



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DE  
LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL ÁREA  
METROPOLITANA DE GUATEMALA: EL CASO DE LA PLANTA DE CIUDAD PERONIA**

**Angélica del Carmen Piló Poz**

Asesorado por el Msc. Ing. Renato Giovanni Ponciano Sandoval

Guatemala, febrero de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DE  
LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL ÁREA  
METROPOLITANA DE GUATEMALA: EL CASO DE LA PLANTA DE CIUDAD PERONIA**

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ANGÉLICA DEL CARMEN PILÓ POZ**

ASESORADO POR EL MSC. ING. RENATO GIOVANNI PONCIANO SANDOVAL

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, FEBRERO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía
EXAMINADOR	Ing. Erwin Manuel Ortiz Castillo
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas



## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de diseño de investigación titulado:

**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DE  
LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL ÁREA  
METROPOLITANA DE GUATEMALA: EL CASO DE LA PLANTA DE CIUDAD PERONIA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Posgrado, con fecha enero de 2013



**Angélica del Carmen Piló Poz**





Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

**ADSE-MEAPP-0006-2013**

Guatemala, 24 de enero de 2013.

Director:  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Director:

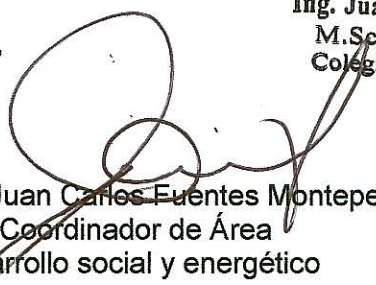
Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación del estudiante **Angélica del Carmen Piló Poz** con carné número **1999-11355**, quien opto la modalidad del **“PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO”**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

“Id y enseñad a todos”

  
Renato Giovanni Ponciano Sandoval  
INGENIERO QUÍMICO  
Msc. Ing. Renato Giovanni Ponciano S.  
Asesor (a)

  
Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colégiado No. 2,504  
Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

  
Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado  


Cc: archivo  
/la





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **ANGÉLICA DEL CARMEN PILÓ POZ** titulado: "**DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUATEMALA: EL CASO DE LA PLANTA DE CIUDAD PERONIA**". Procedé a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química

Guatemala, febrero 2013



Cc: Archivo  
VMMV/ale





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE OPERACIÓN DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL ÁREA METROPOLITANA DE GUATEMALA: EL CASO DE LA PLANTA DE CIUDAD PERONIA**, presentado por la estudiante universitaria: **Angélica del Carmen Piló Poz**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Orlympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 13 de febrero de 2013

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por estar siempre conmigo, por darme fuerza, inteligencia, perseverancia y su amor en cada paso de mi vida.
<b>Mi mamá</b>	María Poz, pilar de mi vida. Te amo y te agradezco este triunfo, que es tuyo.
<b>Mi abuela</b>	Teresa Iboy, por brindarme su amor, experiencia y sabiduría en cada momento de mi vida.
<b>Mis hermanas</b>	Rosa, Lilian y Marielita Piló Poz, por su apoyo incondicional y su ejemplo que siempre he de seguir. Las amo.
<b>Mis sobrinas y sobrino.</b>	Gabriela y Amy Herrera Piló, y Nicolas Mendoza Piló. Por ser mis angelitos y maravillarme mi vida cuando me regalan su sonrisa de amor.
<b>Mis cuñados</b>	José Herrera y Víctor Mendoza, por ser parte de mi familia y brindarme su apoyo, en cada momento que lo necesité.





## **AGRADECIMIENTOS A:**

**La Universidad de San  
Carlos de Guatemala**

Gracias por ser mi casa de estudios y por permitirme ser parte de ella.

**Facultad de Ingeniería**

Gracias por darme el conocimiento necesario y lograr alcanzar esta meta.

**Mis amigos de la  
Facultad de Ingeniería**

Merari Velásquez, Alejandra Morales, Ronald Rodríguez, Daniela Velásquez, Evelin Palacios, Edgar Murga, Lilian Velásquez, Italo Leal, Rosmery Agustin, Walter González. Y a todos mis amigos que comparten conmigo su amistad y cariño.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS.....	VII
GLOSARIO.....	IX
RESUMEN .....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	5
3. OBJETIVOS .....	9
4. JUSTIFICACIÓN .....	11
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	13
6. ALCANCES .....	15
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	17
7.1. Agua .....	17
7.1.1. Contaminantes del agua y sus fuentes.....	17
7.1.1.1. Fuentes puntuales .....	17
7.1.1.2. Fuentes no puntuales .....	18
7.1.1.3. Material que demanda oxígeno .....	18
7.1.1.4. Nutrientes .....	18
7.1.1.5. Microorganismos patógenos.....	19

	7.1.1.6.	Sólidos suspendidos .....	19
	7.1.1.7.	Sales .....	19
	7.1.1.8.	Metales tóxicos y compuestos orgánicos tóxicos.....	19
	7.1.1.9.	Sustancias que trastornan el sistema endocrino.....	20
	7.1.1.10.	Calor.....	20
7.2.		Aguas residuales.....	20
	7.2.1.	Tipos de aguas residuales.....	20
	7.2.2.	Características de las aguas residuales domésticas .....	21
		7.2.2.1. Características físicas .....	22
		7.2.2.2. Características químicas .....	22
	7.2.3.	Razones para su tratamiento .....	23
7.3.		Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales .....	25
	7.3.1.	Parámetros químicos .....	25
		7.3.1.1. Oxígeno disuelto .....	25
		7.3.1.2. Nitrógeno.....	26
		7.3.1.3. Fósforo .....	27
		7.3.1.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	28
		7.3.1.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	28
		7.3.1.6. Relación entre DBO y DQO.....	34
		7.3.1.7. Aceites y grasas .....	35
		7.3.1.8. Metales pesados .....	35
		7.3.1.9. Sustancias tensoactivas .....	35
		7.3.1.10. Potencial de hidrógeno (pH).....	36
	7.3.2.	Parámetros físicos.....	37

	7.3.2.1.	Temperatura .....	37
	7.3.2.2.	Sólidos sedimentados.....	37
	7.3.2.3.	Sólidos totales .....	38
	7.3.2.4.	Sólidos en suspensión.....	38
	7.3.3.	Parámetro biológico.....	38
	7.3.3.1.	Clasificación de los microorganismos..	38
7.4		Sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	39
	7.4.1.	Operaciones unitarias de tratamiento previo .....	40
	7.4.1.1.	Rejas de barra .....	40
	7.4.1.2.	Cámaras de desarenado .....	41
	7.4.1.3.	Desmenuzadores.....	41
	7.4.1.4.	Igualación .....	41
	7.4.2.	Tratamiento primario.....	43
	7.4.3.	Procesos unitarios de tratamiento secundario .....	44
	7.4.3.1.	Descripción general .....	44
	7.4.3.2.	Papel de los microorganismos.....	44
	7.4.3.3.	Tratamiento biológico secundario .....	45
	7.4.3.4.	Procesos del tratamiento biológico aeróbico.....	47
	7.4.3.5.	Disposición de lodos.....	49
7.5		Tratamiento avanzado de aguas residuales (terciario).....	50
	7.5.1.	Tendencias de futuro en tecnologías de tratamiento.....	50
	7.5.1.1.	Tratamiento biológicos.....	51
	7.5.1.2.	Tratamientos con membranas .....	51
	7.5.1.3.	Tecnologías de oxidación .....	53
	7.5.1.4.	Tecnologías de intercambio iónico .....	53
	7.5.1.5.	Tecnologías electroquímicas .....	54
	7.5.1.6.	Tecnologías de adsorción.....	54

	7.5.1.7.	Filtros verdes Wetlands .....	55
	7.5.2.	Tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales .....	56
8.	HIPÓTESIS .....		63
	8.1	Hipótesis estadística .....	63
9.	CONTENIDO .....		65
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS .....		69
	10.1.	Establecimiento de puntos de muestreo .....	69
	10.2.	Número de muestras a tomar y parámetros a determinar.....	70
	10.3.	Procedimiento de muestreo .....	71
	10.4.	Frascos para muestreo y almacenamiento .....	71
	10.5.	Análisis de laboratorio .....	72
	10.6.	Medición de caudales generados.....	72
	10.7.	Método estadístico .....	72
	10.8.	Elaboración de guía de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales .....	76
11.	CRONOGRAMA .....		79
12.	RECURSOS.....		81
13.	BIBLIOGRAFÍA.....		83

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1	Situación actual de las aguas residuales en Guatemala .....	6
2	Inventario de alcantarillado, tratamiento y uso de aguas residuales en Guatemala.....	7
3	Diagrama de la planta de tratamiento de aguas residuales Ciudad Peronia .....	69
4	Representación gráfica del método estadístico para análisis de los parámetros fisicoquímicos examinados .....	76

### TABLAS

I	Comparación de relaciones de parámetros DBO <sub>5</sub> /DQO utilizados para caracterizar aguas residuales.....	34
II	Principales procesos biológicos empleados en la depuración de aguas residual.....	45
III	Matriz de distribución de frecuencias, aplicación del método estadístico para análisis de caudales.....	75
IV	Factores y variables considerados en el proceso de selección de tecnología para tratamiento de aguas residuales por métodos naturales.....	78
V	Cronograma de actividades de investigación.....	79
VI	Costo en quetzales de cada recurso a utilizar.....	81





## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$\Delta V$	Cambio de volumen de agua residual
$Q_{sal}$	Caudal de salida
$\theta$	Coefficiente de temperatura.
$OD_{m,t}$	Concentración de oxígeno disuelto en la muestra después de t días de incubación ( $mg \cdot L^{-1}$ )
$OD_{5,t}$	Concentración de oxígeno disuelto en el testigo después de 5 días de incubación ( $mg \cdot L^{-1}$ )
$OD_{t,t}$	Concentración de oxígeno disuelto en el testigo después de t días de incubación ( $mg \cdot L^{-1}$ )
$OD_{m,i}$	Concentración de oxígeno disuelto inicial de la muestra
$OD_{t,i}$	Concentración de oxígeno disuelto inicial del testigo (semilla) de control
$k$	Constante promedio de velocidad de reacción
$k_{20}$	Constante de velocidad de DBO determinada a 20°C ( $días^{-1}$ )
$k_T$	Constante de velocidad de DBO a la temperatura de interés ( $días^{-1}$ )
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno
<b>P</b>	Factor de dilución
$[H^+]$	Ión hidrógeno
$Log_{10}$	Logaritmo base diez.

<b>m</b>	Número de dato observado
<b>n</b>	Número total de datos observados
<b>N/M</b>	Nutriente/Microorganismos
<b>pH</b>	Potencial de Hidrógeno
<b>f</b>	Relación de semilla en la muestra diluida entre semilla en el testigo. (porcentaje de semilla en la muestra diluida)/(porcentaje de semilla en el control); (volumen de la semilla en la muestra diluida)/(volumen de la semilla en el testigo)
<b>t</b>	Tiempo de incubación, días
<b>T</b>	Temperatura de interés (°C)
<b>L<sub>o</sub></b>	Última DBO o la cantidad máxima de oxígeno posible consumido en la reacción
	Para estadística porcentaje de probabilidad
<b>V<sub>ent</sub></b>	Volumen en la entrada
<b>V<sub>sal</sub></b>	Volumen en la salida

## GLOSARIO

<b>AMSA</b>	Autoridad para el Manejo Sustentable de la Cuenca del Lago de Amatitlán
<b><i>Biological treatment</i></b>	Tratamiento biológico
<b>COCODE</b>	Consejo Comunitario de Desarrollo
<b>EDI</b>	Electrodesionización
<b>EDR</b>	Electrodialisis reversa
<b>FP</b>	Filtro Percolador
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2(ac)</sub></b>	Peróxido de hidrógeno acuoso
<b><i>Industrial waste water</i></b>	Aguas residuales industriales
<b>INE</b>	Instituto Nacional de Estadística
<b>INFOM</b>	Instituto de Fomento Municipal
<b>MF</b>	Microfiltración
<b>NF</b>	Nanofiltración

<b>OI</b>	Osmosis inversa
<b><i>Oxidation</i></b>	Oxidación
<b><i>Physical-chemical</i></b>	Físico – químico
<b>RAFA</b>	Reactor Anearobio de Flujo Ascendente
<b>SDT</b>	Sólidos disueltos totales
<b><i>Standard Methods for the Eximanation of water and waste water</i></b>	Métodos estándar para el análisis de aguas y aguas residuales
<b>TiO<sub>2(s)</sub></b>	Dióxido de titanio sólido
<b>UF</b>	Ultrafiltración
<b>UNEPAR</b>	Unidad Ejecutora de Acueductos Rurales
<b>UV</b>	Radiación ultra violeta
<b><i>Water Resources</i></b>	Recursos Hídricos
<b><i>Water reuse/recycling</i></b>	Agua de reuso/reciclaje
<b><i>Zero discharge</i></b>	Vertido cero

## **RESUMEN**

El presente diseño de investigación, se realizó con el objetivo de seleccionar una alternativa tecnológica de tratamiento de agua residual con base a los parámetros físicos y químicos que se obtengan en el análisis del desempeño de la planta de tratamiento de agua residual, ubicada en Ciudad Peronia.

Para lo cual se deberá determinar la magnitud de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento secundario del proceso de tratamiento de agua residual de la planta de Ciudad Peronia.

Como resultado se deberá establecer un documento guía para la selección de una alternativa tecnológica apropiada para la reconversión de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, situadas en el área metropolitana, que les permita cumplir con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006. En base al análisis de la planta de Ciudad Peronia.

Para ello, se empleará la metodología que presenta Bernal a.t. (s.f.), para el tratamiento de aguas residuales por métodos naturales. En base a criterios social, económico y ambiental.



# 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente Guatemala cuenta con un Acuerdo Gubernativo 236-2006, que establece criterios y requisitos que deben cumplirse para la descarga y/o reutilización de aguas residuales. Lo anterior se logra por medio de un conjunto de operaciones que se llevan a cabo en una planta de tratamiento, cuyo objetivo principal es mejorar la calidad del agua residual.

Guillermo (2003), presenta un inventario como antecedente de la situación actual de las plantas de tratamiento de agua residual en toda Guatemala, donde acierta de igual manera con el reporte que presenta el Instituto de Fomento Municipal (INFOM, 2008), el cual establece que solamente el 2 por ciento de las tuberías de agua residual están conectadas a una planta de tratamiento. El 1 por ciento se encuentra en el área metropolitana y el otro 1 por ciento en algunas cabeceras municipales. A la situación descrita anteriormente hay que añadirle la problemática económica de las municipalidades, debido a que muchas de ellas no han activado aquellas plantas de tratamiento que actualmente tienen a su disposición. Omitiendo de esta forma el mantenimiento de la infraestructura, así como el control de la operación.

Con la perspectiva de generar una guía para una posible solución sostenible a la situación de las plantas de tratamiento de agua residual en Guatemala. Esta investigación tiene como objetivo realizar la evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual, ubicada en Ciudad Peronia, Villa Nueva, para determinar parámetros de diseño que sean aplicables a cada alternativa tecnológica de tratamiento que se tiene al alcance en Guatemala.

En la actualidad existe una variedad de alternativas tecnológicas para el tratamiento de agua residual proveniente de los hogares. Esto se da con el objetivo de reducir los espacios territoriales y/o la reestructuración del proceso convencional.

Ambientalmente se busca cubrir toda la demanda de agua residual que no recibe tratamiento, y darle una calidad que permita el desecho libre a los ríos sin problema de contaminar, o bien la reutilización en aplicaciones como la agricultura.

Tanto los procesos convencionales, como los tecnológicos modernos utilizan los parámetros fisicoquímicos establecidos, los cuales son: la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Con dichos parámetros se determina la cantidad de contaminación orgánica e inorgánica que contiene el agua residual al entrar a una planta de tratamiento, así como establecen la eficiencia de la misma, debido a que después del tratamiento el agua residual debe cumplir con rangos establecidos por la legislación de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

Para definir el tipo de tratamiento que debe recibir el agua residual, se debe conocer también: la temperatura, el potencial de hidrógeno (pH), sólidos disueltos, sólidos suspendidos, concentración de nitrógeno, fósforo y carbono.

Para tener una base de conocimiento científico se realizó el marco teórico, el cual está compuesto por los principios ingenieriles que son aplicados a las plantas de tratamiento de aguas residuales. Ya sea para mejorar la calidad de agua o para innovar tecnológicamente los procesos de tratamiento.



Este trabajo establecerá una alternativa tecnológica apropiada y disponible en Guatemala de tratamiento de agua residual doméstica, aplicada a la planta de tratamiento de Ciudad Peronia, que regule los indicadores de contaminación en el agua residual doméstica según los parámetros de referencia. Acuerdo Gubernativo 236 – 2006.

La metodología y técnicas a utilizar, son enfocadas al diagrama de la planta de tratamiento de agua residual de Ciudad Peronia, estableciendo tres puntos de muestreo con objeto de determinar los parámetros de diseño a utilizar para la formación de la guía de selección tecnológica.

Y como parte de la interpretación de los datos a analizar se conceptualiza el método estadístico del papel probabilístico, uno de los más utilizados para la presentación de datos de calidad de agua. Así como uno de los métodos estadísticos de mayor aplicación en la Ingeniería ambiental.



## 2. ANTECEDENTES

La gestión social del agua y de su saneamiento, ha desempeñado un importante papel en la normativa guatemalteca. En materia de saneamiento se cuenta con el código de salud, decreto No.90-97, Sección III, Artículos 92, 93 y 94. Que puntualiza la responsabilidad de las municipalidades en el otorgamiento de infraestructura para el tratamiento de excretas, aguas residuales y servidas, asegurando la cobertura universal.

En el campo de la depuración de aguas residuales, Guatemala también cuenta con el Acuerdo Gubernativo No. 236-2006 (2006) y el Acuerdo Gubernativo no. 51-2010 (2010), para la protección y mejoramiento del medio Ambiente, manteniendo el equilibrio ecológico a fin de mejorar la calidad de vida de los habitantes del país. Así como prevenir, controlar y determinar los niveles de contaminación de los ríos, lagos y mares.

De acuerdo con la información oficial del Instituto Nacional de Estadística (INE, 2012), Guatemala cuenta en el 2011 con una proyección de población de un total de 14 713 763 habitantes. El 33 por ciento de la población viven en 249 ciudades, con más de 2 000 habitantes. En 180 ciudades muy pequeñas viven 876 297 personas; en 65 ciudades pequeñas, habitan 1 328 092 personas; en ciudades intermedias, 617 973 personas y en la capital, habitan 1 015 304 personas.

Sanchez (2001, p. 3), establece que las coberturas en cuanto a servicios de alcantarillado, en promedio, son: 59,13 por ciento para las ciudades muy pequeñas; 63,9 por ciento para las ciudades pequeñas; 81,8 por ciento para las

ciudades intermedias y 85,4 por ciento para la única ciudad grande. Existen redes de alcantarillado en 223 de las 249 ciudades consideradas. Información proporcionada por las municipalidades, centros de salud y otras instituciones locales. Las instituciones centrales como el INFOM/UNEPAR, el Ministerio del Ambiente y Recursos Naturales, el Ministerio de Salud y otras no cuentan con datos concretos en este campo (ver figura 1).

Figura 1. **Situación actual de las aguas residuales en Guatemala**

Categoría de las ciudades	Tamaño de población (miles de habitantes)	Número de ciudades	Población urbana (miles de habitantes)	Dotación de agua potable l/hab/día	Población servida con red de alcantarillado (%)	Agua residual con tratamiento (%)
Muy pequeña	De 2 a 10	180	876,3	165	59,1	12
Pequeña	de 10 a 100	65	1.328,1	200	63,9	2,3
Intermedia	De 100 a 1.000	3	618,0	225	81,8	1,7
Grande	Mayor de 1.000	1	1.015,3	280	85,4	12
<b>TOTAL</b>		<b>249</b>	<b>3.837,7</b>			

Fuente: Sánchez (2001) Estudio general del caso Sololá, Guatemala. p. 4.

Según la división de manejo de desechos líquidos (AMSA, 2009), la descarga de aguas residuales para las ciudades metropolitanas, oscila entre 165 a 280 litros por habitante por día, dependiendo de la condición de la planta de tratamiento que puede estar en rehabilitación o parada por proceso legal (ver figura 2).

Figura 2. Inventario de alcantarillado, tratamiento y uso de aguas residuales en Guatemala

No.	Nombre de la ciudad	Estado/Provincia	Población urbana (miles de hab)	Dotación de agua potable l/hab/día	Red de alcantarillado		Planta de tratamiento de agua residual			Datos del efluente de la planta			Uso agrícola del agua residual		
					Población servida (%)	Deposición final	Nombre de la planta	Tipo de tecnología	Superficie (m <sup>2</sup> )	Calidad (CF/100 ml)	Lugar de disposición	Caudal (0.3)	Superficie (ha)	Caudal (0.3)	Superficie (ha)
2	Mixco	Guatemala	302.4	280	85.0	Trata	666	El Tesoro San Cristóbal I	TI			Río Zanjón	10		
						Trata		Ciudad Perceña	RAFAFP			Agri	11	Pasto area verde	11
3	Villa Canales	Guatemala	8.1	220	61.0	Trata	10.1	Sta. Elena Bari	RAFAFPSS			Río	16		
						Trata		Villa Canales	LaEs	13.840		Río	10.5		
						Trata		Boca del Monte	LaEs			Río			
4	Guastatoya	El Progreso	6.5	200	83.7	Trata	9.5	Guastatoya I	LaEs/Inf	16.200	3.00E+05	Agri	6.5	Pastos forraje	
						Trata		Guastatoya II	ILFP/LaEs	104	3.00E+05	Pastos abs.	3		
5	Sanarate	El Progreso	12.6	180	81.2	Trata	17.0	Sanarate I	FS			Agri	1	Pastos forraje	1
								Sanarate II	TI		4.00E+08	Agri	15	Pastos forraje	NSS
								Sanarate III	FS			Agri	1	Pastos forraje	1
6	San Agustín Acas.	El Progreso	6.1	150	30.0	Trata	4	San Agustín Acas.	FS				2.4		
7	San Juan Comalapa	Chimelanguo	21.9	150	80.0	Trata	24.0	San Juan Comalapa	S/FP/SS			Río	13		
8	Patzún	Chimelanguo	18.7	150	48.6	Trata	12.6	Patuzún	LaEs	1.400			0.9		
9	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla	30.1		68.0	Trata		Sta. Lucía Coz.	LaEs					Pastos forraje	
10	Tiquisate	Escuintla	14.6	200	90.7	Trata	24.5	Tiquisate I	TI		1.00E+08	Agri	16	Pastos forraje	
								Tiquisate II	IL/FS		1.00E+08	Agri	6	Pastos forraje	
11	Casillas	Santa Rosa	2.0	180	80.6	Trata	2.7	Casillas	TI/LaEs	1.900		Río/Agri	2.7		
12	Taxisco	Santa Rosa	6.0	180	84.4	Trata	8.5	Taxisco I	TI						
								Taxisco II	TI						

Fuente: Sánchez (2001) Estudio General del caso Sololá, Guatemala. p. 6.

El municipio de Villa Nueva, se encuentra al norte del lago de Amatitlán, y es uno de los siete municipios con mayor influencia en el deterioro del lago. Villa Nueva cuenta con varias colonias; una de ellas es Ciudad Peronia, que se localiza en la parte suroeste de la Ciudad de Guatemala, a unos 14 kilómetros, colinda al norte con los municipios de Mixco y Guatemala, al sur con Villa Nueva, al este con San Lucas Sacatepéquez y Milpas Altas. Cuenta con dos ríos: Parrameño que proviene del municipio de Milpas Altas, se encuentra al sur de ciudad Peronia y se une con el río Villa Lobos y el río San Lucas que nace en el municipio de San Lucas Sacatepéquez y pasa por los municipios de Mixco y Villa Nueva. Este río se une al sur en el caserío Villalobos en el río Molino. Conectándose de esa manera al lago de Amatitlán.

Ciudad Peronia cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo de tecnología RAFA/FP (RAFA = Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente; FP = Filtro Percolador) y un caudal de 11 litros por segundo. Como se observa en la figura 2.

Morán (2011, P.12) cita en su anexo, uno que actualmente AMSA, ha rehabilitado 3 plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, siendo estas: Nimajuyu, Villalobos II y el Mezquital. Y quiere rehabilitar 7 plantas más, siendo éstas: lagunas de estabilización de Villa Canales, Santa Isabel, Planta Aurora II, Ciudad San Cristóbal, Ciudad Peronia, San Jacinto y Berlín. Indicando la posibilidad del estudio de evaluación de la planta de tratamiento de agua residual ubicada en Ciudad Peronia con la actual tecnología y plantear una alternativa tecnología.

### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Evaluar las condiciones actuales de operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales del área metropolitana de Guatemala, tomando como referencia la planta de ciudad Peronia.

#### **Específicos**

1. Determinar la magnitud de los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento secundario del proceso de tratamiento de agua residual de la planta de Ciudad Peronia.
2. Establecer si el efluente final de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Peronia, cumple con los límites máximos permisibles del Acuerdo Gubernativo 236-2006.
3. Establecer un documento guía para la selección de una alternativa tecnológica apropiada para la reconversión de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas situadas en el área metropolitana, que les permita cumplir con los parámetros establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.





## 4. JUSTIFICACIÓN

El siguiente trabajo de investigación tiene gran importancia, debido a que actualmente Guatemala cuenta con varias plantas de tratamiento de agua residual en planes de rehabilitación por la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y del Lago de Amatitlán (AMSA).

Sanchez (2001) en sus antecedentes y justificación, refiere la tabla no. 3; inventario de alcantarillado, tratamiento y uso de aguas residuales en todas las ciudades de Guatemala, donde se observan los nombres y tecnologías de todas las plantas de tratamiento de agua residual; de las cuales no se completó los datos por la falta de información de parte de las autoridades competentes. Esto demuestra el abandono y descuido que se ha tenido en relación al tratamiento de desechos líquidos y la protección ambiental.

La preocupación por el ambiente desempeña un papel cada vez más importante en la selección y diseño de los sistemas de tratamiento de agua residual. Actualmente se encuentran solicitudes de proyectos de construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en base a un diagnóstico ambiental, los cuales son requeridos a las municipalidades (COCODE, 2010, p. 9), dejando en el abandono aquellas plantas de tratamiento con infraestructura establecida.

Caso oportuno para realizar un estudio técnico de los parámetros de calidad de agua residual de la planta de tratamiento de Ciudad Peronia, actualmente deshabilitada (Morán, 2001,) y operación precaria (COCODE, 2010, p.5) y determinar si cumplen con los parámetros que establece el

Acuerdo Gubernativo 236-2006. Los resultados serán parámetros de diseño, que permitirán establecer con criterios científicos, una alternativa tecnológica apropiada para la conversión de las unidades de tratamiento secundario de agua residual y cumplir o hacer cumplir los parámetros permisibles y rehabilitar la planta en un período tiempo de 10 años.

La selección de la alternativa tecnológica de tratamiento secundario de aguas residuales busca minimizar costos a largo plazo y beneficiar directamente a la gestión municipal con el cumplimiento de sus obligaciones ambientales y sanitarias; e indirectamente a los habitantes del sector, a quienes se podrá dar un ambiente más sano libre de contaminantes por descargas de aguas residuales sin tratamiento a los ríos aledaños.

La base para la generación de la guía de selección alternativa tecnológica ha sido fundamentada por diferentes autores que han trabajado en el campo de la selección de tecnología aplicados a plantas de tratamiento de agua residual doméstica de ciudades como Colombia y Brasil. Caso específico el que presenta Bernal, D.P. (s.f.), el cual servirá para que dicha información se tenga para las plantas de tratamiento de agua residual de la ciudad metropolitana de Guatemala.

## **5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

En Guatemala la situación de la legislación vigente en materia de agua, no cuenta con administración especial; el régimen jurídico se integra supletoriamente por un sin número de disposiciones contenidas en distintos textos jurídicos, sin un concepto rector, como lo podría ser el manejo integrado del recurso o integrador como podría serlo la previsión de un sistema nacional de planificación y presupuesto para el recurso agua en uso y saneamiento. (Perfil hidrológico, 2005).

Lo anterior responde a la problemática que sufre actualmente las municipalidades y la Autoridad para el Manejo Sustentable de la cuenca y Lago de Amatitlán (AMSA) en el manejo de los desechos líquidos. Debido a que dichas instituciones no cuentan con un presupuesto fijo que mantengan los costos requeridos para el control y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua residual. Dejando así sistemas de tratamiento inoperantes y al abandono de plantas de tratamiento de aguas residuales existentes.

Para establecer lo anterior se tomará como estudio de caso: la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Peronia. La cual se establecerá como estándares de diseño para aplicar a otras alternativas tecnológicas de tratamiento de agua residual disponible en Guatemala, y que sean apropiadas para el cumplimiento del Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Lo descrito anteriormente hace surgir las siguientes interrogantes:

¿Cuál es la tecnología adecuada para la planta de tratamiento de agua residual de Ciudad Peronia, en base a los parámetros físicos y químicos que se obtengan en el análisis del desempeño?

¿Qué magnitud tienen los parámetros fisicoquímicos del agua residual antes y después del tratamiento secundario del proceso que se lleva a cabo en la planta de Ciudad Peronia?

Debido a que el Acuerdo Gubernativo entró en vigencia en el 2006. Surge la interrogante: ¿Qué parámetros fisicoquímicos actuales cumplen con el Acuerdo Gubernativo 236-2006?

¿En qué medida se puede generar un documento guía para seleccionar la tecnología adecuada para las plantas de tratamiento de agua residual de la ciudad metropolitana, que les permita cumplir con los parámetros establecidos del Acuerdo Gubernativo 236-2006?

Se adoptará la metodología que presenta Bernal a.t. (s.f.) para la realización de la guía de selección de tecnología de tratamiento de agua residual doméstica por métodos naturales. Tomando en cuenta los criterios social, económico y ambiental. Y luego se aplicará al estudio del caso de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Peronia.

## 6. ALCANCES

Los alcances de la presente investigación, están enfocados específicamente a nivel nacional y en diferentes áreas, siendo estas:

- Plantas de tratamiento de agua residuales a rehabilitar en el área metropolitana de Guatemala.
- Matriz de criterios para la selección de cualquier alternativa tecnológica natural.
- Proyectos de investigación tanto de la Escuela de Estudios de Postgrado como de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Ingenieros químicos, civiles y sanitarios.
- Estudiantes de la carrera de Ingeniería Química, Civil y Ambiental de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.



## **7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **7.1. Agua**

En muchas partes del mundo, la introducción de contaminantes originados por las actividades humanas, ha degradado mucho la calidad del agua, hasta el grado de convertir corrientes naturales en sucios canales a cielo abierto, con pocas formas de vida y menos usos benéficos.

#### **7.1.1. Contaminantes del agua y sus fuentes**

El agua es contaminada por diferentes acciones y efectos de introducir materias o formas de energía, de modo directo o indirecto, que impliquen una alteración perjudicial a la calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica.

##### **7.1.1.1. Fuentes puntuales**

Son las aguas negras domésticas y los desechos industriales, ya que en general se recolectan mediante una red de tubos o canales, y se conducen hasta un solo punto de descarga en el agua receptora. Mackenzie L. (2005) describe que las aguas negras domésticas consisten en desechos de hogares, escuelas, edificios y tiendas. Las aguas negras municipales incluyen las aguas negras domésticas y los desechos industriales cuya descarga está permitida en los alcantarillados sanitarios.

#### **7.1.1.2. Fuentes no puntuales**

Mackenzie L. (2005) define las fuentes no puntuales a los escurrimientos urbanos y agrícolas que se caracterizan por tener múltiples puntos de descarga. Con frecuencia el agua contaminada pasa sobre la superficie del terreno, o a lo largo de canales de drenado natural, y llega hasta el cuerpo de agua más cercano. Gran cantidad de la contaminación debida a fuentes no puntuales sucede durante las lluvias.

#### **7.1.1.3. Material que demanda oxígeno**

Es todo material que se oxide en el agua receptora y consume oxígeno molecular disuelto; suele ser materia orgánica biodegradable, aunque también se debe incluir ciertos compuestos inorgánicos. Su mayor amenaza es para la vida acuática que requiere oxígeno para vivir. Los materiales que demandan oxígeno en las aguas negras domésticas provienen principalmente de los desechos humanos y los residuos alimenticios. Casi cualquier materia orgánica existente en la naturaleza, como excrementos de animales, residuos de cultivos u hojas, que lleguen al agua procedente de fuentes no puntuales, contribuye al agotamiento de oxígeno disuelto.

#### **7.1.1.4. Nutrientes**

Mackenzie L. (2005). El nitrógeno y el fósforo, dos nutrientes muy importantes, se consideran contaminantes cuando existen en cantidades excesivas, aunque sean sustancias benéficas. Algunas de las fuentes principales de nutrientes son los detergentes, fertilizantes y los desechos de procesamientos de alimentos, así como el excremento animal y humano.



#### **7.1.1.5. Microorganismos patógenos**

Entre los microorganismos que menciona Mackenzie L. (2005), como patógenos presentes en las aguas de desecho hay bacterias, virus y protozoarios que excretaron personas o animales enfermos.

#### **7.1.1.6. Sólidos suspendidos**

Son partículas orgánicas que arrastra el agua residual y que llegan a un agua receptora. Cuando se reduce la velocidad del agua, al entrar en un estanque o un lago, muchas de esas partículas se asientan en el fondo como sedimento. Las partículas coloidales, que no se asientan con facilidad, causan la turbiedad de muchas aguas superficiales.

#### **7.1.1.7. Sales**

Las sales y otras materias que no se evaporan Mackenzie L. (2005), las define como sólidos disueltos totales (SDT). La evapotranspiración aumenta la concentración de sales y amenaza la población natural de plantas y animales.

#### **7.1.1.8. Metales tóxicos y compuestos orgánicos tóxicos**

Con frecuencia el escurrimiento agrícola contiene plaguicidas y herbicidas usados en los cultivos. El escurrimiento urbano es una importante fuente de zinc en muchos cuerpos de agua. Otro asunto más reciente es la presencia de sustancias farmacéuticas en el agua y el agua residual por contaminación directa del uso doméstico.

#### **7.1.1.9. Sustancias que trastornan el sistema endocrino**

Entre las clases de sustancia que Mackenzie L. (2005) publica; están los bifenilos policlorados, los plaguicidas de uso común, atrazina y demás sustancias derivadas de la triazina y los ftalatos. Pueden interferir con la regulación de los procesos de desarrollo y reproducción en mamíferos, reptiles y peces. Estas sustancias también alteran las funciones fisiológicas normales del sistema endocrino, y afectan la síntesis de hormonas en el organismo.

#### **7.1.1.10. Calor**

Aunque no se considera el calor como un contaminante, en la industria se descartan aguas mucho más calientes que las aguas receptoras. Cabe mencionar que los aumentos de temperatura causan una menor solubilidad de oxígeno, generando el deterioro de la calidad del agua.

### **7.2. Aguas residuales**

Se consideran como una molestia que debe eliminarse en la forma menos costosa y ofensiva posible. Su generación es citada por Williams Medrano (2001) como una descarga directa principalmente de las habitaciones, instalaciones sanitarias, lavado de utensilios domésticos, grifos de baño, lavado de ropa y otros usos domiciliarios y procesos industriales.

#### **7.2.1. Tipos de aguas residuales**

Vidal Elda. Villegas Margarita. (2009) establecen la necesidad de adoptar diferencias conceptuales que proporcionen mayor claridad acerca de la

terminología técnica y científica referente al tipo de agua residual. Se definen los siguientes conceptos:

- Aguas crudas: aguas residuales que no han sido sometidas a proceso de tratamiento.
- Aguas residuales: aguas que contienen material disuelto y en suspensión, luego de ser usadas con fines doméstico, agrícola e industrial.
- Aguas servidas: también denominadas grises o aguas residuales no cloacales, son aguas de desechos provenientes de actividades humanas domésticas desprovistas de materia fecal.

En los siguientes párrafos se utilizará el término aguas residuales para describir el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua, proveniente de actividades domésticas.

### **7.2.2. Características de las aguas residuales domésticas**

El conocimiento de la naturaleza del agua residual, es fundamental para su tratamiento y la gestión ambiental. El agua residual de origen doméstico consiste aproximadamente en un 99,9 por ciento de agua natural y un 0,1 por ciento de impurezas del peso total de las aguas residuales.

Las aguas residuales tienen en solución una serie de compuestos orgánicos e inorgánicos, y algunos sufren transformaciones en el medio acuático, debido a la acción bioquímica de los microorganismos o por reacciones químicas, mientras que otros se acumulan.

Debido a esto, se describen las características de las aguas residuales a ser tratadas o dispuestas a un cuerpo receptor.

#### **7.2.2.1. Características físicas**

Se dice que el agua residual doméstica fresca, tiene el olor de tierra recién revuelta. Las aguas residuales envejecidas y sépticas son bastante más ofensivas al sentido del olfato. Tiene un color gris característico. Las sépticas son negras, cuyo color se debe a la precipitación de sulfuro de hierro.

Martín Erick. (2010), establece que las temperaturas de las aguas residuales oscilan, entre 10 y 20 grados Celsius. Generalmente será mayor que la del agua del efluente receptor, debido al agua tibia de los hogares y al calentamiento dentro del sistema de drenaje de la estructura.

El agua residual llevará sólidos disueltos, como los compuestos de calcio, sodio y los orgánicos solubles. Así como también sólidos insolubles que se denominan sólidos sedimentables y otros suspendidos coloidalmente, que dan el aspecto turbio a agua residual.

#### **7.2.2.2. Características químicas**

La cantidad de sustancias químicas presentes en las aguas residuales, es casi ilimitada y generalmente se limita a descripción de tipos de sustancias que se conocen mejor por el nombre de la prueba que se usa para medirlos que por lo que incluyen.

Mackenzie L. (2005) describe que mediante el análisis de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se determina el equivalente en oxígeno de la

materia orgánica que puede oxidar un oxidante químico energético en un medio ácido. Y el principal análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que describe los compuestos susceptibles a oxidarse biológicamente.

### **7.2.3. Razones para su tratamiento**

Mackenzie L. (2005), establece que la administración de la calidad del agua es controlar la descarga de contaminantes, de tal modo que no se degrade hasta llegar a un grado inaceptable, inferior al natural del ambiente. Se puede señalar entonces la necesidad del tratamiento de las aguas residuales como una consecuencia de la civilización y el progreso caracterizado por el aumento de la densidad demográfica y la expansión industrial, que obliga a ciertas medidas sanitarias, entre estas, un control de la contaminación. Las razones que justifican el tratamiento de las aguas residuales pueden ser resumidas en cuatro:

- La conservación de la fuente de abastecimiento de agua para uso doméstico.
- La prevención de enfermedades.
- La prevención de molestias y malos olores.
- Aspectos legales (derechos propietarios marginales).

Las razones se pueden cubrir por medio de los siguientes conceptos:

- Saneamiento

Dunner I. (2004), define al conjunto de técnicas, medidas y elementos destinados a fomentar las condiciones higiénicas de una comunidad, ciudad. Y edificio, a través de una serie de acciones

como la recolección, evacuación y disposición de desechos líquidos y sólidos, alcantarillado y tratamiento de aguas, cuyo objetivo final es reducir los riesgos para la salud y prevenir la contaminación en zonas rurales y urbanas.

- Saneamiento ambiental

Dunner I. (2004), describe al saneamiento ambiental básico, como el conjunto de acciones técnicas y socioeconómicas que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad ambiental. Comprende el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales y excretas, los residuos sólidos y el comportamiento higiénico que reduce los riesgos para la salud y previene la contaminación, tiene por finalidad la promoción y el mejoramiento de condiciones de vida urbana y rural.

- Tratamiento de aguas residuales

Dunner I. (2004), describe al tratamiento de las aguas residuales como un proceso por medio del cual, los materiales sólidos que contienen, son separados parcialmente, haciendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos muy putrescibles puedan ser convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos, relativamente estables. La magnitud de este cambio depende del proceso de tratamiento empleado.

### **7.3. Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales**

La cantidad o la concentración de compuestos orgánicos presentes en las aguas, generalmente se cuantifican o se mide en términos de la demanda de oxígeno que es necesario para su estabilización o bien en términos de su contenido de carbono.

Mackenzie L. (2005), define que los compuestos inorgánicos deben incluir aquellos ensayos y pruebas de laboratorio que proporcionen información sobre el contenido de las sustancias que requieren un tratamiento preliminar especial, tales como: sólidos en suspensión, sólidos volátiles, sólidos sedimentables, acidez, alcalinidad, etcetera. También se debe evaluar la concentración de compuestos nutrientes como fósforo y nitrógeno en sus diferentes estados de oxidación y por último, se debe evaluar la presencia y concentración de compuestos tóxicos tales como metales pesados. Así como también compuestos inhibidores o que interfieren con el tratamiento, tales como cobre, cloruros y sulfatos.

#### **7.3.1. Parámetros químicos**

Los análisis químicos, constituyen uno de los principales requisitos para caracterizar el agua; por lo que a continuación se presenta la descripción de cada uno de ellos.

##### **7.3.1.1. Oxígeno disuelto**

La presencia del oxígeno disuelto en el agua, es una condicionante fundamentalmente para el desarrollo de la vida acuática, vegetal y animal, evitando la descomposición anaerobia de la materia orgánica. Las fuentes de

oxígeno en el agua son la aireación y la fotosíntesis de las algas. Su remoción se debe a la respiración de los vegetales, demanda química de oxígeno de materiales orgánicos y sedimentos, deaireación, sobresaturación y reducción de orgánicos.

Arriaza V. (1999), afirma que la baja solubilidad del oxígeno, es el principal factor que limita la capacidad de purificación de las aguas naturales y obliga a efectuar tratamiento de las aguas residuales para remover la materia contaminante, antes de descargar en los cuerpos receptores.

### **7.3.1.2. Nitrógeno**

El nitrógeno en las aguas residuales se presenta en cuatro tipos de compuestos: amoníaco, nitrógeno orgánico, nitratos y nitritos. El nitrógeno de la biomasa de las aguas residuales, que se encuentra en forma de proteínas, es hidrolizado formando los aminoácidos que, por acción de las bacterias, pasa a transformarse en amoníaco, luego en nitrito y por último en nitrato.

Las bacterias nitrificantes autotróficas, específicamente los nitrosomonas, son sensibles a los valores de potencial de hidrógeno altos o bajos, los cuales inhiben su crecimiento, particularmente a valores menores de 7 y mayores de 9. Es posible que la presencia de amoníaco libre y los ácidos nitrosos también inhiban el desarrollo de los organismos nitrificantes, debido a la diferencia del potencial de hidrógeno que pueden causar entre el interior y exterior de la célula.

Al igual que las bacterias autotróficas, las algas metabolizan el amoníaco y el nitrato, pero prefieren el amoníaco, el cual debe haberse consumido antes que se comience a utilizar el nitrato para la síntesis celular.



El nitrógeno es perjudicial para el cuerpo receptor por cuatro razones:

- En altas concentraciones, el amoníaco en su forma no ionizada es tóxico para los peces.
- El amoníaco en bajas concentraciones, así como el nitrato sirven como nutrientes y se produce un crecimiento excesivo de algas.
- La conversión del ion amonio a nitrato consume grandes cantidades de oxígeno disuelto.
- En la práctica difundida de desinfectar el agua de desecho mediante cloración, el cloro gaseoso (molecular) y el ácido hipocloroso-hipoclorito pueden reaccionar con todo el amoníaco presente en el agua y formar cloraminas, las cuales son más tóxicas. (Arriaza V. 1999).

### **7.3.1.3. Fósforo**

Arriaza V. (1999), también define al nitrógeno, el fósforo como un nutriente de gran importancia para el crecimiento y reproducción de los microorganismos que participan en la estabilización de la materia orgánica presente en las aguas residuales. El fósforo aparece en dos formas: en compuestos orgánicos (proteínas) y en compuestos minerales (polifosfatos y ortofosfatos). Los polifosfatos se encuentran principalmente en los residuos que contienen detergentes sintéticos (no biodegradables).

En el caso de las aguas residuales domésticas, el contenido de fósforo es preocupante no por insuficiencia, sino por exceso, ya que efluentes de la planta

de tratamiento ricos en fósforo, provocan proliferación excesiva de algas y plantas acuáticas en el curso del cuerpo receptor. (Mackenzie L. 2005).

#### **7.3.1.4. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Es una cantidad que se mide y no depende del conocimiento que se tenga sobre la composición química de las sustancias en el agua. Su determinación se basa en la oxidación enérgica de la materia orgánica e inorgánica que se encuentra en el agua residual, en un medio fuertemente ácido con una solución valorada de dicromato de potasio. La diferencia entre la cantidad de agente oxidante al iniciar el análisis y la que queda al final, es la que se usa para calcular la DQO. Arriaza Víctor. (1999), dice que los valores de este parámetro están asociados al grado de avance de la oxidación de los contaminantes, por lo que la determinación seriada de DQO es una herramienta útil de seguimiento del proceso.

#### **7.3.1.5. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se define como la cantidad de oxígeno necesaria para que una población microbiana heterogénea, estabilice la materia orgánica biodegradable presente en una muestra de agua residual. Por lo tanto la DBO representa una medida indirecta de concentración de materia orgánica e inorgánica degradable o transformable biológicamente.

Mackenzie L. (2005), determina el análisis es un bioensayo en el que se usan microorganismos en condiciones parecidas a las del agua natural. La prueba usa un tiempo fijo de incubación; la medición de oxígeno consumido en un período de 5 días (DBO<sub>5</sub>) es la más empleada. Puede medirse también el oxígeno consumido hasta que no haya modificación alguna en la concentración

de éste, lo que puede tomar entre 30 y 90 días de incubación (DBO última). El procedimiento es sencillo: se determina el oxígeno disuelto al inicio y al final del tiempo de incubación preestablecido. La DBO es simplemente la diferencia entre la concentración inicial y final de oxígeno disuelto.

- Reacción de la DBO

Davis Jenkins (1997), determina que muchos fenómenos que se llevan en aguas residuales, se deben a reacciones redox que son catalizadas por sistemas biológicos. Los microorganismos no realizan reacciones químicas: las catalizan y las utilizan para propósitos tales como derivar energía para los procesos metabólicos.

En el tratamiento de aguas residuales y en el control de la contaminación, es común clasificar los procesos como aeróbicos y anaeróbicos, esta clasificación se hace con base en si se encuentra o no oxígeno disuelto en el agua residual. La reacción de la DBO es igual a todas las reacciones aeróbicas (oxígeno presente), y ocurre en dos fases separadas y distintas.

Inicialmente, la materia orgánica presente en las aguas residuales es utilizada por los microorganismos de la tierra para energía y crecimiento. Cuando son removidos los materiales orgánicos de las aguas residuales, los organismos presentes continúan usando oxígeno por autooxidación o metabolismo endógeno de su masa celular. Cuando la masa de la célula está completamente oxidada, sólo queda un residuo biodegradable celular y la reacción es completada. Esto se define como la última DBO.

La remoción y oxidación de la materia orgánica, presente en las aguas residuales, se completa usualmente en un rango de 18 a 36 horas (fase 1). La

oxidación total de la masa de la célula toma más de 20 días (fase 2). La velocidad de reacción, durante la primera fase o fase de asimilación, es de 10 a 20 veces más que la velocidad de oxidación endógena.

A medida que disminuye la concentración de materia orgánica, también decrece la velocidad de consumo de oxígeno. Por lo que se supone que la velocidad de consumo de oxígeno es directamente proporcional a la concentración de la materia orgánica degradable residual en cualquier momento. En consecuencia se puede describir a la DBO matemáticamente como una reacción de primer orden, expresado como sigue:

$$DBO=L_0(1-e^{-kt}) \quad [1]$$

Donde:

DBO = Cantidad de oxígeno consumido ó DBO después de cualquier tiempo  $t$

$L_0$  = Última DBO o la cantidad máxima de oxígeno posible consumido en la reacción

$k$  = Constante promedio de velocidad de reacción

$t$  = Tiempo de incubación, días

Se debe tener presente que aunque la DBO última aumenta en proporción directa con la concentración de materia orgánica degradable, el valor numérico de la constante de velocidad  $k$  depende de:

- Naturaleza del desecho: debido a que los diferentes compuestos orgánicos no degradan con igual velocidad. La constante de velocidad de DBO para un desecho complejo depende mucho de las proporciones relativas de los diversos componentes presentes en el agua residual.

- Capacidad de los organismos para usar los desechos: debido a que los microorganismos tienen capacidad limitada para usar compuestos orgánicos, puede provocar que el resultado de la evaluación de la constante de velocidad sea menor en el laboratorio que en el agua residual. Para evitar este resultado, la prueba de DBO debe efectuarse con organismos que se hayan aclimatado al desecho.
- Temperatura: debido a que los procesos biológicos se aceleran a medida que aumenta la temperatura, la constante de velocidad de DBO se debe analizar a una temperatura estándar de 20 grados Celsius, y la constante de velocidad de la DBO se ajusta a la temperatura del agua receptora mediante la siguiente ecuación:

$$k_T = k_{20} (\theta)^{T-20} \quad [2]$$

Donde:

- T = temperatura de interés (°C)
- $k_T$  = constante de velocidad de DBO a la temperatura de interés (días<sup>-1</sup>)
- $k_{20}$  = constante de velocidad de DBO determinada a 20°C (días<sup>-1</sup>)
- $\theta$  = coeficiente de temperatura. Para aguas negras domésticas típicas, ese valor es 1,135, para temperatura entre 4 y 20°C, y 1,056 para temperaturas entre 20 y 30°C.

- Medición de la demanda bioquímica de oxígeno en el laboratorio.

Mackenzie (2005), cita en forma detallada los procedimientos de prueba en el campo de control de la contaminación del agua por *Standard Methods for the Eximanation of water and waste water*, que se enumeran en cuatro pasos siguientes:

- Paso 1. Una botella especial de DBO de 300 mililitros se llena totalmente con una muestra de agua que se ha diluido en forma adecuada, y se inocula con microorganismos. Se tapa la botella para sacar las burbujas de aire. Las muestras deben ser diluidas en un rango de 2 y 6 miligramo/litro. El cociente entre muestra no diluida y la diluida se llama Tamaño de muestra, y se suele expresar como un porcentaje, mientras que a la relación inversa se le llama factor de dilución. Matemáticamente lo anterior se puede representar:

$$\text{Tamaño de la muestra (\%)} = \frac{\text{volumen de la muestra no diluida}}{\text{volumen de la muestra diluida}} \times 10 \quad [3]$$

$$\text{Factor de dilución} = P = \frac{\text{volumen de la muestra de agua residual}}{\text{volumen del agua residual más el agua de dilución}} \quad [4]$$

- Paso 2. Se deben colocar muestras testigo que sólo contengan el agua inoculada de dilución en botellas de DBO, que se tapan. Se requieren los testigos para estimar la cantidad de oxígeno que consume el inóculo agregado en ausencia de la muestra.
- Paso 3. Las botellas tapadas de DBO que contienen las muestras diluidas y los testigos, se incuban en la oscuridad a 20 grados Celsius durante la cantidad deseada de días. Las muestras se

incuban en la oscuridad para evitar que la fotosíntesis añada oxígeno al agua e invalide los resultados de consumo de oxígeno.

- Paso 4. Al haber pasado un período adecuado de tiempo, las muestras y los testigos se sacan de la incubadora y se mide la concentración de oxígeno disuelto en cada botella. Se debe calcular la DBO de la muestra no diluida con la siguiente ecuación.

$$DBO_t = \frac{(OD_{t,t} - OD_{m,t})}{P} \quad [5]$$

Donde:

$OD_{t,t}$  = concentración de oxígeno disuelto en el testigo después de t días de incubación ( $mg \cdot L^{-1}$ )

$OD_{m,t}$  = concentración de oxígeno disuelto en la muestra después de t días de incubación ( $mg \cdot L^{-1}$ )

P = factor de dilución

La anterior ecuación es válida únicamente cuando el agua inoculada, o del agua de dilución, es despreciable. Si la DBO del agua de dilución o de inoculación es significativa, se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$DBO_t = \frac{(OD_{t,t} - OD_{t,t}) - (OD_{m,t} - OD_{5,t}) \cdot t}{P} \quad [6]$$

Donde:

$OD_{t,t}$  y  $OD_{5,t}$  = concentración de oxígeno disuelto en el testigo después de t días de incubación y después de 5 días de incubación ( $mg \cdot L^{-1}$ ).

- $OD_{m,i}$  = concentración de oxígeno disuelto inicial de la muestra.
- $OD_{t,i}$  = concentración de oxígeno disuelto inicial del testigo (semilla) de control.
- $f$  = relación de semilla en la muestra diluida entre semilla en el testigo.  
 (porcentaje de semilla en la muestra diluida)/(porcentaje de semilla en el control).  
 (volumen de la semilla en la muestra diluida)/(volumen de la semilla en el testigo).

### 7.3.1.6. Relación entre DBO y DQO

Al usar estas relaciones, se debe recordar que ellas cambiarán significativamente de acuerdo con el tratamiento que se haya realizado a los residuos, como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla I. **Comparación de relaciones de parámetros DBO<sub>5</sub>/DQO utilizados para caracterizar aguas residuales**

Tipo de agua residual	DBO <sub>5</sub> /DQO
No tratada	0,3 – 0,8
Después de sedimentación Primaria	0,4 – 0,6
Efluente final	0,1 – 0,3

Fuente: Contreras Katherine. (2009), p. 40.



Si la relación  $DBO_5/DQO$  para aguas residuales no tratadas es mayor que 0,5, los residuos se consideran fácilmente tratables mediante procesos biológicos. Contreras K. (2009), define que si la relación  $DBO_5/DQO$  es menor de 0,3, el residuo puede contener constituyentes tóxicos o se pueden requerir microorganismos aclimatados para su estabilización.

#### **7.3.1.7. Aceites y grasas**

Contreras K. (2009), define que los aceites y grasas son compuestos orgánicos, muy estables que no se descomponen fácilmente por las bacterias, pueden interferir en la vida biológica, su análisis se realiza por extracción con solvente orgánico y cuantificación gravimétrica.

#### **7.3.1.8. Metales pesados**

Los metales pesados pueden ejercer alguna influencia según Contreras K. (2009), en los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales, se ha determinado los umbrales de toxicidad para el plomo, zinc, cadmio, hierro y otros elementos, su valor es cercano a 1,0 miligramos por litro. Sin embargo, en la literatura científica se reporta que no se han presentado efectos nocivos para los sistemas biológicos de tratamiento, aún en concentraciones mayores.

#### **7.3.1.9. Sustancias tensoactivas**

Los detergentes son llamados en la industria de limpieza para el hogar como agentes tensoactivos o agentes superficiales activos, son compuestos constituidos por moléculas orgánicas grandes, polares, solubles en agua y aceites, se componen de un grupo fuertemente hidrofóbico (insoluble en agua)

y uno fuertemente hidrofílico (soluble en agua). Su presencia disminuye la tensión superficial del agua y favorece la formación de espuma.

Contreras K. (2009), considera que el aumento en la concentración de tensoactivos en la descarga, es un indicativo de que el agua residual está saturada de éstos, tanto los detergentes como los jabones son biodegradables pero la biodegradabilidad se ve limitada si estos compuestos se encuentran en exceso en el agua residual.

#### **7.3.1.10. Potencial de hidrógeno (pH)**

En química se define al pH como el logaritmo negativo de la concentración del ión hidrógeno.

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+] \quad [7]$$

Donde:

pH = logaritmo negativo de la concentración del ión hidrógeno

Log<sub>10</sub> = logaritmo base diez

[H<sup>+</sup>] = ión hidrógeno

Victor Arriaza (1999), describe que la concentración de ión hidrógeno, es un parámetro de calidad de gran importancia para el caso de las aguas residuales como naturales. El intervalo de concentraciones adecuado para la correcta proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico, entre 6,5 y 8,5. El agua residual con el pH inadecuado presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración del pH en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la descarga al cuerpo receptor. El pH varía con la

actividad bacteriana, fotosintética y de respiración de las algas, con la temperatura y transformaciones químicas que sufre el agua, debido a los procesos.

### **7.3.2. Parámetros físicos**

A continuación se presenta la definición de los parámetros físicos que determinan, de igual forma que los parámetros químicos, la calidad del agua residual.

#### **7.3.2.1. Temperatura**

Es un parámetro importante en el agua residual, por su efecto sobre las características del agua, en las operaciones y procesos de tratamiento, así como sobre el método de disposición final. La temperatura del agua residual generalmente es mayor que la temperatura del receptor, por lo que tiene un efecto directo en la vida acuática y reacciones químicas. El equipo de medición son termistores electrónicos o bien termómetros convencionales.

#### **7.3.2.2. Sólidos sedimentados**

Por su peso y tamaño pueden sedimentar, generalmente tienen un alto contenido de materia orgánica, se pueden remover por un proceso de sedimentación. Equipo de análisis: cono Imhoff.

### **7.3.2.3. Sólidos totales**

Representan el total de sólidos presentes en una muestra, su importancia radica en la comparación con los sólidos sedimentados y sólidos en suspensión.

### **7.3.2.4. Sólidos en suspensión**

Son los sólidos que pueden ser retenidos por un litro de agua. Son importantes para la decisión de diseño de planta. Análisis: filtración al vacío con filtros de fibra de vidrio y secado al horno.

## **7.3.3. Parámetro biológico**

Los parámetros biológicos en las aguas residuales, son de mucho interés. Los parámetros biológicos se usan como índices de calidad de aguas. Hay muchos seres vivos que se emplean como indicadores de la calidad de aguas residuales. Así, según predominen unos organismos u otros, se podrá saber el estado del agua.

### **7.3.3.1. Clasificación de los microorganismos**

Arriaza V. (1999), define los principales grupos de organismos presentes, tanto en aguas residuales como superficiales, se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias.

- Bacterias: se pueden clasificar como eubacterias procariotas unicelulares. En función de su forma, las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoides, bastón, bastón curvado y filamentoso.

Los organismos patógenos que se encuentran en las aguas residuales, proceden de desechos humanos infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales son: las bacterias, los virus, los protozoarios y el grupo de helmintos. Los organismos bacterianos patógenos que pueden ser excretados por el hombre causan enfermedades del aparato intestinal como fiebre tifoidea y paratifoidea, disentería, diarrea, cólera y hepatitis. Los organismos se presentan en las aguas residuales y contaminadas en pequeñas cantidades y demás, resulta difícil de aislar e identificar. Por ello se emplea el organismo coliforme como indicador, puesto que su presencia es más numerosa y fácil de comprobar.

#### **7.4. Sistemas de tratamiento de aguas residuales**

Mackenzie L. (2005), agrupa las alternativas para el tratamiento de aguas residuales en tres categorías principales:

- **Primario.** Incluye los procesos de tratamiento previo: rejas, cámara de desarenado y pileta de igualación. El objetivo principal es eliminar del agua residual los contaminantes que se asientan o flotan.
- **Secundario.** Incluye todos los procesos del tratamiento primario y tanque de sedimentación primaria. Y el objetivo de los procesos primarios en el proceso secundario, es proteger la planta de tratamiento de aguas residuales que le sigue. Típicamente el tratamiento secundario se aplica usando procesos biológicos, donde se aceleran los procesos naturales de descomposición de los contaminantes orgánicos degradables en un tiempo relativamente corto.

- Terciario. Se aplica cuando las concentraciones residuales del tratamiento secundario son inadecuadas; implican agregar el flujo de descarga secundario al terreno, con sistemas de irrigación diseñados con cuidado, donde los contaminantes se eliminan con un sistema de suelo y sembradío.

#### **7.4.1. Operaciones unitarias de tratamiento previo**

Son operaciones individuales de tratamiento que se aplican al agua residual antes de llegar a su tratamiento primario.

##### **7.4.1.1. Rejas de barra**

Es uno de los primeros dispositivos que encuentran las aguas residuales al entrar en una planta de tratamiento, cuyo principal objetivo es eliminar objetos grandes que pudiesen dañar o estorbar en bombas, válvulas y demás equipo mecánico. Los trapos, maderas y otros objetos que llegan hasta el alcantarillado, se eliminan del agua residual en las rejas.

Mackenzie L. (2005), clasifica las rejas (o rejillas) en: rejas de basura con aberturas grandes, de 40 a 150 milímetros, y su objetivo es evitar que pasen a la planta objetos muy grandes. Las siguientes rejas tienen aberturas menores. Las rejas de limpieza manual tienen aberturas de 25 a 50 milímetros. Sí tienen aplicación en canales de derivación que se usan con muy poca frecuencia. Las rejas de limpieza mecánica tienen aberturas de 5 a 40 milímetros. Las velocidades máximas de llegada en el canal van de 0,6 a 1,2 metros por segundo. Independientemente del tipo de reja, se instalan dos canales en paralelo con rejas, para que una de ellas pueda salir de servicio para limpieza y reparación.

#### **7.4.1.2. Cámaras de desarenado**

Se dispone de tres tipos básicos de cámaras de desarenado: controladas por la velocidad (llamadas también cámaras de desarenado de flujo horizontal), aireadas, y piletas de sedimentación a corto plazo y de nivel constante. Es factible aplicar la *ley de Stokes* en el análisis y diseño de cámaras de desarenado de flujo horizontal, esto si la velocidad horizontal del líquido se mantiene aproximadamente en unos 0,3 metros cúbicos por segundo. Deben emplearse un mínimo de dos canales, de modo que uno se pueda sacar de servicio sin que se detenga la planta de tratamiento. Los tiempos teóricos de retención se establecen en cerca de un minuto para los flujos promedio. En general se proporcionan instalaciones de lavado para eliminar la materia orgánica de la arena. (Mackenzie L. 2005).

#### **7.4.1.3. Desmenuzadores**

Los aparatos que cortan los sólidos de las aguas residuales. Estos dispositivos se instalan después de las cámaras de desarenado para proteger las barras de corte contra la abrasión. Se usan en lugar de las rejas, pero se deben instalar junto con una reja de limpieza manual que las sustituya cuando fallen.

#### **7.4.1.4. Igualación**

La igualación de flujo no es un proceso de tratamiento en sí misma, sino una técnica que mejora la eficacia de los procesos secundarios y avanzados de tratamiento de aguas residuales. El agua residual no entra en una planta municipal de tratamiento de aguas residuales con un flujo constante, sino que varía de una hora a la siguiente y refleja los hábitos de vida en el área de

servicio. El objetivo de la igualación es amortiguar esas variaciones y que el agua residual se pueda tratar a un flujo casi constante. La igualación de flujo mejora mucho la eficiencia de una planta en funciones y aumenta su capacidad útil. En las plantas nuevas la igualación del flujo reduce el tamaño y el costo de las unidades de tratamiento.

La igualación del flujo se suele lograr construyendo grandes estanques que reciben y guardan el flujo de aguas negras, de donde se bombea a la planta de tratamiento a una velocidad constante. Se debe proporcionar una aireación y un mezclado adecuados para evitar malos olores y asentamiento de sólidos.

El volumen necesario de un estanque de igualación, se calcula a partir de un balance de masa del flujo que llega a la planta de tratamiento y el flujo promedio que la planta está diseñado para tratar. Esto se puede representar en función del volumen del agua residual que entra y que sale del estanque de igualación, como sigue:

$$\Delta V = V_{\text{ent}} - V_{\text{sal}} \quad [8]$$

Donde:

$\Delta V$  = cambio de volumen de agua residual

$V_{\text{ent}}$  = volumen en la entrada

$V_{\text{sal}}$  = volumen en la salida

El volumen máximo necesario se determina calculando la suma de  $\Delta V$  durante un ciclo que pueda llenar y vaciar el estanque de igualación. La variable



de caudal de salida ( $Q_{sal}$ ) se ajusta al valor promedio del flujo durante el ciclo. El valor máximo de  $\Delta V$  es el volumen de almacenamiento que se requiere.

#### 7.4.2. Tratamiento primario

Una vez finalizados el colado y el desarenado, según Mackenzie L. 2005), el agua residual aún contiene sólidos orgánicos ligeros suspendidos, algunos de los cuales se eliminan por gravedad en un tanque de sedimentación. La masa de sólidos sedimentados se llama lodo bruto. Los materiales flotantes, como la grasa y el aceite, suben a la superficie del tanque de sedimentación donde los reúne un sistema de desnatado superficial y se eliminan para procesarlos después.

A los tanques de sedimentación primaria, los caracteriza el asentamiento floculante. No se aplica la ecuación de *Stokes*. Los datos de diseño se obtienen mediante pruebas de laboratorio con columnas de sedimentación.

Con frecuencia se escogen tanques rectangulares con pared común, porque ofrecen ventajas cuando el espacio es restringido. La tasa de flujo de derrame es el parámetro que determina el diseño de los tanques primarios de sedimentación. Al flujo promedio, las tasas de derrame van de 25 a 60 metros cúbicos por metro cuadrado por día. Cuando el lodo activado del residuo se regresa al tanque primario, se escoge un intervalo menor de tasas de derrame de flujo de 25 a 35 metro por día.

El tiempo de detención hidráulica en el tanque de sedimentación va de 1,5 a 2,5 horas en condiciones promedio de flujo. El tiempo de detención de 2,0 horas es característico. Si las profundidades laterales del agua son mayores de 3,5 metros, las tasas de carga de vertedero tienen poco efecto sobre la

eficiencia. En un tanque primario se puede eliminar de 50 a 60 por ciento de los sólidos suspendidos en las aguas negras sin tratar, así como hasta de 30 a 35 por ciento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno de cinco días (DBO<sub>5</sub>).

### **7.4.3. Procesos unitarios de tratamiento secundario**

Etapa del proceso en la cual se lleva a cabo las operaciones individuales del tipo biodigestión.

#### **7.4.3.1. Descripción general**

Mackenzie L. (2005), describe los ingredientes básicos necesarios para el tratamiento aeróbico secundario convencional son la disponibilidad de muchos microorganismos, un buen contacto entre éstos y el material orgánico, la disponibilidad de oxígeno y la conservación de otras condiciones ambientales favorables, una temperatura favorable y tiempo suficiente para que los microorganismos trabajen. Los más comunes son el proceso del filtro percolador y el proceso de lodos activados. Cuando los flujos de aguas residuales no son grandes y se dispone de espacio es posible utilizar lagunas.

#### **7.4.3.2. Papel de los microorganismos**

La estabilización de la materia orgánica, se obtiene biológicamente por medio de una variedad de microorganismos que convierten la materia coloidal y orgánica disuelta en distintos gases y protoplasma. Como éste tiene una gravedad específica un poco mayor que la del agua, se elimina del líquido tratado mediante sedimentación por gravedad.



La depuración biológica de las aguas residuales, usando alguna de las formas de los procesos de barros activados, ha demostrado ser uno de los métodos más efectivos para el tratamiento tanto de efluentes municipales como de desechos orgánicos industriales (Alasino N. 2009).

Si bien se han desarrollado diferentes tipos de procesos biológicos, los más empleados en el tratamiento de aguas residuales urbanas, son el proceso de barros activados y la tecnología de biopelícula (Alasino N. 2009).

Los procesos biológicos que ocurren en las aguas residuales, se pueden llevar a cabo en cultivo en suspensión y en cultivo fijo. En los primeros, las bacterias forman flóculos que se encuentran dispersos en todo el medio de reacción. En los segundos, las bacterias están fijadas a un material soporte. Nicolella et al. (2000), diferencian el tratamiento biológico según el grado de asociación de los agregados microbianos en tres tipos: los de biofilm estático (ejemplo: filtros percoladores), de biofilm particulado (ejemplo: reactores de biofilm de lecho fluidizado, reactores anaeróbicos de manto de lodo de flujo ascendente o biofilm de lecho suspendido) y en flóculos (proceso de barros activados).

Mientras que en los sistemas por barros activados, los organismos se encuentran continuamente en movimiento, siendo característica esencial la agitación mecánica o de aireación para conservar los flóculos en suspensión, en los lechos bacterianos quedan unidos de forma fija al soporte inerte que les sirve de base. La fauna de los barros activados se reduce a microorganismos, mientras que en los lechos bacterianos existen formas de vida superiores, gusanos e insectos.

En los sistemas por barros activados, la masa microbiana en exceso se controla por medio de la purga del sistema, mientras que en los lechos bacterianos el exceso de biopelícula se elimina en los sistemas aerobios por desprendimiento de las capas profundas del biofilm por la formación de gas en condiciones anaerobias; y en los sistemas anaerobios por desprendimiento de biofilm por esfuerzo de corte entre el líquido y las partículas, o por colisiones de las partículas entre sí (Hernández, 1996).

#### **7.4.3.4. Procesos del tratamiento biológico aeróbico**

Huerga Efraín. (2005), describe a los procesos de tratamiento como:

- Los lodos activados deben proveer un efluente con  $\text{DBO}_5$  soluble menor que 10 a 15 miligramo por litro y un  $\text{DBO}_5$  total, que incluye los sólidos suspendidos, que es menor que 20 miligramo por litro. El proceso requiere tratamiento y disposición del exceso del lodo y debe ser generalmente considerado, donde se requiere la calidad alta del efluente, si se limita el área disponible de tierra y el flujo de desecho excede  $0,1 \times 10^6$  galones por día.
- La aireación extendida u oxidación total provee un efluente con un  $\text{DBO}_5$  soluble menor que 10 a 15 miligramo por litro y un  $\text{DBO}_5$  total menor que 40 miligramo por litro. Los sólidos suspendidos pueden tener un límite de 50 miligramo por litro (para una alta claridad, los efluentes generalmente requieren postratamiento por filtración, coagulación, etc.) Este proceso es comúnmente considerado para flujos de desechos menores que  $2,0 \times 10^6$  galones por día.

- La estabilización de contacto se aplica donde una porción mayor de la DBO está presente en forma coloidal o suspendida. Como regla general, el proceso debe ser considerado cuando se remueve el 85 por ciento de la  $DBO_5$  después de 15 minutos de contacto con lodos activados aireados.
- Una laguna anaeróbica es solamente aplicable, donde el tratamiento es parcial (aprox. 50 a 60 por ciento de reducción de  $DBO_5$ ) y está permitido un efluente alto de sólidos suspendidos. Este proceso se debe considerar como una planta en crecimiento, la cual puede convertirse en una planta de aireación extendida, con la adición de un clarificador, que retorne el lodo y equipo adicional de aireación.
- Una laguna aireada logrará un efluente soluble de  $DBO_5$  de menos de 25 miligramo por litro, con un  $DBO_5$  total de menos de 50 miligramo por litro, que depende de la temperatura de operación. Los sólidos suspendidos del efluente pueden exceder 100 miligramo por litro. El sistema es sensible a la temperatura; la eficiencia del tratamiento decrecerá durante la operación en época fría.
- Filtros percoladores de alta velocidad alcanzan una reducción del 85 por ciento de la DBO en desagües domésticos. Filtros rugosos de cargas altas logran una reducción de 50 a 60 por ciento de la DBO de orgánicos solubles de desechos industriales.
- Estanques anaeróbicos facultativos, para el tratamiento de desechos industriales solamente, deben ser considerados si los olores producidos no son fétidos. Si se requiere un alto grado de tratamiento, estos estanques deben ser seguidos por tratamiento aeróbico (lagunas aireadas, lodos activados, etcétera).

#### **7.4.3.5. Disposición de lodos**

Las características de disposición y compactación de lodos, son un requisito primario para el éxito de la operación del proceso de lodos activados. Con una disposición pobre de lodos, los sólidos acarreados en el efluente contribuirán a la DBO (debido a la respiración endógena de los sólidos en lodos activados en los frascos de la DBO). La mala compactación resultará en una baja concentración de retorno de los sólidos de los lodos, los cuales volverán al límite de la mezcla.

Una mala disposición o lodos voluminosos pueden ser el resultado de la propagación de organismos filamentosos (ejemplo: Spharotilus) o el crecimiento y difusión de bacterias.

Huerga E. (2005), dice que muchos organismos filamentosos son aerobios y pueden destruirse por períodos prolongados de anaerobiasis. La mayoría de las bacterias, por otro lado, son facultativas y pueden existir por períodos largos sin oxígeno. Aunque los datos disponibles son un poco contradictorios, podría parecer que son necesarias 6 horas como mínimo bajo condiciones anaerobias, para eliminar el crecimiento de estos filamentos.

El volumen del lodo puede ser relacionado con la velocidad de crecimiento o la actividad metabólica del lodo, el cual es relacionado con la razón nutriente/microorganismos (N/M). A una razón alta N/M, los microorganismos tienen una velocidad máxima de crecimiento (fase de crecimiento logarítmico), en que no ocurre la floculación y los organismos filamentosos pueden desarrollarse.

En cargas muy bajas, los fragmentos inoxidables de flóculos quedan en suspensión, y resulta una mala disposición. Como el parámetro significativo es la concentración de sustrato en contacto con los organismos, la geometría del sistema y el modo de introducción de los desechos merece consideración.

Huerga E. (2005), resume las características de flóculos relacionadas con la velocidad de crecimiento será influenciada por la disponibilidad del sustrato y el modo de introducción de los desechos en el sistema.

## **7.5. Tratamiento avanzado de aguas residuales (terciario)**

Es el último proceso que se lleva a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales, en donde se pueden utilizar diferentes alternativas tecnológicas, dependiendo de la calidad de agua que se desee obtener.

### **7.5.1. Tendencias de futuro en tecnologías de tratamiento**

Se puede afirmar que la investigación de hoy es la aplicación industrial del mañana. Por tanto las tendencias actuales en el ámbito internacional sobre investigación y desarrollo de tecnologías de tratamiento de aguas, introducirán las mejoras que serán implantadas en los próximos años para la solución de las diferentes problemáticas. Los resultados de una búsqueda en la base de datos *Water Resources* durante el período 1997-2001, utilizando palabras clave, tales como: *industrial waste water, oxidation, biological treatment, physical-chemical, zero discharge, water reuse/recycling*, arrojan las siguientes conclusiones en relación al desarrollo futuro de tecnologías y aplicaciones de las mismas.



### **7.5.1.1. Tratamientos biológicos**

El desarrollo de las tecnologías de tratamiento biológico, se encaminan hacia sistemas más compactos con mayor capacidad de carga. Se están estudiando diferentes mejoras acerca de:

- Funcionamiento de los sistemas aerobios y anaerobios de cultivo fijo.
- Uso de biofiltros.
- Uso de cultivos termófilos.
- Eliminación de grasas y aceites.
- Conocimiento del metabolismo y enzimología de la destrucción de contaminantes complejos y refractarios.
- Adición de productos que mejoran la sedimentabilidad de los fangos en sistemas de cultivo en suspensión.
- Uso de membranas en el seno del reactor de fangos activos aerobio o anaerobio y solución de sus actuales desventajas: ensuciamientos, elevados caudales de circulación, materiales, aireaciones, etcetera.
- Inmovilización enzimática.
- Nitrificación-denitrificación y eliminación de fósforo.
- Adición a los fangos de cepas microbianas selectivas.
- Uso de modelos matemáticos.
- Control en línea del funcionamiento de la reacción biológica mediante sondas electroquímicas: ORP, amonio, nitratos, nitritos, etcetera.

### **7.5.1.2. Tratamientos con membranas**

El estudio de estas tecnologías, que incluyen la microfiltración (MF), ultrafiltración (UF), nanofiltración (NF), ósmosis inversa (OI), electrodiálisis reversa (EDR) y electrodesionización (EDI) está muy vinculado al reciclaje del

agua tratada y de los contaminantes separados del efluente tratado. La nueva corriente de ideas trata de ubicar estas tecnologías, allí donde se puede dar un valor añadido al agua tratada o a sustancias que en principio son desechables. Existen varios ejemplos en este sentido:

- Recuperación de cromo y cloruro sódico en la industria del curtido.
- Recuperación de agua de torres de refrigeración, sector minero, textil e industria papelera.
- Recuperación de nitratos para riego en sistemas de abastecimiento.
- Recuperación de desengrasantes en baños de recubrimiento de superficies metálicas.

Huerga E. (2005), dice que estas tecnologías por sí solas no suelen conseguir el grado de concentración económicamente rentable, por ello también se está invirtiendo mucho esfuerzo en la combinación más adecuada con otras tecnologías de concentración. Así se observan combinaciones como las siguientes:

- OI y evaporación multiflash a sequedad, en el sector metalúrgico.
- MF y OI para lavado de botellas de cerveza.
- OI y cristalización en el sector metalúrgico.
- EDR, OI, evaporación/cristalización en el sector metalúrgico.

A estas problemáticas hay que añadir las relacionadas con la mejora de materiales para solucionar los problemas actuales de ensuciamiento, mejorar los caudales de permeado y bajar los precios. Todo ello repercutirá en una extensión importante de la implantación de estas técnicas.

### **7.5.1.3. Tecnologías de oxidación**

Huerga Efraín. (2005), cita a los estudios sobre oxidación química poco numerosos en relación a otras técnicas. La tendencia actual es buscar mejores rendimientos de tratamiento utilizando otro tipo de reactivos. Los más mencionados son:

- Ozono, como pretratamiento a etapas biológicas y oxidación de compuestos refractarios.
- Radiación ultra violeta (UV).
- Combinaciones binarias y ternarias de ozono, ultra violeta (UV) y peróxido de hidrógeno ( $H_2O_{2(ac)}$ ) o Fenton.
- Peróxido de hidrógeno ( $H_2O_{2(ac)}$ ).
- Radiación ultra violeta (UV) con fenton.
- Fotocatálisis (luz solar o ultra violeta (UV) con dióxido de titanio ( $TiO_{2(s)}$ )).
- Irradiación con chorro de electrones.
- Oxidación por vía húmeda.

Las aplicaciones donde estas tecnologías tendrán cabida, se concretan en efluentes contaminados con componentes refractarios o inhibidores de las reacciones biológicas, tales como vertidos con plaguicidas, sector textil, petroquímico, acuicultura y destilerías, además de los clásicos sistemas de desinfección.

### **7.5.1.4. Tecnologías de intercambio iónico**

Serán de mayoritaria aplicación, sistemas de recuperación de metales y agua sobre efluentes procedentes del sector de acabado de superficies.

#### **7.5.1.5. Tecnologías electroquímicas**

Además de las ya mencionadas tecnologías de membranas que hacen uso de la electricidad, aparecen numerosas citas que hacen referencia al uso de técnicas como: electrooxidación, electrolisis, electrocoagulación, electroflotación, electroabsorción, etcétera.

La búsqueda de mejoras se enfoca hacia el uso de nuevos materiales para los electrodos, de manera que se consiga una mayor eficacia en su función, alargando la vida de los mismos y disminuyendo los precios.

Huerga E. (2005), dice que las aplicaciones serán muy variadas, introduciéndose en numerosos sectores industriales. Algunos ejemplos pueden ser: sector de tratamiento de superficies, sector minero, curtición y textil.

#### **7.5.1.6. Tecnologías de adsorción**

Huerga E. (2005), dice que aunque los fundamentos sobre el modo de funcionamiento son muy conocidos, la búsqueda actual se centra en el uso de productos más económicos y de fácil obtención, con la mínima manipulación o transformación. Algunos ejemplos de materiales objeto de estudio en la actualidad son: arenas modificadas, vermiculita, carbones de cáscara de coco, carbones derivados de residuos textiles, zeolitas, bentonita, sepiolita en combinación con alúmina, carbones combinados con arcillas, arcillas modificadas, etcétera.

Las aplicaciones de estos materiales son diversas; se refieren a la eliminación de olores, color en efluentes textiles y curtición, compuestos orgánicos refractarios; y a la mejora de fangos biológicos en industrias papeleras y textiles.

Por otra parte existe un creciente interés por desarrollar una técnica que combine la tecnología de adsorción con técnicas electrolíticas, tratando con ello, de conseguir no sólo una retención de los contaminantes sino una destrucción de los mismos, lo que supone alargar los ciclos de reactivación o limpieza del material adsorbente.

#### **7.5.1.7. Filtros verdes Wetlands**

Esta tecnología es un ejemplo del interés por simplificar en muchos casos las soluciones a diversas problemáticas de tratamiento. Esta es una manera de facilitar a la naturaleza que suministre el aporte de energía necesario para llevar a cabo la descontaminación de los efluentes. Las aplicaciones futuras son numerosas, desarrollándose el modelo con efluentes de diferentes procedencias. Como ejemplos se pueden citar: el sector metálico, escorrentías de carreteras y ciudades y aguas de piscifactorías. Entrando en el ámbito nacional se exponen algunas de las conclusiones sobre las tendencias para el futuro a medio plazo (7 años) extraídas de un estudio Delphi realizado sobre paneles de expertos en el período 1999-2001 (OPTI y Ministerio de Ciencia y Tecnología, 2001-2002):

- Las previsiones de demanda de agua estiman que para el futuro a medio y largo plazo (10 y 20 años) las necesidades aumentarán del 15 al 36 por ciento. Por tanto se hace necesaria una política de ahorro de agua para hacer frente a las limitaciones, de tal demanda en la que se incluyen medidas tales como la reutilización de aguas residuales y su reciclado, además de un desarrollo educativo e información pública entre otras.

- Se reutilizará el 70 por ciento del agua residual urbana en sistemas de regadío, industrial y servicios municipales. Para ello, se hará uso de las tecnologías siguientes:
  - Tecnologías de control en línea de vertidos.
  - Tecnologías de tratamiento encaminadas a la reducción de costes.
  - Implantación de redes de distribución del agua regenerada económica y menos agresiva.
  - Tratamientos terciarios y sistemas de desinfección más desarrollados y racionalizados: eliminación de sustancias sólidas (convencionales y avanzadas), desinfección (química, ultra violeta (UV), membranas, ozono ( $O_{3(g)}$ ), campos electrostáticos), eliminación de materia orgánica (oxidación, electroquímicos, mecánicos, absorción), desmineralización y sistemas alternativos de generación de energía para tratamiento de aguas.
  - Tecnologías de eliminación de olores.

#### **7.5.2. Tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales**

Los métodos de depuración natural, se engloban aquellos procedimientos en los que el tratamiento principal es proporcionado por componentes del medio natural. Se diferencian en dos grupos: los métodos de tratamiento mediante aplicación en el terreno y los sistemas acuáticos. El efecto principal depurador se debe a la acción de la vegetación, suelo, microorganismos y en menor medida, a la acción de animales superiores, sin la intervención de agentes artificiales.

Los procedimientos naturales se caracterizan, por sus menores necesidades de personal de operaciones, menor consumo energético y menor producción de fangos. Sin embargo, requieren mayores superficies de terreno disponibles. Este factor, a veces limitante, es el que determina que los llamados métodos naturales de depuración, sean los apropiados y aconsejados para pequeños núcleos rurales.

Entre los métodos de tratamiento en el terreno se incluyen tres tipos:

- Infiltración lenta, designado por las siglas inglesas SR (*slow rate*), consiste básicamente en la aplicación de un caudal controlado de agua residual sobre una superficie de terreno con cubierta vegetal cultivada. Habitualmente, los sistemas SR se operan en ciclos de aplicación semanales, durante la temporada de crecimiento del cultivo.

Las cargas hidráulicas de agua residual aplicadas anualmente sobre la superficie activa de tratamiento varían entre 0,5 y 6 metros cúbicos por metros cuadrados. Tras la infiltración, el agua residual percola vertical y lateralmente a través del suelo, que puede recuperar sus condiciones aerobias gracias a los procedimientos cíclicos de aplicación.

La cubierta vegetal juega un importante papel en el proceso de tratamiento. Su selección y cuidado dependen principalmente del grado de tratamiento perseguido y de las características de los suelos. La infiltración lenta tiene el mayor potencial de tratamiento de todos los sistemas de depuración en el terreno, debido a la aplicación de cargas relativamente bajas sobre suelo vegetado y a la existencia de un ecosistema muy activo en el suelo, a escasa distancia de la superficie.

- Infiltración rápida, conocido como RI (*rapid infiltración*), se define como la aplicación controlada de agua residual sobre balsas superficiales construidas en suelos de permeabilidad media a alta. Generalmente, la aplicación se realiza de forma cíclica, para permitir la regeneración aerobia de la zona de infiltración y mantener la máxima capacidad de tratamiento. El agua residual requiere, al menos, tratamiento primario previo a la aplicación, siendo las cargas hidráulicas anuales normales de 6 a 100 metro cúbico por metro cuadrado.

No es necesario que las balsas de infiltración estén cultivadas, pero exigen mantenimiento periódico de la superficie. La evolución del efluente en el suelo y subsuelo es similar a la de los sistemas SR, no obstante, por tratarse caudales muy superiores, el suelo y formaciones infrayacentes han de tener mejores características hidráulicas.

El agua residual se aplica a la tasa máxima que puede permitir el suelo. Se deben proporcionar períodos de descanso intermitentes para que el suelo se seque y se reestablezcan las condiciones aerobias. Los ciclos de aplicación son de 10 a 20 días con 1 a 2 semanas de descanso. La superficie del fondo puede ser rastrillada antes de cada aplicación para dispersar los sólidos y evitar la formación de una capa impermeable.

- Flujo superficial, conocido como OF (*overland flow*), es adecuado para zonas con suelos relativamente impermeables. Consiste en forzar la escorrentía del agua residual sobre un suelo previamente acondicionado (en pendiente y vegetación), para ser posteriormente recogida mediante diques artificiales. Las aplicaciones de agua residual suelen realizarse en ciclos de horas, durante 5 a 7 días a la semana, tras un escaso pretratamiento consistente en la separación de las fracciones sólidas de



mayor tamaño. El grado de tratamiento alcanzable es equivalente a uno secundario, generalmente con buena reducción de nitrógeno y un peor rendimiento en fósforo.

La evaluación preliminar de las posibilidades de aplicación de los sistemas de tratamiento en el terreno requiere un conocimiento previo de los aspectos básicos de diseño, de su rendimiento y condiciones mínimas del emplazamiento.

Entre los métodos de tratamiento acuáticos se incluyen tres tipos:

- Los humedales, son sistemas en los que el agua fluye continuamente, cuya superficie libre permanece al nivel del suelo, o por encima del mismo, manteniéndolo en estado de saturación durante un largo período del año. Existen humedales de tratamiento creados a partir de zonas húmedas naturales, y humedales contruidos artificialmente. Los humedales de origen natural forman parte del sistema de esorrentía superficial de la zona, por lo que en caso de ser utilizados para la depuración de aguas residuales, han de observarse las normas limitativas respecto a la calidad del agua vertida.

Los humedales contruidos forman parte del sistema de depuración proyectado. Suelen tener un fondo o base impermeable sobre la que se deposita un lecho de gravas, suelo u otro medio para el desarrollo de las plantas, que constituyen el principal agente depurador. Existen dos tipos de humedales contruidos, dependiendo de la situación del nivel de agua: el denominado de superficie libre de agua (en la literatura anglosajona, *free water surface*, FWS), en el que el agua está en contacto con la atmósfera y constituye la fuente principal del oxígeno para aireación; y el

denominado de flujo subsuperficial (*vegetated submerged beds*, VSB), donde la superficie del agua se mantiene a nivel de la superficie del lecho permeable o por debajo de la misma.

La transferencia de oxígeno desde las hojas hasta las raíces de las plantas, actúa como mecanismo suministrador de oxígeno al agua. La presencia de plantas emergentes con raíces, es esencial en ambos tipos de sistemas. La carga hidráulica anual aplicada varía en el rango de 3 a 20 metro cúbico por metro cuadrado, dependiendo del tipo de sistema, características del agua de alimentación, límites impuestos al efluente, etcétera.

- Los sistemas de lagunaje, son muy conocidos desde hace siglos. El tratamiento o proceso de depuración se produce gracias a reacciones biológicas, químicas y físicas, que tienen lugar en las lagunas y que tienden a estabilizar el agua residual. Los fenómenos producidos tienen relación con: sedimentación, oxidación, fotosíntesis, aireación, evaporación, digestión, etcetera. Entre las ventajas de los sistemas de depuración por lagunaje cabe destacar su estabilidad frente a variaciones de caudal y carga contaminante, y sus bajos costos de explotación y mantenimiento.

Por contra, entre las principales desventajas hay que citar: necesidad de grandes superficies de terreno, presencia de olores cuando se alcanzan condiciones anaerobias, y elevada concentración de microorganismos en el efluente. Aunque son sistemas naturales, se incluyen habitualmente dentro de los sistemas convencionales de tratamiento debido a la amplia experiencia existente en su uso y explotación.

- Plantas flotantes o cultivos acuáticos, son básicamente una variante del lagunaje, en la que se introduce el cultivo de plantas flotantes, cuya finalidad principal es la eliminación de determinados componentes de las aguas a través de sus raíces, que constituyen un buen sustrato responsable de una parte importante del tratamiento. Además de aportar tratamiento, las plantas flotantes evitan la entrada de la luz solar al estanque, deteniendo así el crecimiento de las algas. Estos sistemas han sido utilizados también como medios de producción de proteínas o biomasa, en cuyo caso la depuración de agua constituye un objetivo secundario del proyecto.

Las plantas más comúnmente cultivadas, son los jacintos de agua, existiendo amplia documentación sobre estos cultivos.

El clima es un factor limitativo de su rendimiento, ya que las plantas sólo crecen a determinadas temperaturas. Estos sistemas de cultivo acuático suelen utilizarse como afino incorporados a otra cadena de procesos, empleándose generalmente como tratamiento terciario.

La carga orgánica admitida por estos procesos, es del orden de 30-50 kilogramo sobre habitante por día, lo que para aguas de moderada carga contaminante (DBO: 240 miligramo/litro), significa una carga hidráulica anual del orden de 6 metro cúbico sobre metro cuadrado.



## 8. HIPÓTESIS

El agua residual de salida analizada experimental de la planta de tratamiento de agua residual de la zona 8 de Villa Nueva, Ciudad Peronia, no cumple con los parámetros fisicoquímicos y biológicos establecidos en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

### 8.1. Hipótesis estadística

Para variable respuesta, será la concentración de demanda bioquímica de oxígeno que contenga las aguas después del proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Nula

Ho: no existe diferencia significativa en los datos experimentales en la tabulación de concentración de demanda bioquímica de oxígeno antes y después del proceso de tratamiento de agua en la planta.

$$\mu_{M1} = \mu_{M2}$$

Donde:

$\mu_{M1}$  = concentración de demanda bioquímica de oxígeno en agua antes del tratamiento.

$\mu_{M2}$  = concentración de demanda bioquímica de oxígeno en agua después del tratamiento.

Alternativa

H<sub>a</sub>: existe diferencia significativa en los datos experimentales correlacionados para la determinación de la demanda bioquímica en aguas residuales después del tratamiento en una planta.

$$\mu_{M1} \neq \mu_{M2}$$

Donde:

$\mu_{M1}$  = concentración de demanda bioquímica en agua antes del tratamiento.

$\mu_{M2}$  = concentración de demanda bioquímica en agua después del tratamiento.

## 9. CONTENIDO

Teniendo en cuenta los requerimientos necesarios para las plantas de tratamientos de aguas residuales, se escogieron los siguientes capítulos como una guía preliminar en la determinación del contenido de la investigación:

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

1. ANTECEDENTES
  
2. MARCO TEÓRICO
  - 2.1. Ubicación geográfica
  - 2.2. Descargas líquidas
    - 2.2.1. Aguas grises y negras
  - 2.3. Cuerpo receptor de la descarga
    - 2.3.1. Descripción y ubicación de la agua receptoras
  
3. SITUACIÓN ACTUAL
  - 3.1. Descripción del sistema de tratamiento primario existente
    - 3.1.1. Funcionamiento y especificaciones del desarenador
    - 3.1.2. Funcionamiento y especificaciones del reactor anaerobio

- 3.1.3. Funcionamiento y especificaciones de los sedimentarios primario y secundario
  - 3.2. Caudales generados
  - 3.3. Caracterización de las aguas grises y negras
    - 3.3.1. Parámetros físicos
      - 3.3.1.1. Temperatura
      - 3.3.1.2. Sólidos suspendidos
      - 3.3.1.3. Sólidos sedimentables
    - 3.3.2. Parámetros químicos
      - 3.3.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)
      - 3.3.2.2. Aceites y grasas
      - 3.3.2.3. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)
      - 3.3.2.4. Demanda química de oxígeno (DQO)
      - 3.3.2.5. Sustancias tensoactivas
  - 3.4. Parámetros biológicos
    - 3.4.1. Coliformes fecales
    - 3.4.2. Relación entre DBO y DQO
- 4. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVA
  - 4.1. Alternativas de tratamiento
    - 4.1.1. Criterios de calidad de agua para la descarga
    - 4.1.2. Tipos de tratamiento
      - 4.1.2.1. Generalidades de las alternativas
      - 4.1.2.2. Grado de tratamiento
      - 4.1.2.3. Selección de alternativa óptima
- 5. METODOLOGÍA
- 6. RESULTADOS



## 7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE

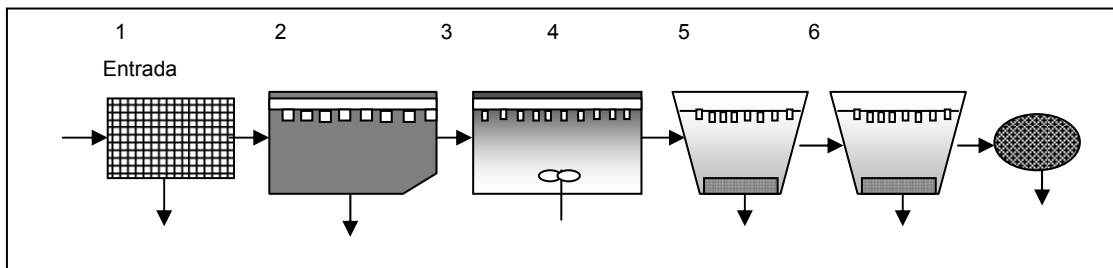


## 10. MÉTODOS Y TÉCNICAS

### 10.1. Establecimiento de puntos de muestreo

Con base al siguiente diagrama de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Peronia, se establecen los puntos de muestreo.

Figura 3. **Diagrama de la planta de tratamiento de aguas residuales, Ciudad Peronia**



Fuente: Esquematación de las unidades actuales con que cuenta la planta de tratamiento de agua residual de ciudad peronia.

Donde:

- Ente encargado: AMSA
- Caudal actual: 13,69 litro/segundo (figura 2)
- Unidades de la planta representados en el diagrama:
  - Canal de rejas
  - Desarenador
  - Reactor anaerobio
  - Sedimentario primario

Sedimentario secundario  
Patio de secado de lodos

La parte experimental de la investigación, se llevará a cabo tomando muestras en tres diferentes puntos de la planta de tratamiento de aguas:

Punto 1: a la entrada del proceso, ubicado antes de la unidad de canal de rejas, donde se tiene aguas residuales sin tratamiento.

Punto 2: a la salida de la unidad dos, desarenador, que representa el primer tratamiento del agua residual.

Punto 3: a la salida de la unidad cinco, sedimentario secundario, que representa el tratamiento final del agua residual.

## **10.2. Número de muestras a tomar y parámetros a determinar**

Con el objeto de realizar una evaluación cuantitativa de la planta de tratamiento en cuestión, se tomarán muestras en dos diferentes tiempos del día en cada punto establecido, mañana y tarde en horario de mayor caudal de agua residual, en intervalos de 15 días cada uno. Con un total de 48 muestras entre los meses de enero a julio.

Los parámetros fisicoquímico y bacteriológico, a ser utilizados para determinar la calidad del agua residual serán:

- Temperatura
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Sólidos suspendidos

- Aceites y grasas
- DBO<sub>5</sub> (Demanda bioquímica de oxígeno de cinco días)
- DQO (Demanda química de oxígeno)

### **10.3. Procedimiento de muestreo**

- La persona a realizar el muestreo deberá protegerse adecuadamente.
- Se debe tomar la muestra donde estén bien mezcladas las aguas residuales y de fácil acceso, como puntos de mayor turbulencia.
- Deben excluirse las partículas grandes; es decir, mayores de 6 milímetros (un cuarto de pulgada) ni el material flotante, ya que se relacionan con el volumen del recipiente.
- Las muestras deben examinarse tan pronto sea posible, ya que la descomposición bacteriana continúa en el frasco de la muestra. Después de una hora son apreciables los cambios biológicos.
- Tomar la temperatura del agua de donde se tomará la muestra.
- Identificar muestra, anotar datos de la muestra y colocarlo en refrigeración.
- Se debe respetar los tiempos mínimos entre toma de muestra y llegada al laboratorio.

### **10.4. Frascos para muestreo y almacenamiento**

Para el muestreo y almacenamiento, se utilizarán frascos de vidrio previamente esterilizados. La ventaja es que son inertes a la mayor parte de materiales, en estos frascos no será necesaria la clasificación, dado que pueden ser lavados con diversos tipos de soluciones tanto débiles como fuertes, son de fácil limpieza. Deberán ser de un tamaño de 1000 mililitros, lo que permite recolectar la cantidad de muestra suficiente para los parámetros que se van a analizar.

### **10.5. Análisis de laboratorio**

La muestra deberá ser transportada al laboratorio lo más pronto posible y debe ir acompañada con una legible y correcta identificación. En el laboratorio se realizará el análisis y los resultados que se obtengan deberán tabularse y luego se compararan con los parámetros establecidos en el reglamento de evaluación, control y seguimiento ambiental del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales de Guatemala, para establecer su cumplimiento.

### **10.6. Medición de caudales generados**

Para el cumplimiento de los objetivos será necesaria la medición del caudal a la entrada del proceso de tratamiento de agua residual, para ello se deberá utilizar el método volumétrico, tomando el tiempo que tarda la recolección de líquido en un recipiente de volumen conocido, para obtener la relación de volumen/tiempo. Los datos de caudal se deberán tomar en el lapso de tiempo de una hora.

La determinación de caudales, es muy relevante para comparar la configuración de cualquier alternativa tecnológica de tratamiento de agua residual. Se debe realizar de igual forma las mediciones de caudal en el transcurso del muestreo.

### **10.7. Método estadístico**

El papel de probabilidad, es uno de los más utilizados para la presentación de datos de calidad de agua.

En el papel normal de probabilidad se graficará en la ordenada el parámetro de interés y en la abscisa el porcentaje de probabilidad o porcentaje de los valores del parámetro de interés que son iguales a/o menores que un valor determinado.

En el papel logarítmico normal de probabilidad se representa en la ordenada el logaritmo del parámetro de interés y en la abscisa el porcentaje de probabilidad o porcentaje de los valores de parámetro de iguales a/o menores que un valor determinado.

Cuando la distribución es sesgada o asimétrica, es mejor usar el papel logarítmico de probabilidad, lo cual indica que los logaritmos de los valores observados se distribuyen normalmente.

Dos son los métodos a utilizar para análisis y valoración estadística, de datos de caudal, parámetros de calidad y cargas contaminantes del agua residual, mediante el papel de probabilidad.

- Método A

Se usa para un número de datos ( $n$ ) menor de 20. El procedimiento se resume a continuación.

- Se tabulan los datos en tres columnas
- En la primera columna se coloca el número de orden de cada dato ( $m$ ), o número de posición dentro de la serie ascendente de los datos, comenzando con el número 1.

- En la segunda columna se ordenan los datos, en orden ascendente de magnitud.
- En la columna 3 se calcula la frecuencia, probabilidad o porcentaje de ocurrencia del dato correspondiente, por la fórmula:

$$f = \frac{(m-0.5)100}{n} \quad [9]$$

Donde:

f = porcentaje de probabilidad

m = número de dato observado

n = número total de datos observados

- Sobre papel normal de probabilidad se grafica el valor del dato observado contra la frecuencia o probabilidad y se hace una regresión lineal de los datos (recta de Henry) mediante ajuste por mínimos cuadrados. Si los datos son ajustables a una recta, con una buena correlación, la distribución es normal y se pueden aplicar los parámetros estadísticos de dicha distribución. En algunos casos la distribución correlaciona mejor, con una recta, sobre papel logarítmico normal de probabilidad, indicando que la corresponde mejor con el promedio geométrico de los datos.
- Se determinan las características estadísticas de los datos, de acuerdo con la correlación obtenida.



- Método B

Se usa para un número de datos (n) mayor de 20. El procedimiento es prácticamente el mismo del método A, pero para facilitar la elaboración del gráfico se clasifican los datos en aproximadamente 20 clases, agrupadas por incrementos iguales, y se grafica en la ordenada el valor promedio aritmético de los datos de cada clase y en la abscisa, la frecuencia calculada por la fórmula:

$$f = \frac{100m}{n+1} \quad [10]$$

Donde:

f = porcentaje de probabilidad

m = número de dato observado

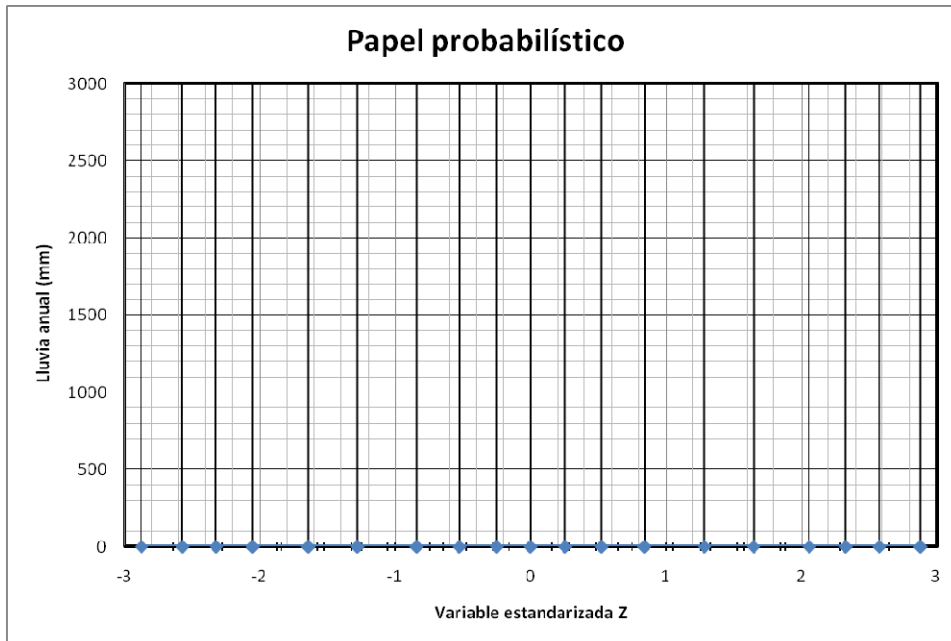
n = número total de datos observados

Tabla III. **Matriz de distribución de frecuencias, aplicación del método estadístico para análisis de caudales**

Clases	Límites		logaritmos de Límites		Marca de Clase, Xi	Frecuencia Observado			Frecuencia Esperada			
	Inferior	Superior	Inferior	Superior		Fo	Fr	Fa	Z	Fac	Fr	Fe
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												

Fuente: métodos estadísticos para la monitorización de la contaminación.

Figura4. **Representación gráfica del método estadístico para análisis de los parámetros fisicoquímicos examinados**



Fuente: métodos estadísticos para la monitorización de la contaminación.

### **10.8. Elaboración de guía de selección de tecnología para el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales**

Para la elaboración de la guía de selección de una alternativa tecnológica para el tratamiento de aguas residuales, se basará en el estudio de Bernal, D.P. et.al. s.f. sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas por métodos naturales. Bernal et.al. (s.f.) establece la siguiente metodología.

- Identificación de factores variables e indicadores: se deberá realizar una revisión bibliográfica, para identificar los factores que influyen en el proceso de selección de tecnología, relacionando los conceptos de los

diferentes autores, identificando similitudes y diferencias entre ellos y teniendo en cuenta su aplicabilidad en el contexto guatemalteco.

- Análisis de cada tecnología: se deberá analizar cada tecnología de tratamiento por métodos naturales, identificando sus características particulares, principios de funcionamiento, ventajas y desventajas y aplicabilidad en pequeñas y medianas poblaciones.
- Construcción de la guía de selección: teniendo en cuenta los puntos anteriores será necesario para la implementación de los sistemas de tratamiento naturales, integrar los factores variables e indicadores. Para este proceso se considerarán los estándares que se establece en el Acuerdo Gubernativo 236-2006.

Luego de conceptualizar los tres anteriores puntos de Bernal et.a. (s.f.) Se tomará como seguimiento la metodología que se presenta en el siguiente cuadro donde se presenta la variable con relación a la tecnología para la toma de decisión de la alternativa tecnológica que sea aplicable a la planta de tratamiento de aguas residuales doméstica de Ciudad Peronia.

Tabla IV. **Factores y variables considerados en el proceso de selección de tecnología para tratamiento de aguas residuales por métodos naturales**

<b>Factor</b>	<b>Variable</b>	<b>Factor</b>	<b>Variable</b>
Factores demográficos y socioculturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tamaño de población.</li> <li>• Nivel educativo.</li> <li>• Cobertura y cantidad de agua potable.</li> <li>• Existencia y tipo de alcantarillado.</li> </ul>	Objetivos de tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Expectativas de calidad del efluente.</li> <li>• Nivel de tratamiento.</li> <li>• Descarga del efluente</li> <li>• Estándares de reuso en agricultura.</li> <li>• Estándares de calidad del efluente.</li> </ul>
Características del agua residual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Origen del agua residual</li> <li>• Composición del agua residual</li> <li>• Caudal de agua residual</li> </ul>	Disponibilidad de recursos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recursos locales</li> <li>• Requerimientos y disponibilidad de insumos químicos</li> <li>• Requerimientos de energía</li> <li>• Disponibilidad de mano de obra local</li> <li>• Necesidad de equipos mecánicos</li> <li>• Disponibilidad local de materiales para la construcción</li> </ul>
Factores Climáticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Topografía</li> <li>• Permeabilidad del suelo</li> <li>• Nivel freático</li> </ul>		
Capacidad y disponibilidad a pagar	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad de pago</li> <li>• Tarifa</li> <li>• Disponibilidad a pagar.</li> </ul>		
Costos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de inversión</li> <li>• Costos del terreno</li> <li>• Recuperación de recursos.</li> </ul>	Aspectos tecnológicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Impacto ambiental del sistema de tratamiento</li> <li>• Disponibilidad de terreno</li> <li>• Generación de subproductos con potencial de aprovechamiento</li> <li>• Eficiencia de la tecnología</li> <li>• Datos de calidad mínimos deseados para el efluente tratado</li> </ul>

Fuente: Bernal, D.P., Cardona, D.A. Galvis, A y Peña, M. R. s.f. p. 22.

## 11. CRONOGRAMA

A continuación se presentan las actividades programadas, para la recolección, aplicación de metodología y análisis de resultados. A fin de obtener un informe final.

**Tabla V. Cronograma de actividades de investigación**

Tiempos por meses	ene-13				feb-13				mar-13				abr-13				may-13				jun-13				jul-13			
Actividades por semana	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Realizar las gestiones pertinentes con la Municipalidad de Villa Nueva y la entidad -AMSA- para la autorización del estudio.																												
Recaudar e investigar todos los datos de diseño de la planta para determinar el tipo de agua que genera después de su tratamiento.																												
Investigación y utilización del método analítico más descriptivo para el análisis de agua después de su tratamiento.																												
Realización de muestreo de agua después del proceso de tratamiento.																												
Tabulación y desarrollo de resultados cuantitativos del análisis de agua después de su tratamiento.																												
Análisis de funcionamiento de la Planta según la interpretación de resultados de los análisis de agua después de su tratamiento.																												
Realizar una evaluación teórica de las posibles mejoras, si el problema diera un resultado negativo.																												
Realización del informe final del proyecto estudiado.																												

Fuente: elaboración propia, programa de Microsoft Excel.



## 12. RECURSOS

- Recursos necesarios

Tabla VI. **Costo en quetzales de cada recurso a utilizar**

RECUROS HUMANOS	COSTO	TOTAL POR 8 MESES
Asesor (pago de factura)	Q250,00	Q 2 000,00
Estudiante	Q125,00	Q 1 000,00
Imprevistos	10% de RRHH	Q300,00
<b>MATERIALES E INSUMOS</b>		
Análisis en laboratorio externo.	1 muestra Q504,00 materiales / total 48 muestras Valor aproximado	Q 24192,00
	De investigación y 5 desarrollo del % estudio de tesis	Q 1374,60 Q 8 866,6
Imprevistos		

Fuente: costo de análisis de laboratorio. Instituto de Fomento Municipal (2012) p. 9

En la tabla VI se establece un resumen de los gastos mínimos a solventar en el estudio de investigación, tomando en cuenta que las muestras se realizarán en un laboratorio externo.





### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Alasino Noelia. (2009). *Síntesis y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales*. Tesis doctoral pública. Universidad Tecnológica Nacional. Santa Fe, Argentina.
2. Alvarado Guillermo, Solano Ponciano (2003). *Inventario de la situación actual de las aguas residuales domésticas en Guatemala*. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. División de Salud y Ambiente. Lima.
3. Arriaza Víctor. (1999). *Diseño, presupuesto y manual de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales para el casco urbano del municipio de Villa Nueva*. Tesis pública de licenciatura de Ingeniería Civil. USAC. Guatemala.
4. Barrios Gerson. (2010). *Estudio comparativo de remoción de fósforo en las agua residuales domésticas, como medida de protección ambiental al lago de Atitlán, en el Municipio de Panajachel, Departamento de Sololá*. Tesis magistral pública. Universidad Mariano Gálvez de Guatemala. Guatemala.
5. Cabello Viviana. (2001). *Evaluación técnico ambiental para la planta de tratamiento de una empresa pesquera*. Tesis pública de licenciatura de Ingeniería Geográfica. Universidad de Santiago de Chile. Chile.

6. Cocode-Ciudad Peronia (2010). *Diagnostico socioambiental y solicitud de proyectos urgentes en Ciudad Peronia*. Consejo de Desarrollo Comunitario de Ciudad Peronia. Guatemala.
7. Contreras Katherine. (2009). *Diseño de un sistema de tratamiento secundario de la descarga de aguas grises y negras en el terminal de GLP Oyambaro*. Tesis pública de licenciatura en Ingeniería Ambiental. Universidad Central del Ecuador. Ecuador.
8. Dunner Ignacio. (2004). *Evaluación integral de plantas de tratamiento de aguas servidas y alternativas de tratamiento en localidades rurales concentradas. Aplicaciones en la Regiones R.M. y VII*. Tesis magistral pública. Universidad de Chile. Chile.
9. Gobierno de Guatemala. (2006). *Acuerdo Gubernativo Número 236-2006*. Folleto. Guatemala.
10. Gobierno de Guatemala (s.f.) *Situación de la contaminación en Guatemala*. Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (URL/IARNA); Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (PNUMA/DEWA).
11. Huerga Efraín. (2005). *Desarrollo de alternativas de tratamiento de aguas residuales industriales mediante el uso de tecnología limpias dirigidas al reciclaje y/o valoración de contaminantes*. Tesis doctoral pública. Universidad de Valencia. España.

12. Linares Juan Carlos. (2005). *Evaluación de la administración operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de agua residual del municipio y departamento de Retalhuleu*. Tesis magistral pública. USAC. Guatemala.
13. Mackenzie L. Davis y Susan J. Masten. (2005). *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Guatemala. Mc Graw Hill.
14. Martín Erick. (2010). *Instalación y Control de una Planta de Tratamiento Físico-Químico de aguas residuales con base en las regulaciones ambientales de Guatemala*. Tesis pública de Licenciatura de Ingeniería Química. USAC. Guatemala.
15. Medrano William. (2001). *Evaluación de la calidad de aguas residuales de la planta de tratamiento de Alba Rancho (Semapa) con fines de riego*. Tesis magistral pública. ITC. UMSS Y CLAS.
16. Mildre Quijada. (2011). *Fortalecimiento de la Unidad de Plantas de Tratamiento en el área de aguas residuales de una Institución Gubernamental*. Tesis de Licenciatura en Administración de empresas. Universidad Panamericana. Guatemala.
17. Morán Guillermo. (2011). *Reevaluación de los niveles de plomo en tejido muscular de peces – cichlasoma managüense sp (Guapote o pez tigre) – Del Lago de Amatitlan*. Tesis de Licenciatura en Químico Farmacéutico. USAC. Guatemala.
18. Roque Wendy (s.f.). *Peronia, toda su historia*. Html. [www.Monografias.com](http://www.Monografias.com). [wendycelesteroquemiguel28@gmail.com](mailto:wendycelesteroquemiguel28@gmail.com)

19. Sánchez Ever. (2001). *Proyecto regional sistemas integrados de tratamiento y uso de aguas residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Estudio General del Caso Sololá, Guatemala*. Convenio: IDRC-OPS/HEP/CEPIS (2000-2002). Guatemala.
  
20. Vidal Elda. Villegas Margarita. (2009). *Gestión de los procesos de descontaminación de aguas residuales domésticas de tipo rural en Colombia. 1983-2009*. Tesis doctoral pública. Universidad de Antioquía 1803. Colombia.