



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**“TESIS”**

---

**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LOS  
SISTEMAS DEL C.P. DE HUACOTO Y DE LA MARGEN  
DERECHA DEL DISTRITO DE SAYLLA”**

---

**Presentado por:**

**Bach. Amador Chalco, Hugo Camilo**

**Para optar por el título profesional de**

**Ingeniero Civil**

**Asesor:**

**Ing. Milton Robert Merino Yépez**

**CUSCO - PERÚ**

**2019**



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“TESIS”

“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES EN LOS SIETEMAS DEL C.P. DE HUACOTO Y DE LA MARGEN  
DERECHA DEL DISTRITO DE SAYLLA”

**Presentado por:**

**Bach. Amador Chalco, Hugo Camilo**

**Para optar por el título profesional de:**

**Ingeniero Civil**

**Docente asesor:**

**Ing. Milton Robert Merino Yépez**

**Cusco – Perú**

**2019**



**DEDICATORIA**

*Para Dios que me brindó la oportunidad de ser padre, hijo, hermano y alumno; a mis padres que siempre me han apoyado pese a las dificultades que se presentaron, a mis hermanas que han estado ahí para ayudarme incondicionalmente, a mi pareja e hija, que me brindan su apoyo y son la fuerza que me motiva a seguir creciendo profesionalmente; y a todos los profesionales que me han demostrado que uno siempre debe ser quien es, por más logros que obtengas.*

**Hugo Camilo Amador Chalco**



**AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a mi asesor, por la paciencia y comprensión que me ha brindado este tiempo, a los docentes de la escuela profesional por inculcarme los valores que un profesional debe mostrar, a la universidad que me ha dado las herramientas con las cuales ahora puedo contribuir con el crecimiento de la sociedad, y a mi amigo Christian por haberme ayudado con la extracción de muestras.*

**Hugo Camilo Amador Chalco**



## RESUMEN

La investigación denominada “Determinación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales en los sistemas del C.P. Huacoto y de la margen derecha del distrito de Saylla”; cuantificará y determinará la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de cada poblado mencionado; según la determinación de la remoción de contaminantes conocidos dentro de la Normatividad Peruana como los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de vertimiento en un cuerpo receptor; además, se cuantificará la eficiencia para cada parámetro. Para el cálculo mencionado se tendrá en cuenta las cargas de ingreso y salida de cada sistema de tratamiento; el valor cuantitativo estará condicionada por los caudales de ingreso de cada sistema, los tipos de estructuras y diseños hidráulicos; de acuerdo con el tipo de actividades de cada poblado. En ambos sistemas se verificó que su vertimiento en el cuerpo receptor será en la micro cuenca del río de Huacoto y de la sub cuenca del río Huatanay.

También se verificará los factores meteorológicos como la temperatura del ambiente y del fluido; con la cual se determina los periodos de retención de las estructuras, pero más importante el periodo de digestión de lodos.

La importancia de esta investigación se fundamenta en la recuperación de los recursos hídricos en un tramo de la subcuenca del río Huatanay desde el sector de Saylla y de la microcuenca de Huacoto.

De la presente investigación se obtendrán valores cuantitativos, para verificar la eficiencia de cada sistema; así como también recomendaciones para mejorar, o replantear nuevos métodos de tratamiento de ser necesario.



## ABSTRACT

The research called “Determination of the efficiency of wastewater treatment in the systems of the C.P. Huacoto and the right bank of the district of Saylla ”; quantify and determine the efficiency of the wastewater treatment systems of each mentioned village; according to the determination of the removal of pollutants known within Peruvian regulations as the physical, chemical and bacteriological parameters of dumping in a receiving body; In addition, the efficiency for each parameter will be quantified. For the calculation mentioned, the entry and exit charges of each treatment system will be taken into account; The quantitative value will be conditioned by the flow rates of each system, the types of structures and hydraulic designs; according to the type of activities of each town. In both systems it was verified that its discharge in the receiving body will be in the micro basin of the Huacoto River and the sub basin of the Huatanay River.

Meteorological factors such as ambient and fluid temperature will also be verified; with which the retention periods of the structures are determined, but more important the sludge digestion period.

The importance of this research is based on the recovery of water resources in a section of the sub-basin of the Huatanay river from the sector of Saylla and the microbasin of Huacoto.

From the present investigation quantitative values will be obtained, to verify the efficiency of each system; as well as recommendations to improve, or rethink new treatment methods if necessary.



## INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 20 años numerosas investigaciones a nivel mundial han demostrado que la contaminación de los recursos hídricos es uno de los principales problemas a enfrentar en los próximos años, debido a que el planeta enfrenta un acelerado calentamiento global por la excesiva emisión de CO<sub>2</sub> de fábricas, parque automotor mundial, uso de combustibles fósiles para la generación de energía, deforestación, etc.; lo cual produce que el agua dulce en su estado sólido y líquido termine evaporándose rápidamente, así perdiendo el caudal recurrente de los ríos, los mismos que abastecen de agua dulce a los seres humanos, animales, plantas; en determinados ecosistemas, en muchos casos el ser humano la utiliza para diferentes actividades produciendo como subproducto las aguas residuales, que también es uno de los mayores contaminantes de nuestro planeta, aniquilando la vida acuática como la terrestre en abrevadero o aguas abajo donde se hace uso del agua dulce.

A tal problema la organización mundial de la salud ha realizado campañas a nivel mundial para la investigación de nuevos sistemas de tratamiento de aguas residuales eficientes y económicas, con el fin de no contaminar los recursos hídricos, ya que los mismos pueden servir como fuente hídrica para el abastecimiento de agua potable a poblaciones aledañas y los ecosistemas alrededor no sean perjudicados.

Actualmente en la ciudad del Cusco se viene realizando un proyecto de recuperación de la subcuenca del río Huatanay a nivel de la ciudad, el cual trata de instalar tuberías colectoras para los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Este esfuerzo colectivo no tendría frutos si a las afueras de la ciudad, en los pequeños poblados; se continúa contaminando. Debido a esto la tesis aportará criterios para una evaluación técnica de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en funcionamiento de dos de estos pequeños poblados; además, se encargará de verificar la eficiencia de estos sistemas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo a las diferentes características cuantitativas; que tiene el agua residual para estas dos localidades.

Actualmente el sistema de tratamiento de aguas residuales de la margen derecha de Saylla viene siendo operado por la Municipalidad Distrital de Saylla; mientras que para el sistema de tratamiento de Huacoto viene siendo operado por la JASS del centro poblado de Huacoto.



**INDICE**

Capítulo I: Planteamiento del problema: ..... 1

1.1. Identificación del problema: ..... 1

1.1.1. Descripción del problema: ..... 1

1.1.2. Formulación interrogativa del problema: ..... 4

1.2. Justificación: ..... 4

1.2.1. Justificación del problema: ..... 4

1.2.2. Justificación social: ..... 5

1.2.3. Justificación por viabilidad: ..... 5

1.2.4. Justificación por relevancia: ..... 5

1.3. Limitaciones de la investigación: ..... 5

1.3.1. Tipos de limitaciones: ..... 5

1.4. Objetivos de la investigación: ..... 6

1.4.1. Objetivo general: ..... 6

1.4.2. Objetivos específicos: ..... 6

1.5. Hipótesis: ..... 7

1.5.1. Hipótesis general: ..... 7

1.5.2. Sub hipótesis: ..... 7

1.6. Definición de variables: ..... 7

1.6.1. Variables independientes: ..... 7

1.6.2. Variables dependientes: ..... 8

1.7. Cuadro de operacionalización de variables: ..... 8

2. Capítulo II: Marco teórico de la tesis: ..... 9

2.1. Antecedentes de la tesis: ..... 9

2.1.1. Antecedentes a nivel nacional: ..... 9

2.1.2. Antecedentes a nivel internacional: ..... 9

2.2. Aspectos teóricos pertinentes: ..... 10





2.2.1.	Aguas residuales:.....	10
2.2.2.	Principales parámetros de caracterización de aguas residuales: .....	10
2.2.3.	Sistemas de tratamiento de aguas residuales más usados: .....	24
2.2.4.	Evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales:.....	34
3.	Capítulo III: Metodología de la investigación.....	41
3.1.	Metodología de la investigación:.....	41
3.1.1.	Tipo de investigación: .....	41
3.1.2.	Nivel de investigación:.....	41
3.1.3.	Método de investigación: .....	41
3.2.	Diseño de la investigación:.....	41
3.2.1.	Diseño metodológico: .....	41
3.2.2.	Diseño de ingeniería:.....	41
3.3.	Población y muestra: .....	43
3.3.1.	Población:.....	43
3.3.2.	Muestra:.....	43
3.3.3.	Criterios de inclusión: .....	43
3.4.	Instrumentos empleados en la investigación: .....	44
3.4.1.	Instrumentos metodológicos: .....	44
3.4.2.	Instrumentos de Ingeniería: .....	48
3.5.	Procedimiento de recolección de datos: .....	55
3.5.1.	Determinación de calidad de agua residual pre y post tratamiento:.....	55
3.5.2.	Medición de caudal: .....	58
3.5.3.	Recolección de dimensiones de estructuras: .....	60
3.5.4.	Recolección de datos metereológicos: .....	63
3.6.	Procedimiento de análisis de datos:.....	64
3.6.1.	Análisis de la calidad del agua residual pre y post tratamiento: .....	64
3.6.2.	Análisis de variaciones de caudal: .....	69



3.6.3. Análisis de dimensionamiento de estructuras: ..... 84

3.6.4. Análisis de datos metereológicos: ..... 108

4. Capítulo IV: Resultados: ..... 114

4.1. Eficiencia física, química y bacteriológica de los sistemas de Tratamiento: ..... 114

4.1.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla: ..... 114

4.1.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto: ..... 115

4.2. Eficiencia de la capacidad de tratamiento de caudales: ..... 116

4.2.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla: ..... 116

4.2.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto: ..... 117

4.3. Eficiencia hidráulica según dimensionamiento de estructuras de tratamiento: ..... 118

4.3.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla: ..... 118

4.3.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto: ..... 118

4.4. Eficiencia para la retención de lodos en los sistemas de tratamiento: ..... 118

4.4.1. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla: ..... 118

4.4.2. Sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto: ..... 119

5. Capítulo V: Discusión: ..... 121

Glosario de términos ..... 125

6. Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones ..... 131

6.1. Conclusiones: ..... 131

6.2. Recomendaciones: ..... 134

Bibliografía..... 137

Anexos: ..... 139

**ÍNDICE GENERAL DE TABLAS**

Tabla 1: Ubicación, estructuras existentes y entidades que intervinieron.....	1
Tabla 2: Tabla de operalización de variables. ....	8
Tabla 3: Parámetros que caracterización la calidad del agua.....	11
Tabla 4: Escala de ph .....	15
Tabla 5: Límites de DBO en fuentes líquidas .....	19
Tabla 6: Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR. ....	35
Tabla 7: Parámetros y frecuencia del monitoreo de muestras de afluentes y efluentes. ....	35
Tabla 8: VMA para descargas no domésticas al alcantarillado. ....	36
Tabla 9: Cadena de custodia de muestras para análisis en laboratorio. ....	44
Tabla 10: Resultados de los parámetros físico, químico, bacteriológico de cada sistema. ....	44
Tabla 11: Tabla para medición de caudales en el sistema de tratamiento del distrito Saylla. .	45
Tabla 12: Tabla para medición de caudales en el sistema de tratamiento de Huacoto .....	46
Tabla 13: Tabla de dimensiones de estructuras en los sistemas de tratamiento.....	47
Tabla 14: Tabla de datos metereológicos en los sistemas de tratamiento.....	47
Tabla 15: Cadena de custodia de muestras del sistema de tratamiento de Huacoto .....	64
Tabla 16: Datos de los parámetros físico, químico, bacteriológico del sistema de Huacoto ...	65
Tabla 17: Porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento Huacoto. ....	66
Tabla 18: Cadena de custodia de muestras del sistema de tratamiento de Saylla.....	67
Tabla 19: Datos de los parámetros físico, químico, bacteriológico del sistema de Saylla.....	68
Tabla 20: Porcentaje de eficiencia del sistema de tratamiento Saylla.....	69
Tabla 21: Datos de la variación horaria de caudal en el sistema de tratamiento de Huacoto ..	70
Tabla 22: Resultados de cálculo de población futura.....	74
Tabla 23: Fórmulas para caudal mínimo y caudal pico .....	77
Tabla 24: Resultados de cálculo teórico de caudal .....	77
Tabla 25: Datos de la variación horaria de caudal en el sistema de tratamiento de Saylla.....	78
Tabla 26: Resultados de cálculo de población futura para Saylla.....	81
Tabla 27: Resultados de cálculo teórico de caudal .....	84
Tabla 28: Dimensiones de estructuras del sistema de tratamiento de Huacoto. ....	85
Tabla 29: Dimensiones de estructuras del sistema de tratamiento de Saylla. ....	88
Tabla 30: Resultados de cálculo de población futura para 2038 en Saylla. ....	93
Tabla 31: Resultados de cálculo teórico de caudal .....	95
Tabla 32: Datos de medición de temperatura en el sistema de tratamiento de Huacoto.....	108



Tabla 33: Datos de medición de temperatura en el sistema de tratamiento de Saylla. .... 111

Tabla 34: Eficiencia de remoción real y teórica para el sistema de tratamiento de Saylla. ... 114

Tabla 35: Eficiencia de remoción real y teórica para el sistema de tratamiento de Huacoto. 115

Tabla 36: Caudal real y teórico calculado para el sistema de tratamiento de Saylla. .... 116

Tabla 37: Caudal real y teórico calculado para el sistema de tratamiento de Huacoto. .... 117

Tabla 38: Dimensión real de estructuras y calculada ..... 118

Tabla 39: Temperaturas obtenida y las establecidas por la NTP OS.090 para el Sistema de  
Tratamiento de Saylla. .... 119

Tabla 40: Temperaturas obtenida y las establecidas por la NTP OS.090 para el Sistema de  
Tratamiento de Huacoto. .... 119

**ÍNDICE GENERAL DE FIGURAS**

Figura 1: Mapa geográfico del C.P. Huacoto.....	2
Figura 2: Mapa geográfico del C.P. Saylla. ....	2
Figura 3: Planta de tratamiento de aguas residuales del C.P. de Huacoto. ....	3
Figura 4: Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Saylla. ....	3
Figura 5: Proceso de tratamiento del agua residual mediante proceso de lodos activados.....	30
Figura 6: Reactores tipo carrusel, con zonas oxicas y anoxicas para la eliminación biológica de nitrógeno. ....	33
Figura 7: Laberinto de cloración. ....	34
Figura 8: Diseño de ingeniería. ....	42
Figura 9: Mameluco de cuerpo entero.....	48
Figura 10: Guantes de jebe.....	48
Figura 11: Botas de jebe.....	49
Figura 12: Guantes quirúrgicos. ....	49
Figura 13: Mascarilla. ....	50
Figura 14: Instrumentos de seguridad. ....	50
Figura 15: Nevera portátil. ....	51
Figura 16: Frascos de plástico y vidrio de diferentes volúmenes. ....	51
Figura 17: Conservante, ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ). ....	52
Figura 18: Conservante, paquetes de hielo.....	52
Figura 19: Balde de un galón. ....	53
Figura 20: Cronómetro. ....	53
Figura 21: Cinta métrica (wincha). ....	54
Figura 22: Nivel de ingeniero, trípode y mira metálica. ....	54
Figura 23: Medidor de temperatura ambiente y de fluido.....	55
Figura 24: Toma de muestras de la planta de tratamiento de Huacoto .....	56
Figura 25: Colocado de conservante en muestras en planta de tratamiento de Huacoto .....	57
Figura 26: Verificación de frascos en la planta de tratamiento de Saylla .....	57
Figura 27: Toma de muestra de la planta de tratamiento de Saylla .....	58
Figura 28: Medición del caudal en la planta de tratamiento de Huacoto.....	59
Figura 29: Medición del caudal en la planta de tratamiento de Saylla .....	60
Figura 30: Niveles de estructuras en la planta de tratamiento de Huacoto .....	61
Figura 31: Medición de longitudes en la planta de tratamiento de Huacoto.....	61



Figura 32: Niveles de estructuras en la planta de tratamiento de Saylla..... 62

Figura 33: Medición de ancho de estructura en la planta de tratamiento de Saylla..... 62

Figura 34: Medición de temperaturas en la planta de tratamiento de Huacoto..... 63

Figura 35: Medición de temperaturas en la planta de tratamiento de Saylla ..... 63

Figura 36: Curva de variación horaria de caudal en el sistema de tratamiento de Huacoto .... 72

Figura 37: Curva de variación horaria de caudal en el sistema de tratamiento de Saylla..... 80

Figura 38: Croquis de funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto ..... 86

Figura 39: Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales de Huacoto ..... 86

Figura 40: Croquis de funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla ..... 89

Figura 41: Diagrama del sistema de tratamiento primario de Saylla ..... 89

Figura 42: Diagrama del filtro anaerobio de flujo ascendente del sistema de Saylla ..... 90

Figura 43: Diagrama del filtro biológico para el sistema de Saylla ..... 91

Figura 44: Diagrama de cámara de contacto de cloro para el sistema de Saylla ..... 92

Figura 45: Variación de temperatura ambiente y flujo de agua residual del sistema de tratamiento de Saylla ..... 110

Figura 46: Variación de temperatura ambiente y flujo de agua residual del sistema de tratamiento de Saylla ..... 113

Figura 47: Comparación de caudal real con el caudal teórico calculado. .... 116

Figura 48: Comparación de caudal real con el caudal teórico calculado. .... 117

**ÍNDICE GENERAL DE ECUACIONES**

Ecuación 1: Grado de eficiencia.....	38
Ecuación 2: Población futura por método aritmético.....	73
Ecuación 3: Población futura por método geométrico.....	73
Ecuación 4: Población futura por método de la OMS.....	74
Ecuación 5: Población futura por método de interés simple.....	74
Ecuación 6: Caudal Promedio.....	75
Ecuación 7: Caudal de agua residual por aporte doméstico.....	75
Ecuación 8: Caudal de medio de aguas residuales.....	76
Ecuación 9: Caudal de aporte institucional.....	76
Ecuación 10: Pérdida de carga por Kirschmer.....	96
Ecuación 11: Cálculo de área mediante caudal.....	96
Ecuación 12: Cálculo de longitud de reja.....	97
Ecuación 13: Cálculo de radio hidráulico.....	97
Ecuación 14: Fórmula de Manning.....	98
Ecuación 15: Ley de Stokes.....	99
Ecuación 16: Tiempo de precipitación.....	99
Ecuación 17: Periodo de retención.....	100
Ecuación 18: Volumen de desarenador.....	100
Ecuación 19: Carga hidráulica superficial.....	101
Ecuación 20: Volumen de lecho filtrante.....	102
Ecuación 21: Altura de lecho filtrante.....	103
Ecuación 22: Volumen total del filtro.....	103
Ecuación 23: Tiempo de residencia hidráulica.....	104
Ecuación 24: Eficiencia de un filtro anaerobio.....	104
Ecuación 25: Carga orgánica del afluente.....	105
Ecuación 26: Factor de recirculación.....	105
Ecuación 27: Volumen de filtro percolador.....	106

## Capítulo I: Planteamiento del problema:

### 1.1. Identificación del problema:

#### 1.1.1. Descripción del problema:

Los sistemas de tratamiento enmarcadas dentro de la investigación vienen purificando las aguas residuales producidas en cada poblado, sin embargo, no cuentan con registros de los parámetros físicos, químicos y biológicos del efluente tratado como exige la normatividad peruana para un control eficiente de los sistemas de tratamiento. Entonces allí nace el problema con la interrogante: ¿La JASS de Huacoto y la Municipalidad Distrital de Saylla estarán tratando de manera eficiente las aguas residuales de estos dos poblados? En la verificación insitu previo al inicio de esta investigación se observaron las siguientes estructuras de acuerdo al flujo de agua residual y su ubicación en coordenadas UTM:

Tabla 1: Ubicación, estructuras existentes y entidades que intervinieron.

Sistema de Tratamiento	Huacoto			Saylla		
	Sur	Este	Altura (m.s.n.m)	Sur	Este	Altura (m.s.n.m)
Coordenadas	8504279 m	191166 m	4000.40	8497575 m	195180 m	3131
Tratamiento Primario	Cámara de regulación de caudal			<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Cámara de rejillas</li> <li>✓ Desarenador</li> <li>✓ Filtro anaerobio de flujo ascendente</li> </ul>		
Tratamiento Secundario	Escalera de oxigenación			<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Filtro Biológico</li> <li>✓ Cámara de contacto de cloro</li> <li>✓ Lecho de secado de lodos</li> </ul>		
Construido por:	Municipalidad Distrital de San Jerónimo			Municipalidad Distrital de Saylla		
Año de construcción	2008			2017-2018		
Operación y mantenimiento	JASS de Huacoto			Municipalidad Distrital de Saylla		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En ambos casos, los sistemas de tratamiento no cuentan con una caseta para la operación y mantenimiento; donde se tenga un control de los parámetros físicos, químicos o biológicos, motivo por el cual, no se conoce la eficiencia en los procesos de tratamiento de aguas residuales en los poblados mencionados.

Estas incertidumbres no garantizan que la calidad de los efluentes emitidos a sus respectivas subcuenca y microcuenca, así como tampoco que los sistemas sean los adecuados.

Dentro de los anexos de la tesis se encuentran los planos de ubicación y de cada estructura que fue medida durante el desarrollo del capítulo III.



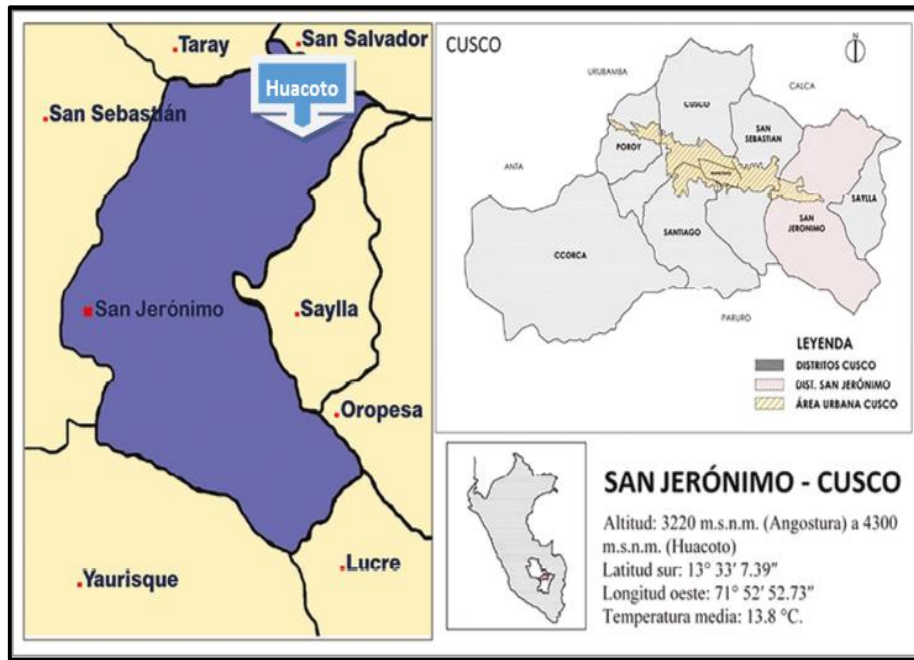


Figura 1: Mapa geográfico del C.P. Huacoto.

FUENTE: [HTTP://REVISTAS.UNI.EDU.PE/INDEX.PHP/DEVENIR/ARTICLE/DOWNLOAD/745/1203?INLINE=1](http://REVISTAS.UNI.EDU.PE/INDEX.PHP/DEVENIR/ARTICLE/DOWNLOAD/745/1203?INLINE=1)

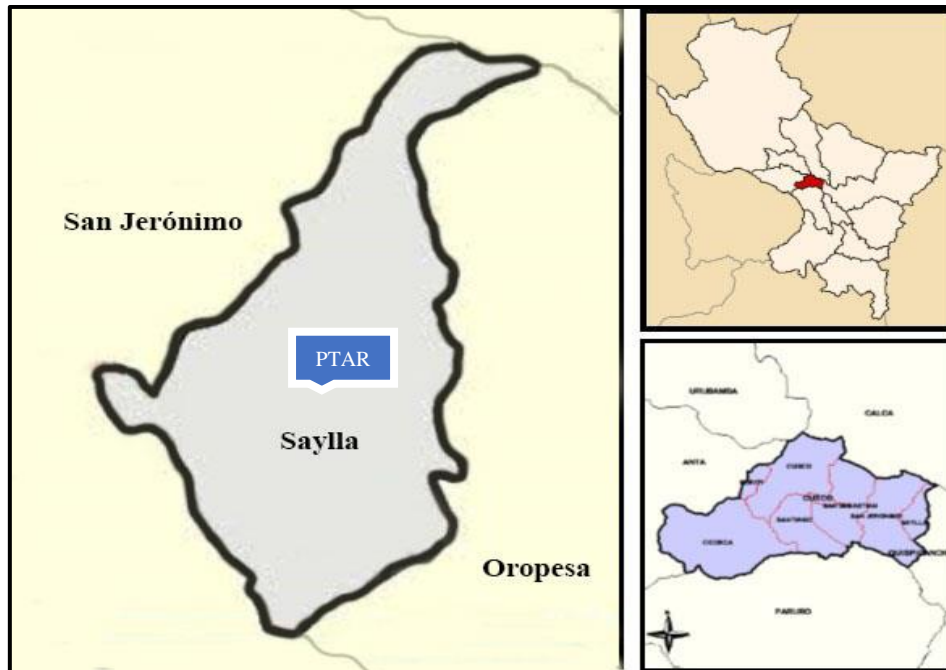


Figura 2: Mapa geográfico del C.P. Saylla.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 3: Planta de tratamiento de aguas residuales del C.P. de Huacoto.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 4: Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Saylla.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



### 1.1.2. Formulación interrogativa del problema:

#### 1.1.2.1. Formulación interrogativa del problema general:

¿Los sistemas de tratamiento de aguas residuales del C.P. de Huacoto y de la margen derecha del distrito de Saylla, estarán alcanzando la eficiencia requerida según la normatividad peruana en el tratamiento de las aguas residuales producidas por la población rural y urbana de estos poblados?

#### 1.1.2.2. Formulación interrogativa de problemas específicos:

- ✓ **Problema específico N°1:** ¿La calidad del efluente de acuerdo con los parámetros físicos, químicos y biológicos; afectará en la eficiencia de tratamiento en cada sistema, según Normatividad Peruana?
- ✓ **Problema específico N°2:** ¿El caudal de ingreso afectará en la capacidad de tratamiento de cada sistema?
- ✓ **Problema específico N°3:** ¿Los tipos de estructuras existentes para el tratamiento de aguas residuales incidirán en la eficiencia de tratamiento de cada sistema?
- ✓ **Problema específico N°4:** ¿Los aspectos meteorológicos afectarán en la eficiencia de tratamiento de aguas residuales en cada sistema?

### 1.2. Justificación:

#### 1.2.1. Justificación del problema:

Actualmente la normatividad peruana exige que toda planta de tratamiento debe purificar las aguas residuales de manera eficiente hasta alcanzar valores inferiores a los límites máximos permisibles para vertimientos en cuerpos receptores, con la finalidad de posteriores usos o fines, además es necesario de contar con un registro de los parámetros físicos, químicos y biológicos; para verificar y cuantificar que el vertimiento de las aguas residuales en el cuerpo receptor sea el óptimo y no afectar el ecosistema de cada subcuenca.

Una de ellas vierte sus aguas tratadas en el río Huatanay y la otra planta de tratamiento vierte sus aguas tratadas en el río de Huacoto.

Durante la investigación se analizarán los parámetros físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales en el ingreso y salida de los sistemas de tratamiento, además de una evaluación hidráulica de cada uno de los sistemas y el grado de eficiencia en el tratamiento. Tomando en consideración que las aguas residuales son producidas en un sector rural y la otra en el sector urbano.





### **1.2.2. Justificación social:**

La presente Tesis dará a conocer la situación actual de los dos sistemas de tratamiento de aguas residuales. Esto aportará con el aspecto de saneamiento social en cada poblado, ya que debido a no darle importancia en muchos casos se convierten en focos de infección que afectan a la salud del ser humano, también contaminando el recurso hídrico aguas abajo; donde se capta agua para riego de productos agrícolas y muchas veces para el directo consumo humano en la zona en los manantes aledaños.

### **1.2.3. Justificación por viabilidad:**

La determinación de la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, debido a la metodología a utilizar en la investigación es de fácil uso debido a que no requerirán instrumentos avanzados, exceptuando los ensayos para parámetros físicos, químicos y biológicos, básicamente se determinará con mediciones cuantitativas; como son: medición de estructuras, medición de temperatura y medición de caudales.

### **1.2.4. Justificación por relevancia:**

Los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos; darán a conocer a estudiantes y profesionales el estado actual de los sistemas de tratamiento de los poblados en la subcuenca del río Huatanay y para la microcuenca de Huacoto; para investigaciones, diseños hidráulicos o procesos necesarios en el tratamiento de aguas residuales. Se tomará en consideración estos dos sistemas ya que la del C.P. de Huacoto su incidencia será en el sector rural; mientras que la de la margen derecha del distrito de Saylla será para el sector urbano.

Los sistemas de tratamiento fueron escogidos por la proximidad de las mismas, tamaño de población, la influencia que tienen para el cuerpo receptor y la microcuenca del Huatanay; estos sistemas de tratamiento pueden ser usados para próximas investigaciones.

## **1.3. Limitaciones de la investigación:**

### **1.3.1. Tipos de limitaciones:**

- ✓ La difícil accesibilidad a la planta de tratamiento de aguas residuales en el C.P. de Huacoto, debido a que se tiene que transportar la muestra durante 1 hora en un camino

vecinal no pavimentado de uso vehicular de geometría sinuosa y muy accidentada sin señalización y después caminar durante 15 minutos.

- ✓ Alto costo en las pruebas químicas y biológicas para el análisis de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos; el análisis de muestras en un laboratorio certificado incrementa los costos por la calibración de sus equipos. Lo cual genera la limitada cantidad de muestras.
- ✓ Problemática política, social y ambiental en el distrito de Saylla y del C.P. de Huacoto.
- ✓ Ausencia de mantenimiento y protocolos de operación; no existe eliminación de lodos ni espumas, además no hay un encargado por la JASS de Huacoto ni por la Municipalidad distrital de Saylla para la operación de estos sistemas.
- ✓ Tipo de muestreo simple; se tomaron días a criterio del investigador de máximo uso de agua potable en las actividades domésticas de cada centro poblado y transporte a las zonas de investigación. Además, que no existen registros estadísticos para un muestreo compuesto.
- ✓ Estructuras selladas en el sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla; esta limitación hace referencia al filtro anaerobio de flujo ascendente, el intento de abrirlas sin mascarillas de protección con filtro podría generar serios daños en el organismo por los gases tóxicos acumulados en su interior.
- ✓ Reserva sobre la información referente al sistema de tratamiento de aguas residuales de Saylla, debido a problemas judiciales sobre su proceso constructivo.

#### **1.4. Objetivos de la investigación:**

##### **1.4.1. Objetivo general:**

Determinar si los sistemas de tratamiento de aguas residuales del C.P. de Huacoto y de la margen derecha del distrito de Saylla; alcanzan la eficiencia requerida según la normatividad peruana en el tratamiento de las aguas residuales producidas por la población rural y urbana de estos poblados.

##### **1.4.2. Objetivos específicos:**

- ✓ **Objetivo específico N°1:** Determinar si la calidad del efluente de acuerdo con los parámetros físicos, químicos y biológicos; afecta en la eficiencia del tratamiento en cada sistema, según Normatividad Peruana.



- ✓ **Objetivo específico N°2:** Determinar si el caudal de ingreso afecta en la capacidad de tratamiento de cada sistema.
- ✓ **Objetivo específico N°3:** Determinar si los tipos de estructuras existentes para el tratamiento de aguas residuales inciden en la eficiencia de tratamiento de cada sistema.
- ✓ **Objetivo específico N°4:** Determinar si los aspectos meteorológicos afectan en la eficiencia de tratamiento de aguas residuales en cada sistema.

## 1.5. Hipótesis:

### 1.5.1. Hipótesis general:

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales del C.P. de Huacoto y de la margen derecha del distrito de Saylla; no alcanzan la eficiencia requerida según la normatividad peruana en el tratamiento de las aguas residuales producidas por la población rural y urbana de estos poblados.

### 1.5.2. Sub hipótesis:

- ✓ **Sub hipótesis N°1:** La calidad del efluente de acuerdo con los parámetros físicos, químicos y biológicos; afectan en la eficiencia del tratamiento en cada sistema, según Normatividad Peruana.
- ✓ **Sub hipótesis N°2:** El caudal de ingreso afecta en la capacidad de tratamiento de cada sistema.
- ✓ **Sub hipótesis N°3:** Los tipos de estructuras existentes para el tratamiento de aguas residuales inciden en la eficiencia de tratamiento de cada sistema.
- ✓ **Sub hipótesis N°4:** Los aspectos meteorológicos afectan en la eficiencia de tratamiento de aguas residuales en cada sistema.

## 1.6. Definición de variables:

### 1.6.1. Variables independientes:

- ✓ Sistema de tratamiento de aguas residuales Tipo 1
- ✓ Sistema de tratamiento de aguas residuales Tipo 2

**1.6.2. Variables dependientes:**

- ✓ Grado de eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales.

**1.7. Cuadro de operacionalización de variables:**

Tabla 2: Tabla de operacionalización de variables.

<b>Variable Dependiente</b>	<b>Definición</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos</b>
Grado de eficiencia de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales.	Se verificará, cuantificará y analizará el grado de eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales.	Norma Técnica Peruana OS. 090	Parámetros máximos permisibles en el tratamiento de aguas residuales.	Normatividad nacional. Bibliografía.
<b>Variable Independiente</b>	<b>Definición</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Instrumentos</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistema de tratamiento de aguas residuales tipo 1.</li> <li>✓ Sistemas de tratamiento de aguas residuales tipo 2.</li> </ul>	Se cuantificarán los valores obtenidos en el campo por cada sistema estudiado.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Calidad del influente</li> <li>✓ Calidad del Efluente</li> <li>✓ Caudal de ingreso - salida</li> <li>✓ Tipos de estructuras para tratamiento</li> <li>✓ Aspectos metereológicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Parámetros físicos</li> <li>✓ Parámetros químicos</li> <li>✓ Parámetros biológicos</li> <li>✓ Parámetros metales pesados</li> <li>✓ Volumen por segundo de agua residual tratada</li> <li>✓ Dimensiones y profundidad</li> <li>✓ Períodos de retención</li> <li>✓ Temperatura de agua residual</li> <li>✓ Temperatura ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Laboratorio físico, químico y biológico.</li> <li>Herramientas de medición.</li> <li>Marco teórico.</li> <li>Equipo para medir caudales.</li> <li>Software</li> <li>Datos Meteorológicos</li> </ul>

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



## 2. Capítulo II: Marco teórico de la tesis:

### 2.1. Antecedentes de la tesis:

#### 2.1.1. Antecedentes a nivel nacional:

- ✓ Se tiene el antecedente de la Universidad de Piura en el estudio denominado “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en San Juan de Miraflores”, de la ciudad de Piura; presentado para optar por el título profesional de Máster en Gestión y Auditorías Ambientales por Ramón Enrique Espinoza Paz, que fue publicado el 05 de abril del 2010; cuya conclusión fue:

**“...El sistema de tratamiento de lagunas de estabilización existente en San Juan presentaba una distribución inadecuada de gastos a las baterías alta y baja, ya que la estructura derivadora ubicada al ingreso de la planta permite el paso incontrolado de caudal a la batería alta, adicionalmente un gran volumen es derivado hacia la parte alta de las lagunas donde se realiza irrigación con desagües sin tratar...”**

Sustento que en la presente tesis fue de evaluación y determinación del mal funcionamiento de la planta y las correcciones en el sistema de distribución de caudales.

#### 2.1.2. Antecedentes a nivel internacional:

- ✓ Se tiene el antecedente de la Universidad Nueva Esparta en el estudio denominado Diseño de “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Urbanización Mis Cariños Chaguaramas, Estado Guárico, para ser vertidas en cauces naturales”, el lugar está ubicado en Venezuela; el estudio fue presentado para optar por el título profesional de Ingeniero Civil por José Aranguren, que fue publicado en julio del 2012; cuya conclusión fue:

**“...en todos los procesos de la planta su cálculo y dimensionado se cumplió con el objetivo deseado, con la finalidad de purificar el agua residual para su uso posterior o disposición final no contaminante...”**

El sustento en la presente tesis de la determinación mediante el cálculo y dimensionamiento de la planta de tratamiento para la urbanización es eficiente y logra tratar las aguas residuales producidas por la urbanización.

- ✓ Se tiene el antecedente de la Universidad Politécnica Salesiana en el estudio denominado “Determinación de la eficiencia de una tratamiento aerobio de aguas





residuales, con la aplicación de un sistema contactor biológico rotante (biodiscos)”, en Ecuador; presentado para optar por el título profesional de Ingeniero Ambiental por Claudia Mercedes Cordero Espinosa, Diana Elizabeth Guerrero Bacuilima, Pablo Esteban Sinche Valencia, que fue publicado el 2008; cuya conclusión fue:

**“...La eficiencia del proceso está directamente relacionada con las condiciones de los diferentes tratamientos...”**

El sustento de la presente tesis era la determinación de la eficiencia en el tratamiento con el sistema contactor de las aguas residuales de la zona.

- ✓ Se tiene el antecedente de la Universidad San Carlos de Guatemala en el estudio denominado “Diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales sector Cuatro Caminos y Diseño del Mercado de la Aldea el Pajón, Municipio de Santa Catarina Pinula, departamento de Guatemala, Guatemala”; presentado para optar por el título profesional de Ingeniero Civil por José Rodrigo Gálvez Fernández, que fue publicado en junio del 2007; cuya conclusión fue:

**“...Por las condiciones físicas y biológicas del sector Cuatro Caminos, el tratamiento principal que se adapta es el de aireación extendida...”**

Con este sustento la tesis se determinó el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales para dicho sector tomando en cuenta el análisis físicos y biológicos del sector.

## **2.2. Aspectos teóricos pertinentes:**

### **2.2.1. Aguas residuales:**

Las aguas residuales son el resultado del uso continuo del agua potable en las actividades humanas. Las aguas residuales al ser el residuo de dichas actividades adquieren contaminantes ajenos a su estado natural o a su estado después de la clorificación de la misma, estos contaminantes pueden ser residuos químicos como las sales sódicas o potásicas proveniente de jabones, residuos inorgánicos como arenas, sales, cal, etc.; o biológicos que son los provenientes del organismo humano en este caso bacterias, parásitos, etc.

### **2.2.2. Principales parámetros de caracterización de aguas residuales:**

Los principales parámetros de caracterización de las aguas residuales son:

Tabla 3: Parámetros que caracterización la calidad del agua

Parámetros Físicos	Parámetros Químicos	Parámetros Biológicos
Temperatura	Ph	
Olor	Alcalinidad	
Color	Acidez	Bacterias y Enzimas
Turbidez	Dureza	Virus
Sólidos en suspensión	Cloruros	Hongos
Materia Disuelta Total	Amoniaco	Microalgas
Conductividad Eléctrica	Nitratos y Nitritos	Organismos Indicadores
Radioactividad	Oxígeno Disuelto	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	
	Demanda Química de Oxígeno.	

FUENTE: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

Los parámetros de caracterización como indica se dividen en físicos, químicos y biológicos los cuales se describen de manera somera a continuación:

#### 2.2.2.1. Parámetros físicos:

La característica física más importante del agua residual es el contenido total de sólidos, término que engloba la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta. Otras características físicas importantes son el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbiedad.

##### a) Temperatura:

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, este hecho se debe principalmente a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática, como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la capacidad del agua para ciertos usos útiles. (Pedraza, 2009)

La temperatura óptima para la actividad bacterial es de 25°C a 35°C. La digestión aeróbica y la nitrificación se suspenden cuando la temperatura alcanza los 50°C. Cuando la temperatura es menor de 15°C la digestión metanogénica es muy lenta, y a



temperatura de 5°C la bacteria autotrófica nitrificante deja de operar. (Romero Rojas, 2010)

La Norma Técnica Peruana indica que el límite máximo permisible es menor a 35 grados Celsius.

**b) Olor:**

Normalmente, los olores son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor algo desagradable, que resulta más tolerable que el del agua residual séptica. El olor más característico del agua residual séptica se debe a la presencia del sulfuro de hidrógeno (Huevo podrido) que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios. La problemática de los olores está considerada como la principal causa de rechazo a la implantación de instalaciones de tratamiento de aguas residuales.

**c) Color:**

El agua residual suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Cuando llega a este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica.

**d) Turbidez:**

La turbidez, como medida de las propiedades de transmisión de la luz del agua, es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. Su medición se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. Suspensiones de formacina se emplean como patrones primarios de referencia. Los resultados de las mediciones de turbidez se dan en unidades nefelométricas de turbiedad (UNT).

(Pedraza, 2009)

**e) Sólidos en suspensión:**

Los sólidos en suspensión son productos de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton. Los sólidos suspendidos, tales como limo, arena y virus, son generalmente responsables de impurezas visibles. La materia suspendida consiste en partículas muy pequeñas, que no se pueden quitar por medio de deposición. Pueden ser identificadas con la descripción de características visibles del agua, incluyendo turbidez y claridad, gusto, color y olor del agua.

- ✓ Los análisis de sólidos son importantes en el control de procesos de tratamiento biológico y físico de aguas residuales, y para evaluar el cumplimiento de las limitaciones que regulan su vertido.
- ✓ Los “sólidos totales” es la expresión que se aplica a los residuos de material que quedan en un recipiente después de la evaporización de una muestra y su consecutivo secado en estufa a temperatura definida.
- ✓ Las sustancias no disueltas usualmente se denominan materia suspendida o sólidos suspendidos, pocas veces se realizan pruebas de sólidos suspendidos, estos generalmente se evalúan por medición de turbiedad.
- ✓ Sólidos suspendidos y los sólidos suspendidos volátiles se emplean para evaluar la concentración de los residuos domésticos industriales. (DIGESA, Sin fecha)

Según la Norma Técnica Peruana el límite máximo permisible para este parámetro será de 150 ml/l.

**f) Materia disuelta total:**

Está definida como toda la materia inorgánica que se suspende y precipita en el agua residual ya sea de naturaleza orgánica o inorgánica.

**g) Conductividad eléctrica:**

Depende de la actividad de los tipos de iones disueltos y de la temperatura a la que se realiza la medida. La conductividad es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones y de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas, así como la temperatura de la medición. El agua pura tiene muy poca conductividad, por lo que la medida de la conductividad de un agua nos da una idea de los sólidos disueltos en la misma. De la conductividad eléctrica, que indica la presencia de sales en el agua, lo que hace aumentar su capacidad de transmitir una corriente



eléctrica, propiedad que se utiliza en mediciones de campo o de laboratorio, expresadas en micro Siemens/l ( $\mu\text{S/l}$ ). A partir de la conductividad se puede obtener los sólidos disueltos multiplicando por un factor entre 0.55 y 0.75. Los sólidos disueltos totales, expresados en mg/L. Este factor puede ser determinado para cada cuerpo de agua, pero permanece aproximadamente constante, según las proporciones iónicas en el cuerpo de agua y si éstas permanecen estables. (DIGESA, Sin fecha)

#### **h) Radioactividad:**

La radioactividad es la capacidad de ciertos elementos a transmutarse espontáneamente en otros elementos al propagar energía electromagnética y calorífica.

El agua en forma natural puede contener niveles bajos de radioactividad, especialmente aguas subterráneas que estén en contacto con yacimientos de materiales radioactivos, por otra parte, las actividades humanas como la producción de energía eléctrica, el uso de isótopos radioactivos en la medicina y en la industria pueden aportar elementos radiactivos al agua residual. Los procesos convencionales de tratamiento de aguas residuales pueden remover estos elementos y concentrarlos en los lodos de desecho, los cuales deben disponerse en confinamientos especiales.

Los efectos de la radioactividad en la vida acuática y en la salud humana pueden manifestarse como una alteración en la tasa normal de mutación genética y también puede ser causal de cáncer. (Arce Velasquez, Calderón Mólgora, & Tomasini Ortiz, Sin fecha)

La radioactividad es un parámetro medido en descargas de aguas industriales; generalmente por el contenido de metales pesados como el uranio, mercurio, plutonio; en el cual no debe superar los 0.1 mg/l.

#### **2.2.2.2. Parámetros químicos:**

Las características químicas de las aguas residuales son principalmente el contenido de materia orgánica e inorgánica, y los gases presentes en el agua residual. La medición del contenido de la materia orgánica se realiza por separado por su importancia en la gestión de la calidad del agua y en el diseño de las instalaciones de tratamiento de aguas.

#### **a) PH:**

Es la acidez o alcalinidad de una solución están determinadas por la concentración de  $\text{H}^+$ . En la mayor parte de las sustancias naturales comunes, estas concentraciones son

muy bajas y expresarlas en forma decimal o exponencial resulta engorroso, y con frecuencia es fuente de errores.

Hoy en día el pH es la forma más común de expresar la acidez y la alcalinidad. La concentración de  $H^+$  se puede medir directamente y se puede expresar en moles/litro, pero en la mayoría de los laboratorios se deduce la cantidad de  $H^+$  por comparación de la muestra estudiada con soluciones reguladoras de concentración conocida y el resultado se expresa en unidades de pH.

En el siguiente cuadro se demuestra la escala de Ph la cual surgió a partir del estudio del comportamiento ácido-base del agua. El agua se comporta como un no-electrolito, a pesar de que tiene la capacidad para actuar como ácido o base; cuando está pura, sus moléculas se disocian muy poco.

Tabla 4: Escala de ph

Reacción	pH	$[H^+] \times 10^7$	$[OH^-] \times 10^7$	pOH	Ejemplos
Ácida	0	1	0.000000000000001	14	Ácido Sulfúrico concentrado
	1	0.1	0.00000000000001	13	Ácido Clorhídrico
	2	0.01	0.0000000000001	12	Jugo de Limón, Jugo Gástrico
	3	0.001	0.000000000001	11	Jugo de Naranja
	4	0.0001	0.0000000001	10	Lluvia ácida
	5	0.00001	0.000000001	9	Café Negro
	6	0.000001	0.00000001	8	Orina, saliva
Neutra	7	0.0000001	0.0000001	7	Agua pura
Básica	8	0.00000001	0.000001	6	Agua de mar
	9	0.000000001	0.00001	5	Polvo de hornear
	10	0.0000000001	0.0001	4	Leche de magnesia
	11	0.00000000001	0.001	3	Limpiadores caseros
	12	0.000000000001	0.01	2	Agua de Jabón
	13	0.0000000000001	0.1	1	Limpiadores de hornos
	14	0.000000000000001	1	0	Soda Cáustica

FUENTE: ARTÍCULO ÁCIDOS, BASES, PH Y SOLUCIONES REGULADORAS

En esta tabla resaltan algunas propiedades importantes del pH.

- ✓ Varía en forma inversa a la concentración de protones, a mayor concentración, mayor acidez, pero menor valor de pH.
- ✓ Es logarítmica, o sea un cambio de una unidad de pH, representa un cambio de diez veces en la concentración de protones.
- ✓ El pH y el pOH son complementarios y en las soluciones acuosas deben sumar 14. (Velázquez Monroy & Ordorica Vargas, 1982)

**b) Alcalinidad:**

La alcalinidad de una muestra de agua es su capacidad para reaccionar o neutralizar iones hidronio ( $H^+$ ) hasta un valor de pH igual a 4.5. La alcalinidad es causada principalmente por los bicarbonatos, carbonatos e hidroxidos presentes en solución y, en menor grado, por los boratos, fosfatos y silicatos, que puedan estar presentes en la muestra.

**c) Acidez:**

La acidez de una muestra de agua es por definición, su capacidad para reaccionar con una base fuerte hasta determinado valor de pH. ♦ En cuerpos de aguas naturales, la acidez es causada principalmente por  $CO_2$  y en algunos casos, por ácidos minerales del tipo  $H_2S$  o por la presencia en el agua de sales fuertes provenientes de bases débiles.

La acidez se expresa como la concentración en mili equivalentes por gramo de iones hidrogeno o como la cantidad equivalente de carbonato de calcio requerida para neutralizar dicha acidez.

La forma más frecuente de medir la acidez es mediante titulación con una base fuerte (generalmente hidróxido de sodio 0,020 N), utilizando como indicadores el naranja de metilo, o el azul de bromo fenol para la determinación de la acidez mineral y la fenolftaleína para la determinación de la acidez carbonácea.

(Gómez Agudelo, sin fecha)

**d) Dureza:**

La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. La dureza es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales como las unidades de transferencia de calor. El término dureza se aplicó en principio por representar al agua en la que era difícil (duro) de lavar y se refiere al consumo de jabón para lavado, en la mayoría de las aguas alcalinas esta necesidad de consumo de jabón está directamente relacionada con el contenido de calcio y magnesio. (Secretaría de Economía, Sin fecha)

**e) Cloruros:**

Los cloruros son sales que resultan de la combinación del gas cloro (ion negativo) con un metal (ion positivo). El cloro ( $\text{Cl}_2$ ) es altamente tóxico y es usualmente utilizado como desinfectante, sin embargo, en combinación con un metal, como el sodio (Na), es esencial para la vida, dado que, pequeñas cantidades de cloruros son requeridas para la función celular en los seres vivos. En la naturaleza las sales de cloruro de sodio, cloruro de potasio, y cloruro de calcio están ampliamente distribuidas, su solubilidad en agua fría es: 357, 344, 745 g/L, respectivamente. El cloruro, en forma de ion  $\text{Cl}^-$ , es uno de los aniones inorgánicos principales en el agua, su contenido procede de fuentes naturales, aguas residuales y vertidos industriales. El efecto antropógeno está mayormente asociado con el ion sodio. (Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, 1996)

**f) Amoníaco:**

El amoníaco presente en el medio ambiente procede de procesos metabólicos, agropecuarios e industriales, así como de la desinfección con cloramina. Las concentraciones naturales en aguas subterráneas y superficiales suelen ser menores que 0,2 mg/l, pero las aguas subterráneas anaerobias pueden contener hasta 3 mg/l y la ganadería intensiva puede generar concentraciones mucho mayores en aguas superficiales. También pueden producir contaminación con amoníaco los revestimientos de tuberías con mortero de cemento. El amoníaco es un indicador de posible contaminación del agua con bacterias, aguas residuales o residuos de animales. El amoníaco es uno de los principales productos del metabolismo de los mamíferos. La exposición al amoníaco de fuentes medioambientales es insignificante comparada con la derivada de su síntesis endógena. Sólo se observan efectos toxicológicos a exposiciones superiores a alrededor de 200 mg/kg de peso corporal. La presencia de amoníaco en el agua de consumo no tiene repercusiones inmediatas sobre la salud, de modo que no se propone un valor de referencia basado en efectos sobre la salud. No obstante, el amoníaco puede reducir la eficiencia de la desinfección, ocasionar la formación de nitrito en sistemas de distribución, obstaculizar la eliminación de manganeso mediante filtración y producir problemas organolépticos.



**g) Nitratos y nitritos:**

Nitratos y nitritos son compuestos iónicos que se encuentran en la naturaleza, formando parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) es la forma estable de las estructuras oxidadas del nitrógeno, y a pesar de su baja reactividad química puede ser reducido por acción microbológica. El nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), es oxidado con facilidad por procesos químicos o biológicos a nitrato, o bien reducido originando diversos compuestos.

En los suelos, los fertilizantes y vertidos residuales conteniendo nitrógeno orgánico son descompuestos para dar en un primer paso amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), que a continuación es oxidado a nitrito y a nitrato. Parte de este nitrato es absorbido por las plantas, que lo emplean en la síntesis de proteínas vegetales, pudiendo el resto pasar a las aguas subterráneas. (Antón & Lizaso, 2010)

**h) Oxígeno disuelto:**

El análisis de oxígeno disuelto mide la cantidad de oxígeno gaseoso disuelto ( $\text{O}_2$ ) en una solución acuosa. El oxígeno se introduce en el agua mediante difusión desde el aire que rodea la mezcla, por aeración (movimiento rápido) y como un producto de desecho de la fotosíntesis. Cuando se realiza la prueba de oxígeno disuelto, solo se utilizan muestras tomadas recientemente y se analizan inmediatamente. Por lo tanto, debe ser preferentemente una prueba de campo. Impacto Ambiental:

Las concentraciones totales de gas disuelto en el agua no deben exceder de 110 por ciento. Las concentraciones arriba de este nivel pueden ser peligrosas para la vida acuática. Los peces en aguas que contienen un exceso de gases disueltos pueden sufrir de la enfermedad de las burbujas de gas, sin embargo, esto ocurre rara vez. Las burbujas en el flujo sanguíneo a través de las arterias causan la muerte. Las burbujas externas (enfisema) pueden ocurrir y se ha observado en las aletas, o piel de los peces. También se afectan los invertebrados acuáticos por la enfermedad de las burbujas de gas pero a niveles más altos que estos es letal para los peces. El oxígeno disuelto adecuado se necesita para una buena calidad del agua.

El oxígeno es un elemento necesario para todas las formas de vida. Los procesos de purificación naturales de la corriente requieren niveles de oxígeno adecuados para facilitar las formas de vida aeróbicas. La vida acuática esta bajo tensión, a concentración más baja, mayor tensión. Los niveles de oxígeno que permanecen bajo 1-2 mg/L por unas pocas horas pueden resultar en largas agonías para los peces. Peces, invertebrados, plantas y bacterias aeróbicas, todos requieren oxígeno para la respiración.

El principal factor que contribuye a los cambios en los niveles de oxígeno disuelto es el crecimiento de residuos orgánicos. El decaimiento de los residuos orgánicos consume oxígeno y frecuentemente se concentra en el verano, cuando los animales acuáticos requieren más oxígeno para soportar altos metabolismos. La temperatura, la presión y la salinidad afectan la capacidad del agua para disolver el oxígeno. La relación de la disolución del contenido de oxígeno (ppm) a la capacidad potencial (ppm) da el porcentaje de saturación, que es un indicador de la calidad del agua. Las aguas de las plantas tratadoras de aguas residuales frecuentemente contienen materiales orgánicos que son descompuestos por microorganismos, que utilizan el oxígeno en los procesos. (La cantidad de oxígeno consumida por estos organismos en el rompimiento de los residuos se conoce como demanda bioquímica de oxígeno o DBO. (Milacron Mexicana Sales S.A., 2004)

**i) Demanda bioquímica de oxígeno:**

Se define como la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica biodegradable existente en un agua residual.

Medida del componente orgánico que puede ser degradado mediante procesos biológicos. Representa la cantidad de materia orgánica biodegradable. DQO (a diferencia) representa tanto la materia orgánica biodegradable como la no biodegradable.

Expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno.

Expresa la cantidad de miligramos de oxígeno disuelto por cada litro de agua, que se utiliza conforme se consumen los desechos orgánicos por la acción de las bacterias en el agua. La demanda bioquímica de oxígeno se expresa en partes por millón (ppm) de oxígeno.

Tabla 5: Límites de DBO en fuentes líquidas

TIPO DE FUENTE	LÍMITES
Agua potable	0.75 a 1.5 ppm
Agua poco contaminada	5 a 50 ppm
Agua potable negra municipal	100 a 400 ppm



TIPO DE FUENTE	LÍMITES
Residuos industriales	500 a 10000 ppm

FUENTE: UNIVERSIDAD TÉCNOLOGICA NACIONAL

La DBO de las aguas residuales se debe a tres clases de materiales:

- ✓ Materia orgánica Carbonosa usada como fuente de alimentación por los organismos aerobios.
- ✓ Nitrógeno oxidable derivado de nitritos, amoníaco y compuestos de nitrógeno orgánico, que sirven de sustrato para bacterias específicas del género Nitrosomas y Nitrobacter, que oxidan el Nitrógeno amoniacal en nitritos y nitratos.
- ✓ Compuestos reductores químicos, como sulfitos, sulfuros y el ión ferroso que son oxidados por Oxígeno disuelto. (Sambrosio, sin fecha)

**j) Demanda química de oxígeno:**

La demanda química de oxígeno (DQO) es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, que son oxidables en condiciones operatorias definidas. La medida corresponde a una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, ya sea su origen orgánico o inorgánico. La determinación de DQO debe realizarse rápidamente después de la toma de muestras, para evitar la oxidación natural. En caso contrario, la muestra podría conservarse un cierto tiempo si se acidifica con ácido sulfúrico hasta  $\text{pH} = 2-3$ . Sin embargo, esta opción deja de ser fiable en presencia de cloruros. (Curt Fernández & Dolores, 2014)

**2.2.2.3. Parámetros biológicos:**

Para el tratamiento biológico se deben de tomar en cuenta las siguientes características del agua residual: principales grupos de microorganismos presentes, tanto en el agua superficial como en residual, así como aquellos que intervienen en los tratamientos biológicos; organismos patógenos presentes en el agua residual; organismos utilizados como indicadores de contaminación y su importancia; métodos empleados para determinar los organismos indicadores, y métodos empleados para determinar la toxicidad del agua tratada.

**a) Bacterias y enzimas:**

Las bacterias existen en diferentes formas, en su mayoría son heterótrofas. Las bacterias son numerosas y se encuentran en cualquier ambiente, en la tierra, en el aire, en el agua,



en las cosas que se tocan o en los alimentos, así como en el cuerpo de casi cualquier ser viviente, ellas pertenecen a la división “Schizomycetes”. Schizo (significa división) se refiere al proceso de división sencilla mediante el cual se multiplican enormemente. Por lo general el ser humano solo piensa en las bacterias como “gérmenes” que producen enfermedades. Esta creencia no es totalmente correcta. De las más de 1500 especies de bacterias, solo unas 250 causan enfermedades. Las actividades de las bacterias en su mayoría resultan útiles y necesarias, la gente ha usado muchas especies de bacterias en la producción de alimentos y medicinas; tal es el caso de las llamadas “cocos” que tienen la forma de esfera y cuando están en pareja se les llama diplococcus, una de las causantes de la pulmonía bacteriana. Otra clasificación son los bacilos que son bacterias en forma de cilindros alargados como la “Escherichia coli” que habita en los intestinos de los humanos y animales, es uno de los organismos más estudiados y se ha usado en miles de experimentos de genética y bioquímica.

Las enzimas son proteínas especializadas en la catálisis de las reacciones biológicas, se encuentran entre las más notables de las biomoléculas conocidas por su poder catalítico, que es mucho mayor que los catalizadores hechos por el hombre. El nombre de enzima se empleó hace más de un siglo, pero desde mucho antes ya se sospechaba que ciertos catalizadores biológicos intervenían en la fermentación del azúcar para formar alcohol. Todo esto significa que las enzimas aceleran la transformación de un compuesto orgánico en otro, por ejemplo, la enzima diastasa hidroliza más rápidamente el almidón que el ácido sulfúrico. (Mezquita, sin fecha)

#### **b) Virus:**

Los virus son partículas parásitas formadas por un cordón de material genético - ácido desoxirribonucleico (ADN) o ácido ribonucleico (RNA) - con una capa de recubrimiento proteínico y no tienen capacidad para sintetizar nuevos compuestos, por lo que invaden las células del cuerpo vivo para la producción de nuevas partículas virales a costa de las células originales. Cuando muere la célula original, se liberan gran cantidad de virus que infectan a células más próximas. Los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública. Por ejemplo, se ha podido comprobar que cada gramo de heces de un paciente con hepatitis contiene entre 10.000 y 100.000 dosis de virus hepático y se sabe con certeza que algunos virus



pueden sobrevivir hasta 41 días, tanto en aguas limpias, como residuales a la temperatura de 20°C y hasta 6 días en un curso de agua normal.

**c) Hongos:**

Los hongos son protistas eucariotas aerobios, multicelulares, no fotosintéticos y quimioheterótrofos. Muchos de los hongos son saprofitos, es decir no hacen daño al ser humano y se alimentan de materia orgánica muerta. Juntos con las bacterias, los hongos son los principales responsables de la descomposición del carbono en la biosfera. Desde el punto de vista ecológico, los hongos presentan ciertas ventajas sobre las bacterias: pueden crecer y desarrollarse en zonas de baja humedad y en ámbitos con pH bajos. Sin la participación de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica, el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica se acumularía sin sufrir mayores cambios en su estructura molecular. (Rojas, 2002)

**d) Microalgas:**

Las microalgas oleaginosas son microorganismos unicelulares fotosintéticos que se desarrollan en medios acuáticos de agua dulce o agua de mar, con requerimientos simples de crecimiento tales como luz, CO<sub>2</sub>, N, P y K, y otros oligoelementos de menor importancia como B, Cu, Mn, Zn, Mo, Co, V y Se (Li et al., 2008). Las microalgas producen lípidos, proteínas y carbohidratos en cantidades grandes en periodos de tiempos cortos. Son capaces de fijar CO<sub>2</sub> y liberar O<sub>2</sub> a la atmósfera y representa los microorganismos que mayor velocidad de crecimiento tienen. Las principales ventajas de las microalgas mencionadas por Campbell, Chisti, Huntley, Li et al., Khan et al., (citadas en Gouveia, 2011) son:

- ✓ Las microalgas tienen mayor rendimiento de crecimiento y producción de biomasa por hectárea, aproximadamente 3.8% frente a un 0.5% que producen los cultivos energéticos convencionales a partir de plantas terrestres como caña de azúcar, palma, maíz, etc. Requiere de 1.5 a 3.2 millones de hectáreas para satisfacer el 50% de las demandas de energéticos de transporte en U.S.A. (Chisti, 2007).
- ✓ Tienen una mayor capacidad de captar el CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, por cada 100 ton de microalgas producidas, se consumen 183 toneladas de CO<sub>2</sub> (Chisti, 2007).



- ✓ Son capaces de crecer en un medio líquido marino, o en aguas residuales, con lo que se reduce el consumo de agua dulce para su producción.
- ✓ Se utiliza para la biorremediación de aguas residuales municipales e industriales para el tratamiento de nitrógeno y fósforo.
- ✓ La producción de biomasa no es estacional y puede ser cosechada por lotes casi todo el año.
- ✓ Las microalgas pueden ser cultivadas sin el uso de fertilizantes y pesticidas, lo cual resulta en menos residuos y menos contaminación de la biomasa.
- ✓ Las microalgas además de su utilidad como bioremediadores de aguas residuales producen biomasa con un valor añadido generando coproductos o subproductos (por ejemplo, proteínas, polisacáridos, pigmentos, los biopolímeros, alimentos para animales, fertilizantes, etc.), además de ser una fuente de energía en la generación de biocombustibles (combustible para aviones, gasolina de aviación, biodiesel, gasolina y bioetanol).

Las microalgas están muy relacionadas con el desarrollo biotecnológico, debido a algunas de sus características que las convierten en la fuente más prometedora de producción de biocombustibles por encima de la mayoría de cultivos energéticos tradicionales. (Bermeo Castillo, 2011)

**e) Organismos indicadores:**

Los organismos patógenos se presentan en el agua residual contaminada en cantidades muy pequeñas y, además, resultan difíciles de aislar y de identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como organismo indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar. El sistema intestinal humano contiene innumerables bacterias conocidas como organismos coliformes, cada humano evacua de 100,000 a 400,000 millones organismos coliformes cada día. Por ello, se puede considerar que la presencia de coliformes puede ser un indicador de la posible presencia de organismos patógenos, y que la ausencia de aquellos es un indicador de que el agua está libre de organismos que puedan causar enfermedades. (Pedraza, 2009)

Los parámetros más usados para constatar la calidad de las aguas residuales son: DBO5, DQO, Sólidos Suspendidos, Coliformes Totales. De estos parámetros podemos concluir si el proceso de tratamiento es eficiente para este tipo de poblaciones.



### 2.2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales más usados:

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 residuales requiere de un cuidadoso estudio basado en aspectos, tales como: el caudal (m<sup>3</sup>/seg), 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.

Sin embargo, el proceso usual del tratamiento de aguas residuales domésticas puede dividirse en las siguientes etapas:

- ✓ Pretratamiento.
- ✓ Tratamiento primario o físico.
- ✓ Tratamiento secundario o biológico.
- ✓ Tratamiento terciario o avanzado.

#### 2.2.3.1. Pre tratamiento:

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual. 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 residual, así como elementos flotantes:

**a) Desbaste:**

Esta operación consiste en hacer pasar el agua residual 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:
- ✓ Rejas de limpieza manual
- ✓ Rejas de limpieza automática

**b) 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 residuales pretratadas. Los tamices se incluirán en el pretratamiento de una estación depuradora en casos especiales:





- ✓ Cuando las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos.

**c) 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.

**d) 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.

(Fondo Nacional del Ambiente, 2010)

**2.2.3.2. Tratamiento primario o físico:**

El tratamiento primario que recibe las aguas residuales consiste principalmente en la remoción de sólidos suspendidos floculentos bien mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalidad 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:

**a) 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 residual los sólidos en suspensión presentes en ella.

Existe la sedimentación floculenta 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 residuales, 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 residuales 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  $m^3/día/m^2$  o  $m^3/hr/m^2$ , o sea el resultado de dividir el caudal en  $m^3/día$  o  $m^3/hr$  por la superficie total del tanque de sedimentación en metros cuadrados.

Se recomienda que la carga superficial de un sedimentador primario para aguas residuales domésticas no exceda el valor de  $24 m^3/día/m^2$ , cuando el caudal de tratamiento es inferior a  $4000 m^3/día$ . Si el caudal de aguas residuales a tratar es mucho mayor que  $4000 m^3/día$ , entonces es posible utilizar cargas superficiales del orden de los  $30-32 m^3/día/m^2$  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 residual pueden afectar considerablemente la eficiencia del tanque en la remoción de sólidos sedimentables.

(Fondo Nacional del Ambiente, 2010)

#### **b) Filtro anaerobio de flujo ascendente:**

Un filtro anaerobio es un reactor biológico de lecho fijo con una o más cámaras de filtración en serie. Conforme las aguas residuales atraviesan el filtro, las partículas son atrapadas y la materia orgánica es degradada por la biomasa activa adjunta a la superficie del material del filtro.

Con esta tecnología, la eliminación de DBO y sólidos en suspensión puede ser de casi 90%, pero suele ser de 50 a 80%. La eliminación de nitrógeno es limitada y normalmente no supera 15% en términos de nitrógeno total (NT).

**Consideraciones de diseño;** El pretratamiento y el tratamiento primario son esenciales para remover la basura y los sólidos que puedan obstruir el filtro. La mayoría de los sólidos sedimentables se remueven en una cámara de sedimentación enfrente del filtro anaerobio. Generalmente, las unidades de pequeña escala e independientes poseen un compartimiento integrado para el asentamiento, pero la sedimentación primaria también puede tener lugar en un sedimentador separado u otra tecnología anterior (por ejemplo una fosa séptica existente). Los diseños sin un compartimiento de sedimentación son de particular interés para las plantas con sistema de tratamiento (semi)centralizado, que combinen el filtro anaerobio con otras tecnologías, como el reactor anaerobio con deflectores.

Los filtros anaerobios generalmente operan en modo de flujo ascendente, ya que así hay menos riesgo de que se lave la biomasa fija. Por esta razón se le denomina Filtro Anaerobio de Flujo Ascendente (FAFA). El nivel de agua debe cubrir el medio filtrante al menos en 0.30 m para garantizar su régimen de flujo uniforme. El tiempo de retención hidráulica (TRH) es el parámetro de diseño que más influye en el rendimiento del filtro. Se recomienda un TRH de 12 a 36 horas.

El filtro ideal debe tener una superficie amplia para que las bacterias crezcan, con poros lo suficientemente grandes para evitar atascos. La superficie garantiza un mayor



contacto entre la materia orgánica y la biomasa adjunta que la degrada. Idealmente, el material debe proporcionar entre 90 y 300 m<sup>2</sup> de superficie por cada metro cúbico de volumen de reactor ocupado. Los tamaños usuales de materiales del filtro van de 12 a 55 mm de diámetro. Los materiales comúnmente usados incluyen gravas, rocas o ladrillos machacados, ceniza, piedra pómez, o piezas de plástico especiales, dependiendo de la disponibilidad local. La conexión entre las cámaras puede diseñarse con tubos verticales o deflectores.

(Tilley, y otros, 2018)

**c) 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 residuales 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 residuales con temperaturas promedio entre los 20-25°C.

(Fondo Nacional del Ambiente, 2010)

**2.2.3.3. Tratamiento secundario o biológico:**

Su finalidad es la reducción de la materia orgánica presente en las aguas residuales 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 residuales 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 que se describen a continuación:

#### a) 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. La siguiente imagen muestra un esquema de un proceso de lodos activados:

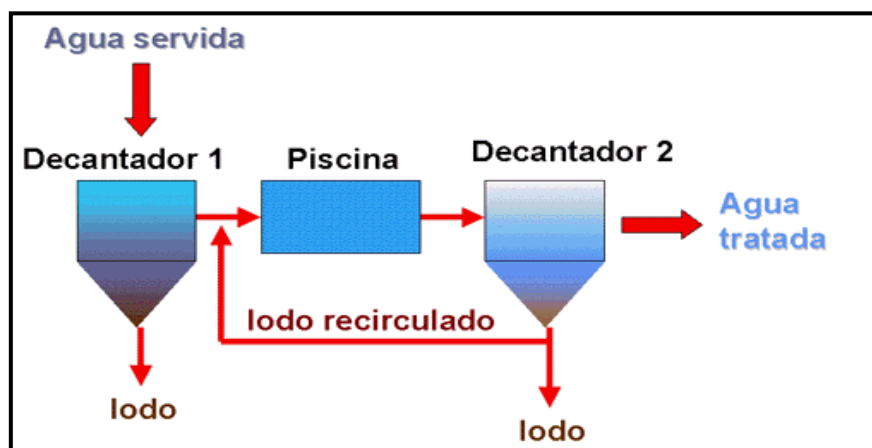


Figura 5: Proceso de tratamiento del agua residual mediante proceso de lodos activados  
FUENTE: O.M.A.A POR EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ

**b) 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.

La ventaja principal 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 serían 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. (Fondo Nacional del Ambiente, 2010)

**c) Filtros percoladores:**

Un Filtro Percolador es una cama de grava o plástico sobre el cual se rocían las aguas negras (aguas residuales) pretratadas. En este sistema de filtro percolador, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas negras se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua.

El filtro percolador era una tecnología comúnmente usada para tratar las aguas negras municipales antes de que las ciudades empezaran a usar el sistema de aireación de lodo activado. Actualmente, las casas y los negocios usan los filtros percoladores en los sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras. Cada sistema de filtro percolador tiene varios componentes:

- ✓ Un tanque séptico, que elimina los sólidos que se asientan y flotan de las aguas negras.



- ✓ Un tanque de dosificación/ clarificador. Es un tanque de hormigón o de fibra de vidrio que permite que los materiales biológicos se sedimenten del agua. También tiene una bomba para dosificar el agua por encima del filtro.
- ✓ Un filtro percolador. Es un tanque con algún tipo medio, ya sea de grava o de material plástico. Las aguas negras se distribuyen sobre el medio y fluyen hacia abajo a través de la superficie del medio en una capa fina. Luego, sale por abajo del tanque y fluye hacia el tanque de dosificación/ clarificador.
- ✓ Un sistema de aplicación al suelo. Distribuye el agua tratada por debajo de la superficie del suelo.

Aunque los filtros percoladores son una tecnología sencilla para mejorar la calidad de las aguas negras, algunos fabricantes los venden ya armados. Las compañías instaladoras diseñan y construyen la mayoría de los filtros percoladores. Según los reglamentos del estado de Texas, las aguas negras de los sistemas de filtro percolador no pueden ser aplicadas directamente a la superficie del suelo. El estado de Texas sólo permite que los sistemas certificados como unidades de tratamiento aeróbico o filtros de arena, Clase I, apliquen aguas negras sobre la superficie del suelo. Una excepción son los sistemas diseñados especialmente por un ingeniero profesional para aplicación superficial. Las aguas negras distribuidas por tales sistemas deben someterse a pruebas periódicas para asegurar que cumplen con los requisitos para la aplicación superficial.

#### **Tratamiento:**

Las aguas negras que se dosifican a un filtro percolador deben recibir pretratamiento, tal como el que se da en un tanque séptico. Los sólidos y las grasas deben eliminarse antes de rociar las aguas negras sobre el filtro percolador. Si no se sacan estos materiales, pueden cubrir la capa fina de microorganismos que crecen en el medio y matarlos. (Cooperativa de Texas Extensión, 2001)

#### **2.2.3.4. Tratamiento terciario o avanzado:**

Los tratamientos terciarios (conocidos también como tratamientos avanzados, más rigurosos, complementarios, etc.) permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados.



La eliminación de materia particulada y coloidal presente en los efluentes depurados, puede lograrse mediante la aplicación de tratamientos fisicoquímicos (coagulación - floculación) y la posterior etapa de separación (decantación, filtración).

Para la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fosforo), se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos. No obstante, el caso del de fosforo, los procesos de precipitación química, empleado sales de hierro y de aluminio, continúan siendo los de mayor aplicación.

En la eliminación biológica de nitrógeno se opera de forma secuencial, bajo condiciones oxicas y anoxicas, que dan como resultado final su liberacion a la atmosfera, en forma de nitrógeno gaseoso.

Para la eliminación biológica del fosforo se combinan reactores operando bajo condiciones anaerobias, oxicas y anoxicas, quedando el fosforo almacenado en los microorganismos, que posteriormente se extraen como lodos en exceso. Combinando los procesos anteriores también es posible la eliminación conjunta de ambos nutrientes.

Con relación a la desinfección de los efluentes depurados, si bien el cloro ha sido, y continua siendo, el desinfectante típico en el campo de las aguas residuales, al incrementarse el número de requisitos para lograr bajas o indetectables cantidades de cloro residual en los efluentes tratados, se hace precisa la implantación de procesos posteriores de dechloración, o bien, la sustitución de los sistemas de cloración por sistemas de desinfección alternativos, tales como la radiación UV, el empleo de ozono o el empleo de membranas. (Alianza por el Agua, Sin fecha)



Figura 6: Reactores tipo carrusel, con zonas oxicas y anoxicas para la eliminación biológica de nitrógeno.

FUENTE: MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS





Figura 7: Laberinto de cloración.

FUENTE: MANUAL DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS

### **Tipos de tratamiento terciario:**

Existen muchos tipos de tratamiento terciario para mejorar la calidad del agua entre ellos tenemos:

- ✓ Ósmosis inversa.
- ✓ Electrodialisis.
- ✓ Destilación fría sólido – líquido.
- ✓ Proceso de filtración.
- ✓ Extracción por solvente.
- ✓ Filtración por intercambio iónico.

### **2.2.4. Evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales:**

#### **2.2.4.1. Límites máximos permisibles para el vertimiento de aguas residuales:**

De acuerdo con el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, los límites máximos permisibles (LMP), es “la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente”. Los LMP, definen la calidad del efluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), cuando se vierte a un cuerpo natural de agua. Sin embargo, cuando la PTAR incluye emisario submarino, la norma OS. 090 del Reglamento Nacional de Edificaciones señala que estos valores no son aplicables.

Los LMP son obligatorios para todas las PTAR sin distinción de tamaño, ni de nivel de tratamiento. En la tabla se muestran los LMP vigentes.

Tabla 6: Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.

Parámetro	Unidades	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas.
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
PH	unidad	6,5 – 8,5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35

FUENTE: DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM – NORMAS LEGALES

Tabla 7: Parámetros y frecuencia del monitoreo de muestras de afluentes y efluentes.

PARÁMETRO	Frecuencia del Monitoreo según el caudal de operación promedio anual			
	< 10 L/S	> 10 a 100 L/S	> 100 L/S a 300 L/S	> 300 L/S
Afluyente y Efluente				
Aceites y grasas	Anual	Semestral	Trimestral	Mensual
Coliformes Termotolerantes				
DBO <sub>5</sub>				
DQO				
PH				
Sólidos Totales en Suspensión				
Temperatura				
Caudal (Lectura Horaria o más frecuente)	1 por semestre	1 por trimestre	1 por mes	diaria

FUENTE: DIAGNÓSTICO DE PTAR EN EL ÁMBITO DE OPERACIÓN DE LAS EPS-SUNASS

#### 2.2.4.2. Valores máximos admisibles:

El Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA, regula las descargas de aguas no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario y establece los valores máximos admisibles (VMA). En este decreto se entienden los valores máximos admisibles como aquel valor de la concentración de elementos o parámetros físicos y/o químicos que caracterizan a un efluente no doméstico, que va a ser descargado a la red de alcantarillado sanitario, que al ser excedido causa daño inmediato o progresivo a la infraestructura y equipos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales, y tiene influencias negativas en los procesos de tratamiento de aguas residuales”.

Los VMA se dividen en dos grupos de parámetros que se encuentran en la tabla a continuación:

Tabla 8: VMA para descargas no domésticas al alcantarillado.

PARÁMETROS QUÍMICOS	UNIDAD	VALOR
DBO5	mg/L	500
DQO	mg/L	1000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	500
Aceites Y Grasas	mg/L	100
PARÁMETROS FÍSICOS	UNIDAD	VALOR
PH	-	6-9
Temperatura	-	<35
Sólidos sedimentables	mL/L/h	8,5
Nitrógeno amoniacal	mg/L	80
Sulfatos	mg/L	500
Cromo total	mg/L	10
Arsénico	mg/L	0,5
Boro	mg/L	4
Plomo	mg/L	0,5

FUENTE: SUNASS. BASE RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 273-2013-VIVIENDA

#### 2.2.4.3. Plan nacional ante el cambio climático (PLANCC):

El PLANCC propone opciones para mitigar los efectos del cambio climático. Las opciones propuestas para el sector de los residuos que están explícitamente relacionadas con el tratamiento de aguas residuales domésticas son:

- ✓ **Opción RES06:** Captura y quema de gas metano en las lagunas de las PTAR. La medida busca cubrir las lagunas con geomembranas e instalar quemadores de metano en las PTAR que traten caudales mayores de 100 l/s y que operen actualmente descubiertas.
- ✓ **Opción RES07:** Captura de gas metano y generación de energía en las lagunas de las PTAR. La medida propone la instalación de sistemas que permiten generar energía a partir del gas metano capturado en las lagunas que operan actualmente. Se efectuará en las lagunas facultativas sobrecargadas y de gran caudal que operan en provincias.
- ✓ **Opción RES08:** Captura de gas metano y generación de energía en el tratamiento de lodos de las PTAR. La medida propone la instalación de digestores anaerobios para el tratamiento de los lodos provenientes de las PTAR. Asimismo, se plantea un sistema de recuperación del biogás para generar energía.

Esto quiere decir que el PLANCC tiene como estrategia fomentar las tecnologías anaerobias en el tratamiento de aguas residuales, así como la captura, quemado o uso del biogás generado.

#### **2.2.4.4. Diseño y construcción de las plantas de tratamiento de aguas residuales:**

Se evalúan los siguientes aspectos sobre el diseño y construcción de las PTAR:

- ✓ Disposición final del efluente.
- ✓ Tecnologías aplicadas.
- ✓ Infraestructura de las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- ✓ Información sobre el acceso a la energía eléctrica, infraestructura de operación y laboratorios en las PTAR.
- ✓ Manejo de Residuos Sólidos.

#### **2.2.4.5. Disposición final de los efluentes:**

- ✓ Vertimiento a un cuerpo natural.
- ✓ Vertimiento a canales de drenaje.
- ✓ Vertimiento a una quebrada seca.
- ✓ Falta del punto de vertimiento: Algunas PTAR a nivel nacional no cuentan con puntos de vertimiento, por ello el efluente forma humedales de infiltración en el suelo el cual podría generar efectos adversos en la napa freática. Este tipo de vertimiento no está normado, se recomienda darles un uso a estas aguas residuales ya tratadas.
- ✓ Reúso: Se considera reúso de efluentes de las PTAR, cuando no existan otras fuentes de agua disponibles para riego agrícola y otros usos.

#### **2.2.4.6. Medición del caudal del afluente y efluente:**

En la norma OS. 090 se establece la obligación de que cada PTAR cuente con un medidor de caudal del afluente. Actualmente el caudal del afluente de las PTAR se determina mediante equipos de medición o por medición indirecta.

Muchas EPS reportan sus caudales de operación sobre la base de una estimación del consumo de agua potable que es aproximadamente el 80%. No se puede aceptar este tipo de cálculo porque es necesario contar con este valor para la operación y evaluación de procesos de tratamiento de la PTAR.

En las PTAR se aplican los siguientes tipos de medición de caudal del afluente y son:

- ✓ Canaleta Parshall más ultrasonido (registro automático).
- ✓ Canaleta Parshall más radar (registro automático).
- ✓ Canaleta Parshall más pozo de registro y boya con indicador (registro manual).
- ✓ Canaleta Parshall más regla (registro manual).

- ✓ Sonda Doppler (registro automático).
- ✓ Medidor magnético-inductivo (registro automático).
- ✓ Método sección-velocidad (registro manual): se mide la velocidad del flujo y la superficie transversal del flujo.
- ✓ Método volumétrico (registro manual): balde-tiempo, se calcula el caudal según fórmula.
- ✓ Registro de horas de bombeo (registro manual): se debe conocer la capacidad de la bomba (verificar frecuentemente), para luego calcular el volumen bombeado en función del tiempo de trabajo de las bombas.

(SUNASS, 2015)

#### 2.2.4.7. Definición del grado de eficiencia:

El grado de eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales se define como: La reducción porcentual de indicadores apropiados, considerados en forma acumulativa o de determinadas sustancias. Para la determinación de la reducción se establece para el indicador específico, una relación entre la carga que fluye a la planta o a una unidad de ella y la correspondiente carga en el flujo de salida de la planta. Estas determinaciones se realizan en lapsos apropiados para las observaciones. En caso de existir varios puntos de ingreso o de egreso de las aguas residuales en la planta, la carga total se determina con base en las cargas parciales.

De este modo el grado de eficiencia se calcula como sigue:

Ecuación 1: Grado de eficiencia

$$\eta = \frac{F_z - F_A}{F_z} \times 100$$

En donde:

$\eta$  : Grado de eficiencia en porcentaje.

$F_z$  : Sumatoria de las cargas que ingresan a la planta.

$F_A$  : Sumatoria de las cargas en el flujo de salida de la planta.

El cálculo de las cargas requiere la determinación de las concentraciones de los indicadores escogidos, en las muestras tomadas de líquido en sitios representativos. Esto debe hacerse en combinación con la medición del correspondiente caudal.

Además, debe tenerse en cuenta que:



- ✓ Para emitir un criterio representativo, debe considerarse que cuanto más grandes sean las oscilaciones en el volumen y concentración del líquido de entrada y con esto, en la carga (volumen y concentración están a su vez condicionados por los ciclos de día y la noche, la semana y el tipo de producción), mayor deberá ser el periodo de observación. El periodo de observación debe ser mayor o igual a un ciclo.
- ✓ En caso de existir ciclos internos importantes, y dependiendo del objetivo establecido, debe considerarse la carga de estos ciclos en el cálculo del grado de eficiencia.
- ✓ En condiciones especiales, es posible determinar el grado de eficiencia por medio de una comparación de las concentraciones, siempre y cuando los volúmenes del líquido (de los cuales se obtuvo un grado de eficiencia), obtenidos en cada una de las mediciones, sean prácticamente los mismos.
- ✓ En la determinación del grado de eficiencia de las plantas de tratamiento biológico, los valores de DQO y DBO<sub>5</sub> juegan el papel más importante.
- ✓ En términos generales, la determinación de un grado de eficiencia para materia sedimentable no tiene sentido, debido a que el valor indicador del efecto de un tanque de sedimentación está dado solamente por la concentración del efluente.

(CAPRE, ANDESAPA, OPS/CEPIS,GTZ, 1988)

#### **2.2.4.8. Actividades de operación y mantenimiento rutinarios:**

Con la dirección y supervisión de un ingeniero, el trabajo rutinario de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento debe ser realizado por un operador con cierto grado de escolaridad que le permita asimilar algunos conceptos fundamentales que rigen el tratamiento de aguas residuales.

Entre las actividades rutinarias que debe realizar el operador están:

- ✓ Remover la arena que se retiene en los desarenadores y hacerles mantenimiento en general.
- ✓ Remover las natas, espumas, grasas y aceites que se acumulen en la parte superior del tanque de aireación y clarificador secundario utilizando un cedazo. Estos materiales deben almacenarse y disponerse adecuadamente para evitar los malos olores producto de su descomposición.
- ✓ Recoger las muestras del afluente y el efluente cuando sea necesario. Para ello debe seguir el procedimiento de muestra puntual o compuesta



- ✓ Realizar la evacuación de lodos del clarificador secundario a los espesadores cada que se requiera.
- ✓ Realizar el lavado con agua limpia de los filtros a presión en cada turno.
- ✓ Controlar la recirculación de lodos desde el clarificador secundario al tanque de aireación.
- ✓ Controlar el nivel de los lodos en los clarificadores secundarios para que no sean arrastrados con el efluente.

(HC Ingenieros, 2014)



### **3. Capítulo III: Metodología de la investigación.**

#### **3.1. Metodología de la investigación:**

##### **3.1.1. Tipo de investigación:**

El tipo de investigación es cuantitativa debido a que las variables son cuantificables numéricamente de acuerdo a sus indicadores, así también estableciendo escalas valorativas.

##### **3.1.2. Nivel de investigación:**

El nivel de la investigación es de nivel Descriptivo con alcance Exploratorio, debido a que describimos los parámetros que intervienen en la eficiencia de los sistemas de tratamiento, y para algunos el fenómeno de causalidad.

##### **3.1.3. Método de investigación:**

El método que se va a utilizar para la presente investigación es el hipotético - deductivo ya que se evalúa la realidad planteada en el problema para después dar una solución, determinando así la veracidad de la Hipótesis en las conclusiones.

#### **3.2. Diseño de la investigación:**

##### **3.2.1. Diseño metodológico:**

El diseño metodológico de la investigación es Observacional (no experimental) transversal, debido a que no existe manipulación de las muestras obtenidas en laboratorio a condiciones controladas, además fueron tomadas en un periodo de tiempo determinado.

##### **3.2.2. Diseño de ingeniería:**

Para la investigación se han tomado datos numéricos que son los indicadores de las variables de estudio; para la determinación de caudales, parámetros de calidad (físicos, químicos y bacteriológicos) del agua residual en el ingreso y salida de los sistemas de tratamiento, dimensionamiento de estructuras, datos meteorológicos.

Después se procederá con el trabajo de gabinete para el cálculo de la eficiencia para dar paso a la discusión y finalmente a las conclusiones de los objetivos alcanzados.

La representación se verifica en la siguiente imagen:



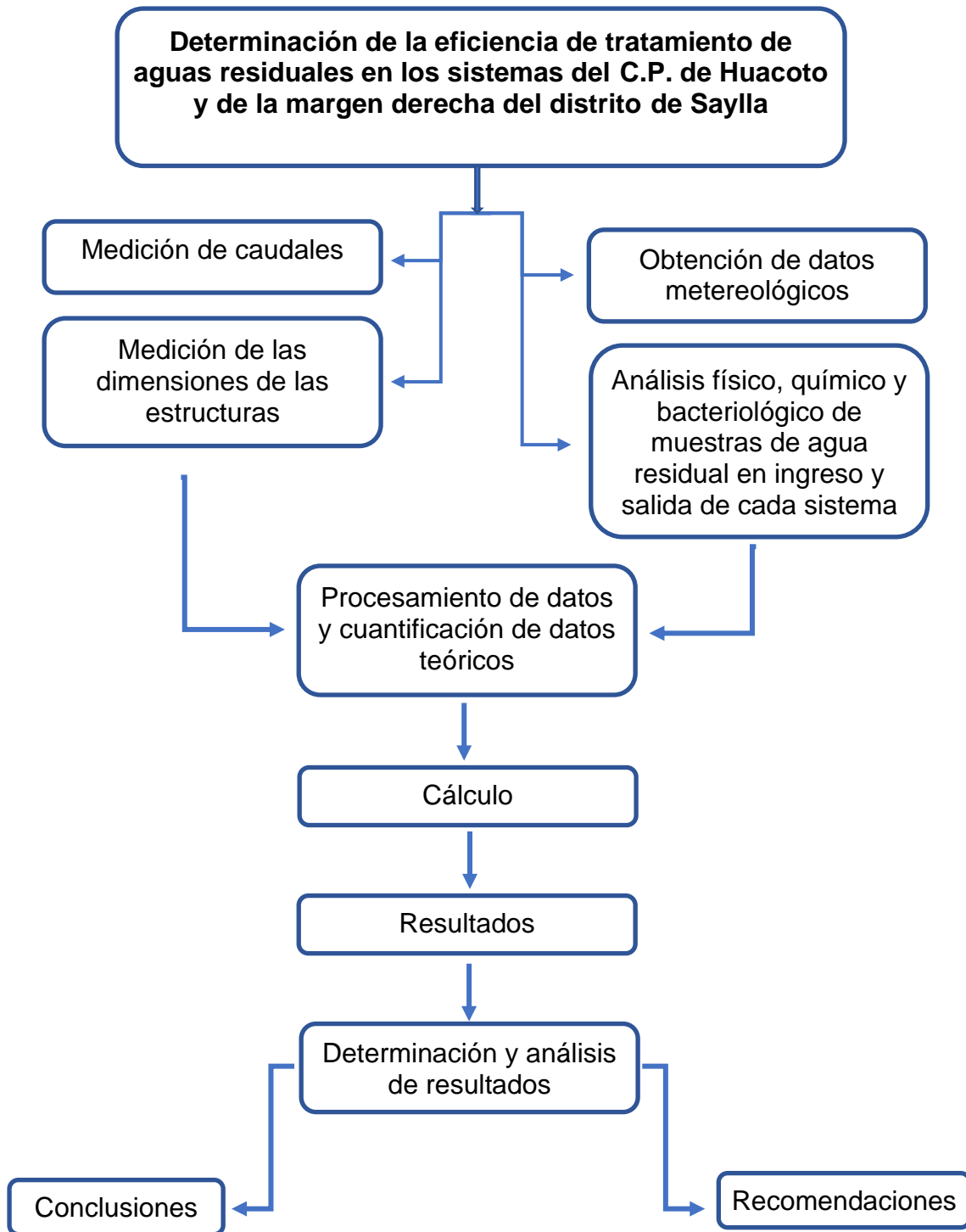


Figura 8: Diseño de ingeniería.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



### **3.3. Población y muestra:**

#### **3.3.1. Población:**

La población para la determinación de la eficiencia en la investigación son los sistemas de tratamiento de aguas residuales en los poblados de C.P. Huacoto y la planta ubicada en la margen derecha del río Huatanay del Distrito de Saylla.

#### **3.3.2. Muestra:**

##### **3.3.2.1. Descripción de la muestra:**

En la presente investigación la población de estudio es igual a la muestra de estudio que son los sistemas de tratamiento de aguas residuales en los poblados de C.P. Huaccoto y la planta ubicada en la margen derecha del río Huatanay del distrito de Saylla.

##### **3.3.2.2. Método de muestreo:**

El método de muestreo comprende al grupo de los no probabilísticos, debido a que fueron obtenidos de manera intencional, de acuerdo a las necesidades de la investigación.

##### **3.3.2.3. Criterios de evaluación de muestra:**

Las muestras están conformadas por los distintos parámetros de eficiencia en cada sistema de tratamiento de aguas residuales en el C.P. de Huaccoto y el sistema de tratamiento en la margen derecha del distrito de Saylla.

Para la determinación de los parámetros de calidad del agua residual se siguieron los protocolos indicados por el laboratorio según norma, para los demás parámetros también se siguieron los datos en períodos determinados de tiempo y espacio.

Esto da como resultado la confiabilidad, veracidad y reproducibilidad de la investigación presentada.

#### **3.3.3. Criterios de inclusión:**

Dentro de la investigación se incluirá datos obtenidos de los expedientes técnicos elaborados por los administradores de los sistemas de tratamiento, así como también los datos meteorológicos, población actual y futura según censos para la determinación teórica de

algunos parámetros y la comparación de los mismos con respecto a los datos obtenidos en campo.

### 3.4. Instrumentos empleados en la investigación:

#### 3.4.1. Instrumentos metodológicos:

Tabla 9: Cadena de custodia de muestras para análisis en laboratorio.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
UAC					
CADENA DE CUSTODIA DE MUESTRAS DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE					
<b>TESISTA:</b>	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO			Fecha:	
<b>LUGAR:</b>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE				
<b>MUESTRAS OBTENIDAS PARA:</b>	LABORATORIO LUIS PASTEUR				
Código	Fecha de toma de muestra	Hora	Volumen (ml)	Tipo de muestra	
Frasco de vidrio entrada 001					
Frasco de polietileno entrada 001					
Frasco de polietileno entrada 001					
Frasco de polietileno entrada 001					
Frasco de polietileno entrada 001					
Frasco de vidrio salida 001					
Frasco de polietileno salida 001					
Frasco de polietileno salida 001					
Frasco de polietileno salida 001					
Frasco de polietileno salida 001					

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Tabla 10: Resultados de los parámetros físico, químico, bacteriológico de cada sistema.

UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	
UAC					
RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS FÍSICO, QUÍMICO Y BACTERIOLÓGICOS EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE					
<b>TESISTA:</b>	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO				
<b>LUGAR:</b>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				
<b>FECHA:</b>					
Fecha de toma de muestra	Ensayo (s)	Unidad	Resultado (s) Ingreso a Sistema	Resultado (s) Salida de Sistema	
	Coliformes Fecales	NMP/100 ml			
	DBO <sub>5</sub>	mg/L			
	DQO	mg/L			
	Sólidos totales en suspensión	mg/L			
	Aceites y grasas	mg/L			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA





Tabla 11: Tabla para medición de caudales en el sistema de tratamiento del distrito Saylla.

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 											
CUADRO PARA MEDICIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE SAYLLA											
<b>TESISTA:</b>	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO										
<b>LUGAR:</b>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES										
<b>FECHA:</b>											
Hora	Ancho (m)	Altura (m)	Area (m <sup>2</sup> )	Distancia (m)	Tiempo (seg)					Velocidad (m/seg)	CAUDAL (m <sup>3</sup> /seg)
					t1	t2	t3	t4	t5		
05:40 a.m.											
05:50 a.m.											
06:00 a.m.											
06:10 a.m.											
06:20 a.m.											
06:30 a.m.											
06:40 a.m.											
06:50 a.m.											
07:00 a.m.											
07:10 a.m.											
07:20 a.m.											
07:30 a.m.											
07:40 a.m.											
07:50 a.m.											
08:00 a.m.											
08:10 a.m.											
08:20 a.m.											
08:30 a.m.											
08:40 a.m.											
08:50 a.m.											
09:00 a.m.											


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla 12: Tabla para medición de caudales en el sistema de tratamiento de Huacoto

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>UAC ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 								
<b>CUADRO PARA MEDICIÓN DE CAUDALES EN EL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE HUACOTO</b>								
<b>TESISTA:</b>		Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO						
<b>LUGAR:</b>		PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES					<b>Fecha:</b>	
<b>FECHA:</b>								
Hora	Volumen (gln)	Volumen (lts)	Tiempo (seg)					CAUDAL (lt/seg)
			t1	t2	t3	t4	t5	
05:40 a.m.								
05:50 a.m.								
06:00 a.m.								
06:10 a.m.								
06:20 a.m.								
06:30 a.m.								
06:40 a.m.								
06:50 a.m.								
07:00 a.m.								
07:10 a.m.								
07:20 a.m.								
07:30 a.m.								
07:40 a.m.								
07:50 a.m.								
08:00 a.m.								
08:10 a.m.								
08:20 a.m.								
08:30 a.m.								
08:40 a.m.								
08:50 a.m.								
09:00 a.m.								

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla 13: Tabla de dimensiones de estructuras en los sistemas de tratamiento.

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 							
<b>DIMENSIONES DE ESTRUCTURAS DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN HUACOTO</b>							
<b>TESISTA:</b>	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO						
<b>LUGAR:</b>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES						
Tipo de Estructura	Cota	Cantidad		Ancho	Largo	Altura	Aberturas

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Tabla 14: Tabla de datos metereológicos en los sistemas de tratamiento.

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL</b> 		
<b>DATOS METEREOLÓGICOS DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE</b>		
<b>TESISTA:</b>	Bach. HUGO CAMILO AMADOR CHALLCO	<b>Fecha:</b>
<b>LUGAR:</b>	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	
Hora	Temperatura de fluido C°	Temperatura ambiente C°
05:40 a.m.		
05:50 a.m.		
06:00 a.m.		
06:10 a.m.		
06:20 a.m.		
06:30 a.m.		
06:40 a.m.		
06:50 a.m.		
07:00 a.m.		
07:10 a.m.		
07:20 a.m.		
07:30 a.m.		
07:40 a.m.		
07:50 a.m.		
08:00 a.m.		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



### 3.4.2. Instrumentos de Ingeniería:

- ✓ Implementos de protección personal.



Figura 9: Mameluco de cuerpo entero.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 10: Guantes de jebe.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA





Figura 11: Botas de jebe.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 12: Guantes quirúrgicos.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA





Figura 13: Mascarilla.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 14: Instrumentos de seguridad.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



- ✓ Instrumentos para toma de muestras de agua residual para análisis físicos, químicos y bacteriológicos.



Figura 15: Nevera portátil.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 16: Frascos de plástico y vidrio de diferentes volúmenes.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 17: Conservante, ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



Figura 18: Conservante, paquetes de hielo.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



- ✓ Instrumentos para medición de caudales.



Figura 19: Balde de un galón.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

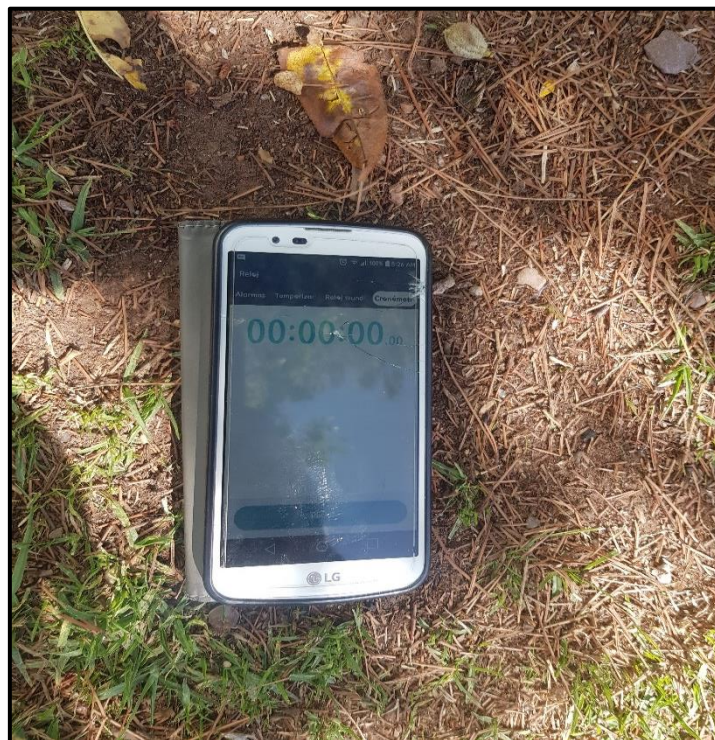


Figura 20: Cronómetro.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA





Figura 21: Cinta métrica (wincha).

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

✓ Instrumentos para medición de estructuras.



Figura 22: Nivel de ingeniero, trípode y mira metálica.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- ✓ Instrumentos para recolección de datos meteorológicos.

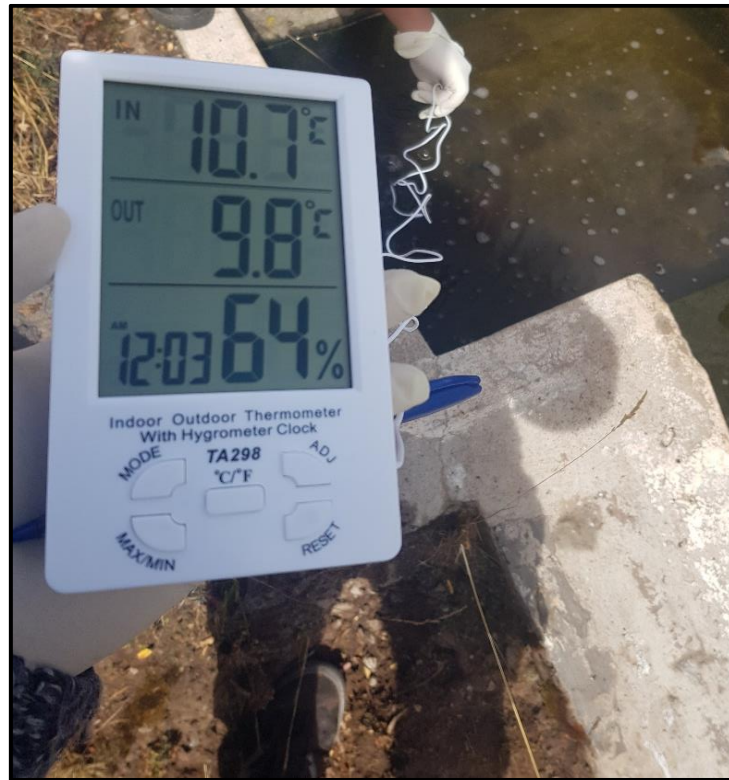


Figura 23: Medidor de temperatura ambiente y de fluido.  
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 3.5. Procedimiento de recolección de datos:

#### 3.5.1. Determinación de calidad de agua residual pre y post tratamiento:

##### 3.5.1.1. Equipos:

- ✓ Mameluco de cuerpo entero
- ✓ Botas de jebe
- ✓ Guantes de jebe
- ✓ Mascarilla
- ✓ Guantes quirúrgicos
- ✓ Nevera portátil
- ✓ Frascos de plástico y de vidrio
- ✓ Conservante, ácido sulfúrico
- ✓ Paquetes de hielo.