de diseño (80%)	1.528 l/s
<b>Sedimentador</b>	
Caudal	1.528 l/s
Velocidad del vaciado	2.215 m/s
Profundidad	1.70 m



<b>PARAMETRO DE DISEÑO</b>	<b>VALOR CALCULADO</b>
Ancho	1.70 m
Largo	8.50 m
Volumen	24.565 m <sup>3</sup>
Tiempo de retención	4.47 horas
Velocidad de flujo	0.114 m/s
Velocidad de sedimentación	0.00178 m/s
<b>Filtro lento</b>	
Área de la caja	28 m <sup>2</sup>
Drenaje	0.30 m
Lecho filtrante	1.00 m
Capa sobrenadante	1.50 m
Borde libre	0.20 m
Numero de cajas	2
Drenaje	Tuberías perforadas
<b>Lecho filtrante</b>	
Espesor	1.00 m
Coef. de uniformidad (CU)	1.5
Velocidad de filtración	0.1 m/hora/m <sup>2</sup>
Área de filtros	56 m <sup>2</sup>
<b>Capa sobrenadante</b>	
Espesor de capa sobrenadante	1.50 m



## CAPITULO IV: ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

### 4.1 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

- Con el procesamiento de datos de los estudios topográficos, se obtuvo las cotas del terreno y las cotas de cada una de las estructuras de la Planta de tratamiento por filtro lento; dando como resultado final que la cota de salida del sistema está a 2.30 m. por debajo de la cota del cuerpo receptor; lo que es desfavorable para implantación de la planta ya que afecta la disposición final del agua tratada.

La profundidad del filtro lento de 3.40 m. representa un punto negativo en el diseño ya que existe un nivel freático elevado.

- Con los estudios realizados en el laboratorio de química inorgánica de la UNS y COLECBI SAC, del agua que ingresa y sale de los sistemas de tratamiento existentes se determinó las propiedades físico-químicas y bacteriológicas de las aguas servidas de la localidad de Tambo Real Antiguo.

En cuanto a las propiedades físicas – químicas del agua que ingresa se obtuvo que el pH es de 6.06 y el número de Cloruros ppm –Cl es de 42.54 y el agua que sale obtuvo que el pH es de 5.14 y el número de Cloruros ppm – Cl es de 148.89.

En cuanto a las propiedades bacteriológicas del agua que ingresa al sistema se obtuvo que las Coliformes Fecales (NMP/100mL) son de  $13 \times 10^5$  y que las Coliformes Fecales (NMP/100mL) de salida son  $33 \times 10^4$ .



- Con la matriz de selección, se logró elegir el método de tratamiento de agua servida más idóneo, el cual fue la Filtración Lenta. Este método de elección puede ser usado en futuras investigación pues demostró ser bastante eficiente y versátil al momento de la necesidad de elegir entre múltiples opciones.
- De la investigación, la Filtración lenta demuestra ser un tratamiento de agua óptimo para las características de la zona de estudio, tanto en su diseño y forma como en la calidad de agua que entrega, ya que elimina del 90 – 99 % de las bacterias y por abarcar un área pequeña de trabajo efectivo de 175 m<sup>2</sup> no requiere de la adjudicación de terrenos extensos; definitivamente puede ser aplicado a otras poblaciones donde se presenten las mismas características iniciales.
- Con la recolección de datos obtenidos, de acuerdo al método empírico, mediante encuesta, entrevista, observación y medición, los cuales posteriormente fueron procesados con la ayuda de programas como Microsoft Excel y AutoCad se logró determinar los parámetros necesarios para su diseño hidráulico así como también la población con que cuenta la zona de estudio de la Localidad La Huaca III Etapa, Distrito de Santa, Provincia del Santa, Departamento de Ancash.

En cuanto a los parámetros se obtuvieron los datos de diseños son los siguientes:



PARAMETRO DE DISEÑO	VALOR CALCULADO
<b>Sedimentador</b>	
Profundidad	1.70 m
Ancho	1.70 m
Largo	8.50 m
<b>Filtro lento</b>	
Área de la caja	28 m <sup>2</sup>
Drenaje	0.30 m
Lecho filtrante	1.00 m
Capa sobrenadante	1.50 m
Borde libre	0.20 m
Numero de cajas	2
<b>Lecho filtrante</b>	
Espesor	1.00 m
Velocidad de filtración	0.1 m/hora/m <sup>2</sup>
Área de filtros	56 m <sup>2</sup>
<b>Capa sobrenadante</b>	
Espesor de capa sobrenadante	1.50 m

Los resultados obtenidos demuestran estar dentro de los límites que establece el RNE y el manual del ANA y han sido revisados de acuerdo a la bibliografía utilizada por lo que pueden ser usados sin restricciones.

## CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES:

- De los estudios topográficos se concluye que el terreno es llano y no presenta una pendiente pronunciada, lo que no es favorable para un sistema por gravedad como el elegido además de la presencia del nivel freático



elevado, por lo cual se considera elevar la estructura del filtro lento hasta el nivel de la cota 29.256 m.n.m., posterior al canal sedimentador se dispondrá de un tanque para captación del agua y desde ese punto por medio de una bomba centrífuga de ½ HP, se impulsara hasta la cota 32.035 m.s.n.m. donde se ubica la entrada del filtro.

- Los valores obtenidos de los estudios fisicoquímicos que se realizaron al agua cruda que ingresaría al sistema de tratamiento está acorde con los parámetros establecidos para aguas servidas sin tratamiento, ya que no presentan metales pesados ni elementos con un rango fuera de lo común. Los valores obtenidos en el conteo de Coliformes Fecales, nivel de pH y cantidad de cloruros del agua que sale de la planta de tratamiento de la zona de Tambo Real antiguo –la cual se encuentra en mejores condicione-; están muy por encima de los valores máximos requeridos para riego y bebida animal, según los Estándares de Calidad del Agua (ECA), por lo que se puede concluir que las demás plantas de la zona Santa entregan agua con los mismos niveles elevados de contaminación.
- Luego del procesamiento de datos y cálculos realizados con estos, se concluyó obtuvo finalmente un sistema de tratamiento de aguas servidas por filtro lento, demostró ser el más idóneo y apto para aplicarse en poblaciones con las características estudiadas., esto porque el sistema nos permitirá un filtro controlado de agua, realizando la medición del caudal de ingreso y de salida, mediante los vertederos de control con los que cuenta, además en caso de sobrellenado existen un sistema de purga que mantendrá intacto el



proceso de tratamiento, dicho sistema se activa y desactiva por medio de válvulas y compuertas dispuestas estratégicamente para que cumplan de manera óptima su función.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Por la topografía llana del terreno, se recomienda cuidar las alturas y fondo de excavación en una futura construcción; para cuidar la pendiente de diseño, puesto que una variación podría perjudicar el funcionamiento óptimo de las estructuras hidráulicas que componen el sistema de tratamiento.
- En consideración que la zona no cuenta con sistema de alcantarillado, se recomienda urgentemente el tendido de una red para el traslado de las aguas servidas, ya que de seguir usando el mismo sistema casero de eliminación, afectaría de manera significativa la eficiencia del sistema de tratamiento; es decir, la red actual llevaría restos inorgánicos como bolsas, papel y demás desechos que no están contempladas en el proceso de eliminación del sistema.
- Luego de la inspección y muestreo del agua que es tratada en los sistemas existentes en la localidad de Santa, se recomienda realizar un estudio minucioso y carácter de urgencia para la desactivación o recuperación de dichos sistemas, ya que estos representan gastos inútiles de mantenimiento y se están convirtiendo en elementos que pueden resultar perjudiciales al no estar operativos y seguir recibiendo las aguas negras, porque el agua



estancada se evapora y filtra al suelo lo que da como resultado la contaminación de los terrenos agrícolas colindantes y la aspiración de bacterias y demás microorganismos dispuestos en el aire.

- Una vez procesado los datos, el diseño muestra ser el más óptimo; se recomienda no realizar variaciones, ya que cualquier variación en las dimensiones de diseño y parámetros hidráulicos afectaran directamente al proceso de filtración esto a su vez variará las características del agua de salida, quedando completamente inoperativo; de ser necesaria una modificación esta estará acompañada de los respectivos estudios para su replanteo y calculo necesario.
- En cuanto al mantenimiento del sistema, necesitara limpieza cada 3 meses. Este mantenimiento consistirá en primer lugar para el sistema primario limpieza de las rejillas y limpieza del sedimentador, el sedimentador auxiliar fue considerado precisamente para esta función y debe ponerse operativo hasta que se culmine con la labor, luego volverá a ser cerrado y será puesto operativo el canal principal.

En segunda instancia, el sistema secundario, el filtro lento propiamente dicho; una de las dos cajas será cerrada por medio de las válvulas procediendo a la apertura de la válvula de purga para el vaciado del mismo. Luego se reemplazaran las capas filtrantes si es necesario, de no ocurrir esto solo se limpiara la nata de lodo sedimentado encima de la primera capa, una vez hecho esto se volverá a llenar hasta que llegue a su nivel de capa sobrenadante. De la misma forma se hará con la caja que quedo operativa;



terminado el proceso de mantenimiento se apertura la válvula para que ambos vuelvan a trabajar de manera conjunta.

Luego se procederá a una inspección visual para eliminar la posibilidad de cualquier problema subyacente ajeno a los problemas comunes del sistema, que pueden ser ocasionados por agentes externos.

Finalmente se hará la medición respectiva de los caudales de entrada y de salida, una vez realizadas estas labores se dará por terminado el mantenimiento.



## **REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS**

- APIS-INEI (2010). Evaluación del decenio del abastecimiento de agua potable y del saneamiento en el Perú.
- Autoridad Nacional del Agua, ANA (2010). Manual: criterios de diseños de obras hidráulicas para la formulación de proyectos hidráulicos multisectoriales y de afianzamiento hídrico.
- Autoridad Nacional del Agua, ANA (2010). Reglamento de la ley de recursos hídricos N° 29338
- Babbitt y Bauman (1980). Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- INEI, (1993 – 2007). Censos Nacionales de Población y Vivienda.
- Ing. Eduardo García Trisolini (2009). Manual de proyectos de agua potable en poblaciones rurales.
- Ing. Lidia Nicole Vargas de Cánepa (1995). Plantas de tratamiento de filtros lentos.
- L. Mott, Robert (2006). Mecánica de fluidos, 6ta Edición.
- Metcalf & Eddy (2004). Ingeniería Sanitaria Volumen I y II.
- Ministerio de Vivienda, (2010). Reglamento de Diseño de Plantas de Tratamiento.
- Nemerov (1971). Características de aguas residuales.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, OEFA (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales
- Organización Mundial de la Salud – OMS, (1973). Re-uso de efluentes: Métodos de tratamiento y cuidado de la salud.
- Organización Mundial de la Salud – OMS, (2011). Guías de Salud para el Uso de Aguas Residuales en la Agricultura y Acuicultura.
- Painter (1979). Ingeniería Sanitaria



- Plan nacional de calidad turística del Perú (CALTUR), MINCETUR (2008).  
Manual técnico de difusión sistema de tratamiento de aguas residuales para albergues en zonas rurales
- Reglamento Nacional de Edificaciones, (2013). Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales.
- SUNASS (2009). Informe de Indicadores de Gestión "EPS y su Desarrollo"
- Tchobanogluos George, (1995). Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización.
- W. Fresenius, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, CEPIS (1991). Manual de disposición de aguas residuales: Origen, descarga, tratamiento y análisis de las aguas residuales.
- Yáñez F. (1980). Evaluación de las lagunas de San Juan, Reporte final de la 1ra. Fase