

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”

TEMA

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE  
UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS DE  
TIPO ANAERÓBICA, QUE TRATA UN CAUDAL MEDIO DIARIO ( $Q_{cmd}$ ) DE 25  
M<sup>3</sup>/D.

AUTOR:

JORGE ADRIÁN RADA VALDIVIESO

Guayaquil – Ecuador

AÑO

2019

# AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la fuerza y energía necesaria para culminar con éxito mis estudios de postgrado.

A mi familia por ser el principal motivo para superarme cada día y contribuir en mi desarrollo personal y profesional.

Al profesor PhD. David Matamoros, por todos sus conocimientos impartidos en esta maestría que hicieron posible este proyecto de titulación y por su apoyo y dedicación constante hacia sus alumnos.

Al Ing. Leopoldo Guerrero por su colaboración en campo para la realización del presente trabajo.

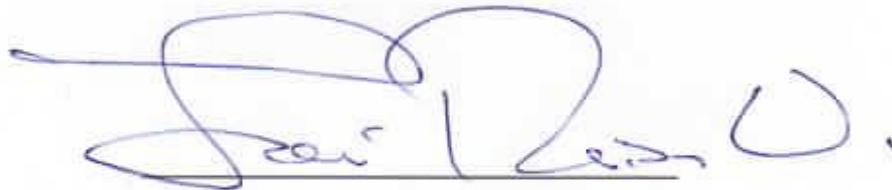
A la Ing. Bethy Merchán por su valioso aporte que permitió concluir este trabajo de titulación.

# DEDICATORIA

A mi esposa Estefanía  
Scherezade y a mi hija  
Valeska.

## DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me (nos) corresponde(n) exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Química** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Jorge Adrián Rada Valdivieso

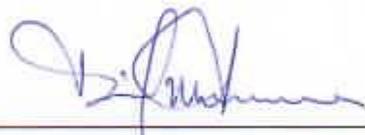
CC: 0923358303

# TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



---

M.Sc. Héctor Apolo Loayza  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



---

PhD. David Matamoros Camposano  
DIRECTOR DE PROYECTO



---

M.Sc. Bethy Merchán Sanmartín  
VOCAL DEL TRIBUNAL

## RESUMEN

El vertido continuo y la depuración inadecuada de las aguas residuales generadas por las actividades antrópicas es una de las principales causas de contaminación de las aguas subterráneas, fluviales, marinas, y de la alteración y degradación de los ecosistemas asociados. Los sistemas depuradores de aguas residuales domésticos están extendidos alrededor del planeta, su importancia radica en la capacidad de degradar eficientemente la materia orgánica presente en el agua residual con el propósito que sus descargas no afecten los ecosistemas acuáticos.

El presente proyecto de titulación tiene como área central de estudio la depuración de las aguas residuales domésticas, para lo cual, se ha contemplado la evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de una planta de tratamiento de tipo anaeróbica ubicada en una urbanización privada en el cantón Samborondón, provincia del Guayas.

Para la ejecución del estudio se realiza una descripción detallada de los procesos que se llevan a cabo en la planta de tratamiento, sus estructuras, tipos de tratamiento, equipos y componentes instalados, y la operación y manejo de esta. Además, se realiza un muestreo y caracterización tanto del afluente como del efluente de la planta, con el objetivo de analizar los parámetros de interés, a fin de evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes durante el proceso de tratamiento, previa su descarga final en un sistema de alcantarillado pluvial.

Finalmente, una vez analizados los resultados se establecen conclusiones y recomendaciones, con el objeto de proponer mejoras para un manejo más eficiente de la planta depuradora.

# TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	I
DEDICATORIA.....	II
DECLARACION EXPRESA .....	III
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN .....	IV
RESUMEN.....	V
CAPÍTULO I .....	1
1.    INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.    RESEÑA HISTÓRICA DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	1
1.2.    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3.    OBJETIVOS.....	5
1.3.1.    OBJETIVO GENERAL.....	5
1.3.2.    OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
CAPÍTULO II .....	6
2.1.    MARCO TEÓRICO .....	6
2.1.1.    AGUAS RESIDUALES.....	6
2.1.2.    CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	7
2.1.3.    CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	9
2.1.3.1.    CARACTERÍSTICAS FÍSICAS.....	11
2.1.3.2.    CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS.....	14
2.1.3.3.    CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS.....	17
2.1.4.    TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS .....	17
2.1.4.1.    PRETRATAMIENTO.....	18
2.1.4.2.    TRATAMIENTO PRIMARIO.....	19
2.1.4.3.    TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	20
2.1.4.4.    TRATAMIENTO TERCIARIO.....	24
2.1.5.    CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO ANAERÓBICO .....	26
2.1.5.1.    EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO ANAERÓBICOS.....	26
2.1.5.2.    CRITERIOS GENERALES DE UN TANQUE SÉPTICO.....	28
2.1.5.3.    FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR PAMLA .....	29
2.1.5.4.    CRITERIOS GENERALES DE REACTORES PAMLA.....	31
2.1.5.5.    CRITERIOS GENERALES DE FILTROS ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA) .....	32
2.1.5.6.    PRODUCCIÓN DE LODOS .....	33
2.2.    MARCO LEGAL.....	34
CAPÍTULO III .....	36
3.    PLANTA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (PDARD).....	36
3.1.    UBICACIÓN DE LA PLANTA DEPURADORA EN ESTUDIO.....	36
3.2.    DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PDARD.....	37
3.2.1.    UNIDAD DE DESBASTE .....	37
3.2.2.    CÁRCAMO DE BOMBEO.....	39
3.2.3.    TANQUE SÉPTICO .....	42
3.2.4.    REACTOR PAMLA O UASB.....	44
3.2.5.    FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE.....	46

3.2.6. TANQUE DE DESINFECCIÓN .....	47
3.2.7. LECHO DE SECADO DE LODOS .....	49
3.3. DIAGRAMA DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LA PDARD 51	
3.4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PDARD .....	52
3.4.1. TABLERO DE CONTROL .....	52
3.4.2. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA .....	52
CAPITULO IV .....	54
4. METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	54
4.1. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ENTRADA A LA PDARD .....	54
4.2. DELIMITACIÓN DEL MUESTREO DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PDARD .....	59
CAPITULO V .....	62
5. MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN .....	62
5.1. TOMA DE MUESTRAS .....	62
5.2. RESULTADOS OBTENIDOS .....	65
CAPITULO VI .....	72
6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	72
6.2. CASOS SIMILARES INTERNACIONALES .....	79
CAPITULO VII .....	81
7.1. CONCLUSIONES .....	81
7.2. RECOMENDACIONES .....	82
ANEXOS .....	85
BIBLIOGRAFÍA .....	

## CONTENIDO DE FIGURAS

Ilustración1.- Variación típica del caudal de agua residual doméstica .....	8
Ilustración2.- Esquema básico de pretratamiento de aguas residuales .....	18
Ilustración3.- Vista en planta y corte de una unidad de desbaste con rejillas ..	19
Ilustración 4.- Esquema general de un tanque séptico .....	21
Ilustración5.- Esquema básico de un reactor PAMLA. ....	22
Ilustración 6.- Esquema básico de un FAFA .....	23
Ilustración 7.- Vista del interior de la urbanización .....	36
Ilustración 8.- Planta depuradora de Aguas Residuales Domésticas.....	37
Ilustración 9.- Vista superior de la unidad de desbaste .....	38
Ilustración 10.- Rejillas de desbaste y cajas de recolección de Sólidos.....	38
Ilustración 11.- Losa superior y tapa de H.F. del cárcamo de bombeo .....	40
Ilustración 12.- Bombas, sensor de nivel y canastilla de recolección al interior del cárcamo.....	40
Ilustración 13.- Tipo de bombas sumergibles instaladas al interior del cárcamo .....	41
Ilustración 14.- Vista superior del tanque séptico.....	43
Ilustración 15.- Vista lateral externa del tanque séptico .....	43
Ilustración 16.- Válvula para purga de lodos de tanque séptico.....	44
Ilustración 17.- Vista del interior del reactor PAMLA, tubería de descarga y pantalla deflectora.....	45
Ilustración 18.- Vista superior del filtro de flujo ascendente y tubería de salida	46
Ilustración 19.- Vista superior del tanque de desinfección .....	48
Ilustración 20.- Cloro empleado en el proceso de desinfección. ....	48
Ilustración 21.- Bombas dosificadoras de cloro.....	49
Ilustración 22.- Vista de las cámaras del lecho de secado de lodos .....	50
Ilustración 23.- Válvulas reguladoras de caudal de las bombas sumergibles ..	50
Ilustración 24.- Diagrama de la PDARD.....	51
Ilustración 25.- Tablero de Potencia, Control y Automatización .....	52
Ilustración 26.- Excesivo lodo en el interior del reactor PAMLA.....	53
Ilustración 27.- Medición in situ del descenso del nivel del agua dentro del cárcamo de bombeo .....	55
Ilustración 28.- Inspección y selección de los sitios de muestreo .....	59
Ilustración 29.- Material retirado del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente ...	62
Ilustración 30.- Muestras tomadas de agua residual afluyente a la PDARD.....	63
Ilustración 31.- Determinación in situ de pH y Temperatura .....	64
Ilustración 32.- Traslado de muestras hacia el laboratorio.....	64
Ilustración 33.- Resultados de DQO y DBO efluente de reactor PAMLA y con porcentaje de eficiencia de remoción.....	80

## CONTENIDO DE GRÁFICOS

Gráfico1.- DBO de entrada y DBO salida de la PDARD .....	73
Gráfico2.- DQO entrada y DQO salida de la PDARD.....	73

## CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1.- Caudales medios estimados de agua residual doméstica .....	8
Tabla 2.- Composición típica de las aguas residuales domésticas .....	11
Tabla 3.- Porcentaje de remoción de contaminantes según el tipo de tratamiento en conjunto con un tanque séptico.....	27
Tabla 4.- Comparación de rendimiento de UASB con otras tecnologías depuradoras de aguas residuales. ....	29
Tabla 5.- Parámetros de diseño de un reactor PAMLA.....	32
Tabla 6.- Límite de Descarga a un cuerpo de agua dulce.....	35
Tabla 7.- Dimensiones cárcamo y canastilla de recolección .....	41
Tabla 8.- Características de las bombas sumergibles.....	42
Tabla 9.- Dimensiones internas tanque séptico .....	42
Tabla 10.- Dimensiones internas reactor PAMLA .....	45
Tabla 11.- Características del filtro de flujo ascendente.....	46
Tabla 12.- Características del tanque de desinfección.....	47
Tabla 13.- Frecuencia de Actividades de Mantenimiento de la PDARD .....	53
Tabla 14.- Determinación del volumen promedio bombeado durante cada ciclo (encendido-apagado de la bomba sumergible) .....	56
Tabla 15.- Parámetros seleccionados para muestreo y caracterización .....	60
Tabla 16.- Resultados entrada PDARD - 31 de Julio 2018 .....	65
Tabla 17.- Resultados salida PDARD - 31 de Julio 2018.....	66
Tabla 18.- Resultados entrada PDARD - 02 de agosto de 2018.....	66
Tabla 19.- Resultados salida PDARD - 02 de agosto de 2018 .....	67
Tabla 20.- Resultados entrada PDARD - 18 de agosto 2016.....	67
Tabla 21.- Resultados salida PDARD - 18 de agosto 2016 .....	68
Tabla 22.- Carga contaminante afluente PDARD - 31 de Agosto 2018 .....	68
Tabla 23.- Carga contaminante efluente PDARD - 31 de Julio de 2018 .....	69
Tabla 24.- Carga contaminante afluente PDARD - 02 de Agosto de 2018 .....	69
Tabla 25.- Carga contaminante efluente PDARD - 02 de Agosto de 2018. ....	70
Tabla 26.- Eficiencias de remoción de carga contaminante 31 de Julio de 2018 .....	70
Tabla 27.- Eficiencias de remoción de carga contaminante 02 de Agosto de 2018 .....	71

Tabla 28.- Cumplimiento del efluente de la PDARD con respecto a lo establecido en el TULSMA..... 74

## CONTENIDO DE ABREVIATURAS O SIGLAS

AASS	Aguas Servidas.
ARD	Agua Residual Doméstica
ARI	Agua Residual Industrial
AWWA	American Water Works Association
CH <sub>4</sub>	Gas metano
CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
Cl	Cloruros
Coli Total	Coliformes Totales
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO	Demanda Química de Oxígeno
DBPs	Subproductos de la Desinfección
H <sub>2</sub> S	Sulfuro de Hidrógeno
H.F.	Hierro fundido
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
N-Total	Nitrógeno Total
OD	Oxígeno Disuelto
P-Total	Fósforo Total
PAMLA	Proceso ascensional de manto de lodos anaerobio (UASB)
pH	Potencial de Hidrógeno.
PLC	Controlador lógico programable
PDARD	Planta depuradora de aguas residuales domésticas.
PVC	Policloruro de vinilo
Q(cmd)	Caudal medio diario
SDT	Sólidos disueltos totales
Ssed	Sólidos sedimentables
SST	Sólidos suspendidos totales
SVT	Sólidos volátiles totales
SSF	Sólidos suspendidos fijos
SSV	Sólidos Suspendidos Volátiles.
SSVLM	Sólidos Suspendidos Volátiles Licor Mezclado
ST	Sólidos totales

T	Temperatura
TRH	Tiempo de retención hidráulica.
TULSMA	Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente.
UV	Rayos Ultravioleta
Ø	Diámetro

# **CAPÍTULO I**

## **1. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LAS AGUAS RESIDUALES**

El agua es indispensable para la existencia y desarrollo de la vida en el planeta tierra. Todos los seres vivos están formados por agua y su consumo es vital para el sustento de estos. La humanidad por siglos ha captado, acumulado y distribuido agua y la ciencia ha ido avanzado constantemente en el tema desde las primeras técnicas de almacenaje, limpieza y distribución hasta las infraestructuras y tecnologías actuales para el tratamiento y depuración de aguas(Condorchem Envitech, 2010).

Los primeros asentamientos humanos tenían en particular características en común, entre las más importantes se encuentra la ubicación, ya que muchas civilizaciones se situaron cerca de fuentes de agua dulce disponible, tales como lagos y ríos. Fue en torno al agua donde se originaron las primeras formas de sociedad(Condorchem Envitech, 2010).

Pero con el uso del agua surgió otro problema: la generación de aguas residuales producto de las mismas actividades humanas. Las referencias más antiguas del uso de drenajes y alcantarillados para evacuación de aguas contaminadas se hallan en la antigua Mesopotamia, con estructuras de desagües que datan de 5.000 años de antigüedad. Se han encontrado excelentes sistemas de evacuación de aguas residuales en ciudades como Chandu-Daro, Mohejo-Daro y Harappa, todas ubicadas en la región de Pakistán Occidental, las mismas que datan de 3.000 años antes de Cristo.

En Jerusalén y Babilonia se construyeron alcantarillados en roca desde el siglo VI antes de Cristo, mientras en la famosa ciudad de Nínive se fabricaron tuberías cilíndricas para el drenaje de las aguas residuales. Pero definitivamente, fue durante el imperio romano donde los sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales se hicieron comunes, con la famosa Cloaca Máxima que data del año 588 antes de Cristo, la misma que descargaba sus aguas en la parte baja del río Tíber (Orozco, 2014).

Sin embargo, la caída del Imperio Romano marcó el inicio de los llamados años oscuros del saneamiento, los que se prolongaron por más de 1000 años. Durante dicha época se abandonó la cultura del agua como fuente de salud y bienestar, siendo una regresión histórica, ya que el agua residual era descargada directamente sin ningún tipo de tratamiento en los cuerpos receptores constituyendo un importante foco de enfermedades de origen hídrico. El vertido directo a las calles se convirtió en una práctica común ya que muy pocas viviendas contaban con instalaciones sanitarias para evacuación de las aguas servidas (Molinos Senante, Hernandez Sancho, & Sala Garrido, 2012).

Posteriormente durante el siglo XVII se empezó a vivir un acelerado proceso de industrialización, dando como resultado un aumento de la población en las grandes urbes, situando en la conciencia de las personas la importancia de una gestión óptima del agua residual (Tarlow, 2007). Fue así, como la civilización buscó la manera de deshacerse de los vertidos, no obstante, aún no se desarrollaban los sistemas de tratamiento de aguas tal cual existen en la actualidad.

Fue hasta inicios del siglo XIX que de manera muy experimental se iniciaron los primeros tratamientos biológicos de aguas residuales, con los primeros descubrimientos de que concentrando los microorganismos descomponedores de la materia orgánica que causa la contaminación biodegradable, se obtenía

una reducción de la contaminación del agua rápidamente, siempre y cuando se efectuara en condiciones controladas.

Para obtener estas condiciones controladas se empezaron a utilizar tanques conocidos como reactores, en los cuales se favorecía la adherencia de los microorganismos a un medio sólido, o en su defecto por concentración en el propio líquido, dando como resultado el nacimiento de los procesos denominados lodos activados.

Para el año de 1871, el químico londinense William Dibdin utilizó un filtro de arena con el propósito de tratar las aguas residuales domésticas, ante diversos resultados negativos, Dibdin cambio la arena por piedra con el propósito de favorecer la oxigenación, obteniendo efectos satisfactorios, los mismos que fueron presentados en el año de 1896. Poco a poco fueron mejorando las técnicas de dichos filtros empleando otros elementos filtrantes tales como plástico, etc. Dicho proceso hoy en día se conoce como filtro biológico o también llamado percolador (Orozco, 2014).

Los primeros tratamientos anaeróbicos de los que se tiene referencia datan del año 1891, con el famoso tanque para la descomposición automática de excrementos, efectuado por Moura, este diseño se puede considerar como la génesis del pozo séptico; en el mismo año Scott-Montcrief construyó el primer filtro anaeróbico de aguas residuales, para el año de 1895 se patentó el primer tanque séptico de la mano de Donal Cameron de Inglaterra(Orozco, 2014).

Sin embargo, la implementación de las tecnologías de tratamiento anaeróbico y su desarrollo se inició efectivamente en los años 1970 y se ha prolongado hasta la actualidad, con la participación de Young y McCarthy y Lettinga con la invención del reactor UASB o PAMLA, conocido como Proceso Anaeróbico de Manto de Lodos Ascendente, proceso muy empleado a nivel mundial debido a su bajo costo de operación y mantenimiento.

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Las aguas residuales domésticas, son las provenientes de las actividades de la vida diaria como el lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos efluentes domésticos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes, jabones y grasas, siendo indispensable un proceso depurador para la correcta eliminación de dichos contaminantes.

Por lo general, estos efluentes se los conoce como aguas negras o servidas que, depuradas o sin depurar, desembocan en ríos, lagos, esteros, etc. La importancia de su tratamiento y descontaminación radica en la posibilidad de devolver el líquido a afluentes naturales, sin que estos representen un peligro para el ecosistema.

Es el caso particular del río Daule, el cual a lo largo de su recorrido recibe descargas diversas, muchas de ellas provenientes de plantas de tratamiento pequeñas de urbanizaciones y condominios asentados a lo largo de su margen izquierdo en el sector de la vía a Samborondón. *“El río Daule conforma casi el 40% de la cuenca del Guayas y muere en la Puntilla, en el norte de Guayaquil, para formar el Guayas. En su recorrido recibe fuentes difusas de aguas residuales domésticas y descargas de efluentes casi sin tratamiento de siete poblaciones asentadas en sus márgenes.” (El Universo, 2011)*

El sector de interés para este trabajo de titulación es la vía Samborondón debido a su acelerado crecimiento demográfico y a la carencia de alcantarillado sanitario, estos dos factores son determinantes para que el Municipio de dicho cantón exija como requisito indispensable que cada urbanización cuente con su propia planta depuradora de aguas residuales domésticas eficiente previa su descarga final en el sistema de alcantarillado pluvial o directamente en los cuerpos receptores circundantes (río Daule y río Babahoyo). *“Con el tiempo, el Municipio de Samborondón, ha ido regulando las construcciones y ahora se*

*exige a los promotores que cada ciudadela cuente con su propia planta de tratamiento de aguas servidas.” (El Universo, 2013).*

El presente proyecto de titulación tiene por objeto evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en particular, de tipo anaeróbica, en una urbanización privada en el cantón Samborondón, donde diariamente se trata un caudal promedio de 25 m<sup>3</sup>/d.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de tipo anaeróbica por la cual ingresan diariamente 25 m<sup>3</sup>/d, por medio de un muestreo y caracterización de su efluente, a fin de establecer el grado de eficiencia de esta y el cumplimiento con lo dispuesto en la normativa ambiental vigente.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Describir los diferentes procesos que se llevan a cabo en la planta de tratamiento en estudio.
2. Analizar los resultados obtenidos de los muestreos realizados a la planta de tratamiento.
3. Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de la planta de tratamiento.
4. Plantear mejoras en la eficiencia de remoción de la planta de tratamiento en estudio.

# **CAPÍTULO II**

## **2.1. MARCO TEÓRICO**

### **2.1.1. AGUAS RESIDUALES**

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas, dichas actividades modifican las características físicas, químicas y biológicas de las aguas, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos. La contaminación de las aguas ocurre cuando se vierte en la misma, un elemento o compuesto, ya sea éste orgánico o inorgánico, que, disuelto, disperso o suspendido, alcance una concentración que exceda la tolerancia para un determinado uso (Orozco, 2014).

Entre las diversas clases de aguas residuales se encuentran las aguas residenciales, comerciales, industriales, institucionales o de usos recreativos (Metcalf & Eddy, 1995). Las aguas negras o servidas se originan no solo de desechos humanos, sino también de otras fuentes como corrientes pluviales con desechos arrastrados, infiltraciones subterráneas y descargas industriales. Los componentes presentes en el agua residual ocasionan que el líquido se vuelva de color gris oscuro, formando en su descomposición, gases como sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) y metano ( $CH_4$ ), ambos causantes del olor pestilente de las aguas.

Existen diversos elementos presentes en las aguas residuales, generalmente clasificados en elementos físicos, químicos y biológicos, estos constituyentes son determinados por distintos tipos de análisis y ensayos de laboratorio. En características físicas se encuentran los sólidos totales, color, olor, turbiedad, densidad, entre otros. Entre las características químicas más importantes se tienen Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de

Oxígeno (DQO), Metales, Nitrógeno. Entre las características biológicas se encuentran diversos microorganismos presentes y su toxicidad (Crites & Tchobanoglous, 2000).

Finalmente, se puede definir a las aguas residuales o servidas como la combinación de los residuos líquidos procedentes de residencias, instituciones públicas o privadas, edificaciones industriales y comerciales. Para el efecto se las dividen en dos (2) grandes grupos que son:

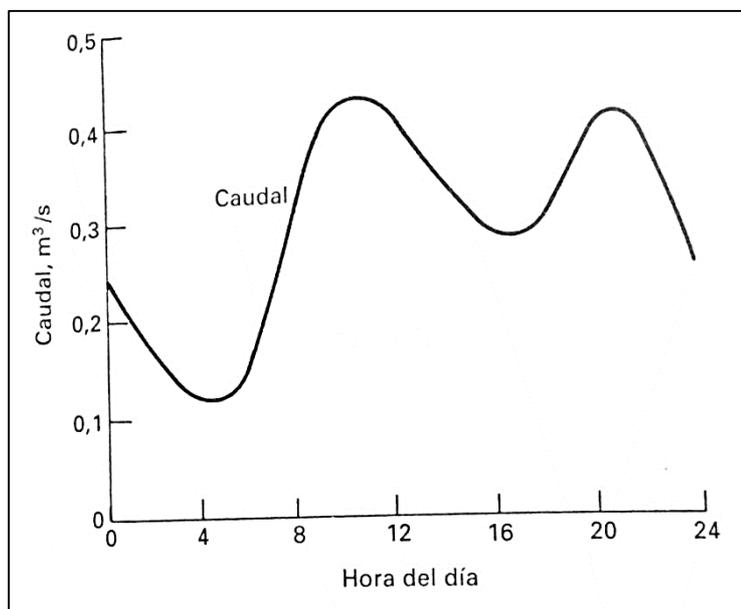
**Aguas Residuales Domésticas (AASS):** Son las provenientes de las actividades domésticas de la vida diaria como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos, limpieza, etc. Estos desechos presentan un alto contenido de materia orgánica, detergentes y grasas.

**Aguas Residuales Industriales (ARI):** Son las provenientes de los diferentes procesos industriales, su composición varía según el tipo de proceso manufacturero. Las ARI pueden tener características muy diversas, éstas pueden ser alcalinas, ácidas, tóxicas, con alta presencia de metales pesados, en algunos casos pueden ser biodegradables, etc.

## **2.1.2. CAUDALES DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

Los caudales de agua residual doméstica registrados en plantas de tratamiento siguen comúnmente una variación diaria. En horas de la madrugada, donde el consumo de agua es pequeño, se registran los caudales mínimos, dichos consumos aumentan a partir de las 6 am hasta pasado el mediodía, dando lugar al primer pico de consumo. El segundo pico de consumo por lo general ocurre al término de la tarde, entre las 19 a 21 horas.

**Ilustración1.- Variación típica del caudal de agua residual doméstica**



Fuente: (Ingeniería de Aguas Residuales Metcalf & Eddy, 1995)

En pequeñas zonas residenciales frecuentemente se determinan los caudales de aguas residuales a partir de la densidad de la población y de la contribución media per cápita. Así también, cuando no existen datos reales de medición de caudales se aconseja asumir que, del consumo de agua potable, alrededor del 70 al 85% corresponde a agua residual doméstica (Metcalf & Eddy, 1995).

**Tabla 1.- Caudales medios estimados de agua residual doméstica**

Origen	Unidad	Intervalo (l/unidad*día)	Valor Típico (l/unidad*día)
Apartamentos	Persona	200-340	260
Hotel, por residente	Residente	150-220	190
Viviendas individuales:			
Casa clase media	Persona	190-350	280
Casa de la clase alta	Persona	250-400	310
Casa de lujo	Persona	300-550	380
Casa semimoderna	Persona	100-250	200
Chalet de verano	Persona	100-240	190

Fuente: (Metcalf&Eddy. Ingeniería de Aguas Residuales., 1995)

Para el diseño de grandes sistemas de alcantarillado sanitario se considera a más del caudal de agua residual generado por la población servida, el caudal de infiltración y las aportaciones incontroladas; siendo el primero el correspondiente al agua del subsuelo que penetra en una red de alcantarillado sanitario a través de tuberías en mal estado, juntas defectuosas, conexiones y paredes de las cajas y cámaras de registro; mientras que las aportaciones incontroladas guardan relación con el agua que proviene de diversos orígenes tales como: bajantes de techos, sótanos, patios y drenajes superficiales, zonas pantanosas, conexiones ilícitas que combinan alcantarillado sanitario y pluvial, etc.

Las normas brasileras NBR 13969 (1997), establecen la contribución diaria de desechos y de carga orgánica por tipo de edificio y de ocupantes, en lo que respecta a contribución de agua residual doméstica para ocupantes permanentes se tienen los valores de: 160,00 l/hab\*día para predios de nivel de ingresos altos, 130,00 l/hab\*día para predios de nivel de ingresos medios y 100,00 l/hab\*día para predios de nivel de ingresos bajos: con una contribución de carga orgánica expresada en gDBO<sub>5,20</sub>/hab\*día de 50,00, 45,00 y 40,00 respectivamente.

### **2.1.3. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

El agua residual doméstica está formada de componentes físicos, químicos y biológicos, y por lo general cuenta con una alta presencia de materiales orgánicos y en menor proporción de inorgánicos. Estos elementos pueden estar en suspensión o disueltos en el agua residual.

La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, heces, grasas, material vegetal, y diversos materiales como jabones y sintéticos. Comúnmente, las aguas residuales domésticas poseen características

similares y su composición típica se divide en tres grupos que son: fuerte, media y débil.

**Tabla 2.- Composición típica de las aguas residuales domésticas**

Contaminante	Unidad	Débil	Media	Fuerte
ST	mg/l	350	720	1200
SDT	mg/l	250	500	850
SST	mg/l	100	220	350
SSV	mg/l	80	165	275
SSF	mg/l	20	55	75
SSed	mg/l	5	10	20
DBO5	mg/l	110	220	400
DQO	mg/l	250	500	1000
N-Total	mg/l	20	40	85
N-Org	mg/l	8	15	35
N-NH3	mg/l	12	25	50
P-Total	mg/l	4	8	15
P-Org	mg/l	1	3	5
Cl	mg/l	30	50	100
SO4	mg/l	20	30	50
G&a	mg/l	50	100	150
Coli-Total	NMP/100ml	10 <sup>6</sup> -10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> -10 <sup>9</sup>

Fuente: (Metcalf&Eddy. Wastewater Engineering. Fourth Ed., 2003)

### 2.1.3.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

A continuación, se detallan las diversas características físicas de las aguas residuales domésticas:

#### **Sólidos Totales (ST)**

Los sólidos totales se refieren a todos los sólidos presentes en el agua, siendo expresado en concentración de masa de sólidos por unidad de volumen de agua (mg/L). El ensayo de laboratorio utilizado para su determinación consiste en calentar una muestra de agua (generalmente de 50mL) a una temperatura de 104°C (con precisión de ±1°C) por 24 horas, determinando luego la masa del residuo remanente al evaporarse el agua. La relación entre la masa del

residuo y el volumen utilizado de agua es la cantidad de sólidos totales en el agua y se representa como ST (Crites & Tchobanoglous, 2000).

### **Sólidos Suspendidos Totales (SST)**

Los sólidos suspendidos totales corresponden a la fracción no filtrable de los sólidos totales. Para este proceso suele emplearse un filtro hecho a base de fibra de vidrio (Whatman GF/C), el mismo que cuenta con un tamaño nominal de poro de 1,2 micrómetros, aunque también suele emplearse un filtro de membrana de policarbonato.

### **Sólidos Disueltos Totales (SDT)**

El total de sólidos disueltos (a menudo abreviado como TDS, del inglés: Total Dissolved Solids) es una medida del contenido combinado de todas las sustancias inorgánicas y orgánicas contenidas en un líquido en forma molecular, ionizada o en forma de suspensión micro-granular. En general, la definición operativa es que los sólidos deben ser lo suficientemente pequeños como para sobrevivir filtración a través de un filtro con poros de 0,45 micrómetros (tamaño nominal, o más pequeño). Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente, para su remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación.

### **Sólidos Volátiles Totales (SVT)**

Los sólidos volátiles totales se refieren a los sólidos que se volatilizan (evaporan o incineran) al someter los sólidos totales a una temperatura de 550°C (con precisión de  $\pm 50^\circ\text{C}$ ) por 24 horas. Así como los sólidos totales, se expresan en concentración de sólidos por unidad de volumen (mg/L). El análisis de Sólidos volátiles se utiliza frecuentemente para determinar la estabilidad biológica de los lodos presentes en las aguas residuales.

## **Olores**

La presencia de olores en aguas residuales se da debido a los gases liberados durante los procesos de descomposición de la materia orgánica presente en la misma, el olor característico del agua residual séptica es el ocasionado por el sulfuro de Hidrógeno, también llamado “huevos podridos” u “olor a diablo” que se da por la acción de microorganismos anaerobios.

## **Temperatura**

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica. Las descargas calientes de ciertas aguas residuales también son las causantes del aumento de temperatura.

## **Turbidez**

La turbidez, medida de la propiedad de transmisión de la luz del agua, es otro ensayo utilizado para indicar la calidad de los vertidos de aguas residuales con respecto a la materia suspendida.

## **Color**

El color es un indicativo de la edad de las aguas residuales. El agua residual reciente suele ser más clara, específicamente gris; sin embargo, a medida que los compuestos orgánicos son descompuestos por las bacterias presentes, el oxígeno disuelto en el agua residual se reduce y el color cambia a negro. En esta condición, se dice que el agua residual ha perdido su oxígeno disuelto por lo tanto es séptica.

### **2.1.3.2. CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

Entre las principales características químicas del agua residual tenemos las siguientes:

#### **Materia Orgánica**

La materia orgánica está compuesta en un 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas.

#### **Aceites y Grasas**

En las aguas residuales domésticas provienen de la mantequilla y los aceites vegetales empleados en la preparación de los alimentos. Son elementos estables y muy difíciles de descomponer por las bacterias presentes, por lo general su remoción se realiza en los pretratamientos.

#### **Agentes Tensoactivos**

Son los responsables de la aparición de espumas en las plantas de tratamiento de aguas residuales y están formados por moléculas de gran tamaño ligeramente solubles en el agua. Su determinación se realiza analizando el cambio de color de una muestra normalizada de azul de metileno. Los agentes tensoactivos provienen en su mayoría de detergentes sintéticos no biodegradables.

### **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas depuradoras de aguas residuales.

La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los microorganismos presentes en el agua residual para llevar a cabo sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días.

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

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de sustancias susceptibles de ser oxidadas por medios químicos que hay disueltas o en suspensión en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en miligramos de oxígeno diatómico por litro (mg O<sub>2</sub>/l).

### **Nitrógeno**

El nitrógeno es un elemento importante en aguas residuales domésticas ya que es necesario para el crecimiento de microorganismos. Si el agua residual no contiene suficiente cantidad de nitrógeno pueden suceder problemas por déficit de nutrientes en un tratamiento secundario, no obstante, altas concentraciones de nitrógeno contribuyen al decrecimiento de oxígeno y eutrofización de las aguas.

## **Fósforo**

Al igual que el Nitrógeno, el Fósforo (P) constituye un nutriente esencial para el crecimiento de algas y bacterias. Por lo general en aguas residuales el fosforo puede hallarse en concentraciones de 4 a 15 mg/L y es de vital importancia su adecuada remoción ya que puede causar eutrofización de los cuerpos receptores.

## **Oxígeno Disuelto**

El oxígeno disuelto también conocido como OD, es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como otras formas de vida. Su presencia en aguas residuales evita la formación de olores desagradables por lo que es aconsejable disponer de cantidades suficientes del mismo en las plantas de tratamiento.

## **pH**

La concentración de ión Hidrógeno es un parámetro de vital importancia en la calidad de las aguas residuales, ya que, el intervalo adecuado para la óptima proliferación y desarrollo de la vida biológica es muy angosto y crítico. El agua residual con concentraciones de pH inadecuadas presenta graves complicaciones en su tratamiento a través de medios biológicos.

### **2.1.3.3. CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

#### **Bacterias**

Se encuentran presentes en el agua residual y tienen un rol importante en la degradación y descomposición de la materia orgánica. Se pueden clasificar en base a su metabolismo como heterótrofas y autótrofas, a su vez, ambas se pueden dividir en anaerobias, aerobias o facultativas en función de su necesidad de oxígeno.

#### **Algas**

Su presencia representa serios inconvenientes en aguas superficiales, debido a su rápido crecimiento en ambientes favorables, dando lugar a condiciones de eutrofización de ríos, lagos y embalses. La formación de algas predomina en efluentes ricos en nutrientes biológicos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales y es uno de los mayores problemas en las tecnologías de tratamiento.

### **2.1.4. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

El tratamiento de aguas residuales domésticas consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (efluente tratado) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reúso. Los niveles de tratamiento de aguas residuales domésticas se pueden clasificar en tres (3) categorías que son: tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (o también conocido como tratamiento avanzado).

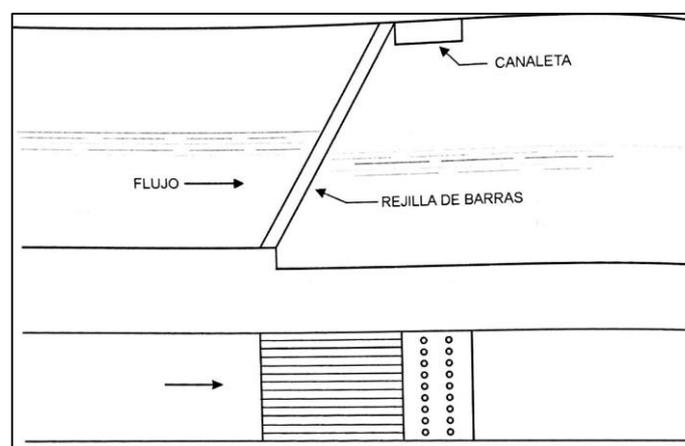
### **2.1.4.1. PRETRATAMIENTO.**

En una planta de tratamiento de aguas residuales, el pretratamiento es el primer proceso que se efectúa para el acondicionamiento de las aguas, de manera que permita facilitar posteriormente los procesos de tratamiento, así como preservar las instalaciones de posibles erosiones y atascamiento en equipos de bombeo. Entre los principales procesos de pretratamiento se encuentran las rejillas y tamices (para la separación de partículas de gran tamaño) y desarenadores (para eliminar la arena presente en las aguas residuales).

#### **Cribado o Desbaste**

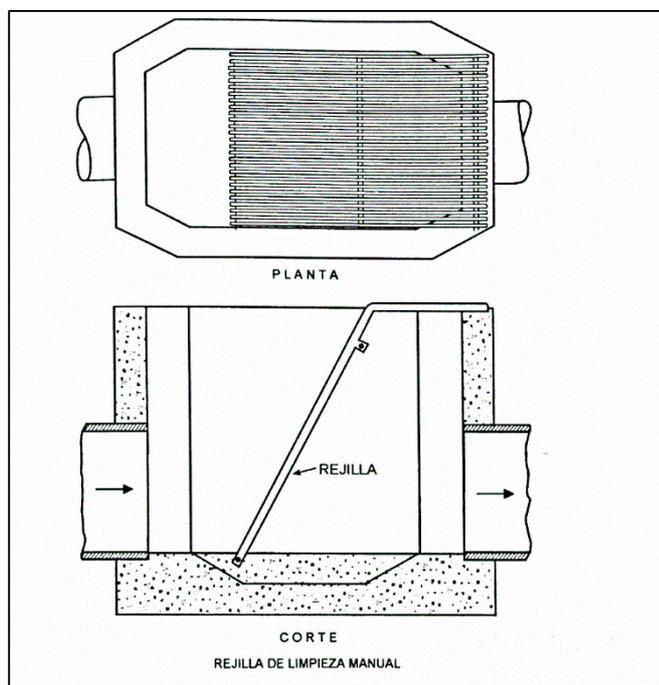
Es el proceso empleado para separar material grueso del agua, mediante el paso del líquido a través de una criba o rejilla previo su ingreso a la planta de tratamiento. La criba puede ser de cualquier material perforado ordenadamente como una plancha metálica, así también, suelen construirse con barras o varillas de hierro que se disponen a una determinada separación. En el tratamiento de aguas residuales domésticas normalmente se usan rejillas gruesas compuestas por barras o varillas de acero con el objetivo de proteger bombas, válvulas, tuberías, equipos y demás componentes.

**Ilustración2.- Esquema básico de pretratamiento de aguas residuales**



Fuente: (Tratamiento de Aguas Residuales Jairo Romero Rojas, 2010)

**Ilustración3.- Vista en planta y corte de una unidad de desbaste con rejillas**



*Fuente: (Tratamiento de Aguas Residuales Jairo Romero Rojas, 2010)*

### **Desarenadores**

Los desarenadores se utilizan para remover arena, grava, partículas u otro material sólido pesado que tenga una velocidad de asentamiento o peso específico mucho mayor que el de los sólidos orgánicos degradables de las aguas residuales (Rojas, 2010). La utilización de desarenadores protege la erosión de equipos mecánicos y reducen la acumulación y formación de depósitos en tuberías, canales y conductos. Adicionalmente los desarenadores minimizan la limpieza de digestores cuando existe una excesiva acumulación de arena.

### **2.1.4.2. TRATAMIENTO PRIMARIO.**

En este proceso se busca eliminar una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica del agua residual. Esta eliminación se suele llevar a

cabo por medio de procesos de sedimentación, flotación, coagulación-floculación, filtración, etc.

### **Sedimentación.**

Es un proceso físico también llamado decantación en donde se realiza una separación por efecto de la gravedad, que hace que una partícula más densa que el agua tenga una trayectoria descendente, depositándose en el fondo del sedimentador. Este proceso de tratamiento está en función de la densidad del líquido, del tamaño, peso específico y de la configuración de las partículas.

El objetivo principal de la decantación es eliminar los sólidos en suspensión presentes en las aguas residuales y la materia orgánica, así como la protección de los siguientes procesos de tratamiento.

### **2.1.4.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO.**

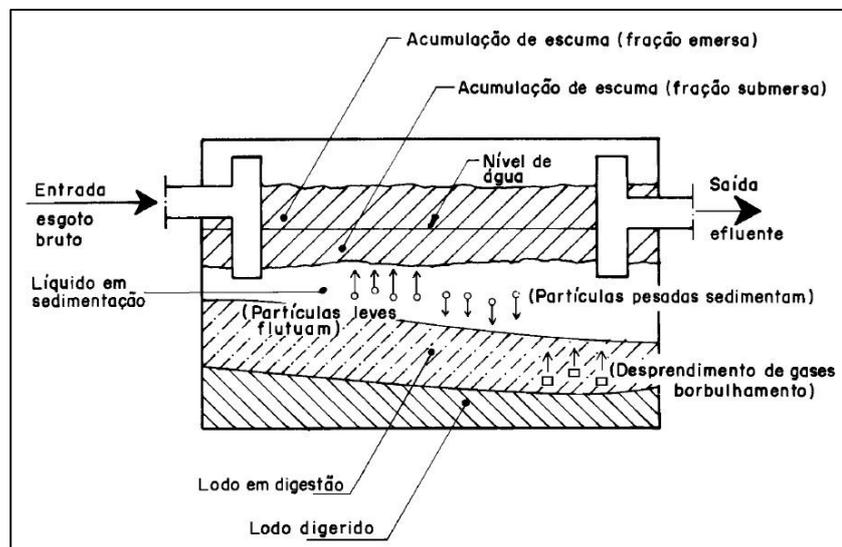
Los tratamientos secundarios constituyen una serie de importantes procesos de naturaleza biológica de tratamiento de las aguas residuales que tienen en común la utilización de microorganismos (entre las que destacan las bacterias) para llevar a cabo la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto coloidal como disuelta.

Los procesos de tratamiento secundario pueden ser aerobios (en presencia de Oxígeno) o anaerobios (sin presencia de Oxígeno), y estos pueden ser: Contactores Biológicos, Tanques Sépticos, Procesos de Lodos Activos, Proceso Ascensional de Manto de Lodos Anaerobio (PAMLA o UASB), Reactores Discontinuos Secuenciales (SBR), Digestión Anaerobia, etc.

## **Tanques Sépticos**

Es un proceso muy empleado y se caracteriza porque en él la decantación y digestión anaerobia ocurren dentro del mismo tanque, los que normalmente tienen uno o varios compartimentos dispuestos en serie. Para aguas residuales domésticas típicas la remoción de DBO en un tanque séptico puede ser del 30 al 50%, de grasas y aceites entre el 70 al 80%, de fósforo alrededor del 15% y entre un 50 al 70% de Sólidos suspendidos (Rojas, 2010).

**Ilustración 4.- Esquema general de un tanque séptico**



Fuente: (Asociación Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 7229, 1993)

## **Lodos Activados**

El tratamiento de cultivo suspendido más conocido como lodos activados o fangos activos es el proceso de más amplio uso para el tratamiento de aguas residuales que tienen un aporte importante de materia orgánica biodegradable. Los procesos de fangos activos más empleados son aireación prolongada (para lodos activos de carga baja); convencional (o lodos activados de carga media) y lodos activados de alta carga. Procesos de fangos activados bien operados logran obtener remociones de la  $DBO_5$  entre un 85% a 98% y de

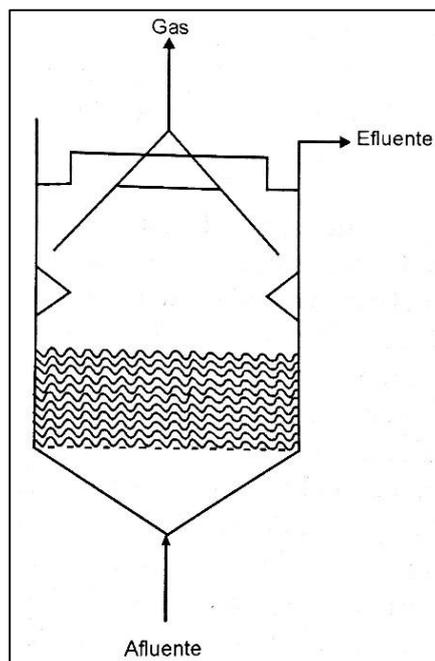
nitrógeno hasta 90% si es que se cuenta con zonas de nitrificación y desnitrificación complementando el sistema.

### **Proceso Ascensional de Manto de Lodos Anaerobio (PAMLA)**

El proceso ascensional de manto de lodos anaerobio (PAMLA) o también llamado por sus siglas en inglés como UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket), es un proceso por el cual el agua residual ingresa por el fondo de un reactor y pasa a través de un manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos.

El tratamiento se realiza por contacto del agua residual con el manto de lodos granulado o floculento situado en el interior del reactor. El mecanismo de formación del manto de lodos no está claramente definido, sin embargo, se considera que aguas residuales diluidas con concentraciones de Sólidos suspendidos totales menores a 1.000 mg/l producen un manto de lodos de mejores características (Rojas, 2010).

**Ilustración5.- Esquema básico de un reactor PAMLA.**



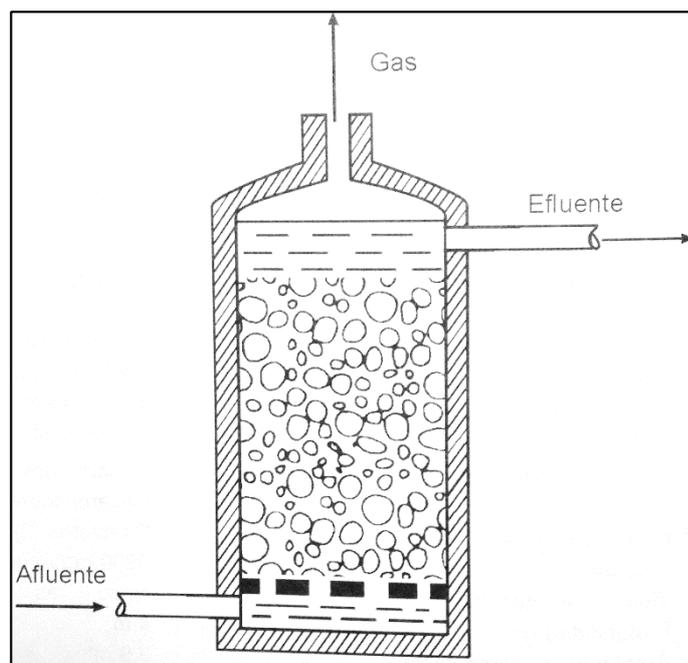
Fuente: (Tratamiento de Aguas Residuales Jairo Romero Rojas, 2010)

Inicialmente estos reactores anaerobios estaban dirigidos a tratar aguas residuales industriales (ARI) que normalmente tienen altas temperaturas y concentraciones elevadas de DQO, lo cual es beneficioso para la digestión anaeróbica, sin embargo, gran parte del interés de estos sistemas se volcó al tratamiento de las aguas residuales domésticas (ARD) (Moreno & Moya, 1995).

### **Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA)**

Un filtro anaeróbico de flujo ascendente consiste en un reactor biológico donde el agua residual es depurada por medio de microorganismos no aerobios, los mismos que están dispersos tanto en el espacio vacío del reactor como en el medio filtrante. Generalmente un FAFA está constituido por un tanque en cuyo interior cuenta con un relleno de un medio sólido el que sirve como soporte para el crecimiento biológico anaerobio. Su funcionamiento se realiza cuando el agua residual entra en contacto con el crecimiento bacteriano adherido al medio filtrante, ocasionando que las bacterias queden retenidas en el medio, impidiendo su salida en el efluente (Rojas, 2010).

**Ilustración 6.- Esquema básico de un FAFA**



Fuente: (Tratamiento de Aguas Residuales Jairo Romero Rojas, 2010)

#### **2.1.4.4. TRATAMIENTO TERCIARIO**

También conocido como tratamiento avanzado, se realiza con el fin de eliminar la carga orgánica residual y disminuir aquellas otras sustancias contaminantes que restan de los tratamientos secundarios, como, por ejemplo, los nutrientes, fósforo y nitrógeno. Estos pueden ser: Intercambio Iónico, Adsorción en carbón activo, Ultrafiltración, Osmosis Inversa, Desinfección, etc.

##### **Desinfección**

La desinfección del agua es considerada como el principal método para la desactivación o destrucción de organismos patógenos con el objetivo de prevenir la proliferación de enfermedades de origen hídrico.

Es importante aclarar que para el caso particular del Ecuador según lo establecido en los numerales 5.6.5.1 y 5.6.5.2 de las NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES (CO 10.07 – 601) de la Secretaría del Agua; la desinfección de aguas residuales domésticas no es recomendable, exceptuando para los casos en los que el cuerpo receptor demande una alta calidad bacteriológica y no sea posible la construcción de lagunas, en dichos casos se podrá considerar la desinfección de efluentes secundarios en forma intermitente y con cloro, siendo el caso de cuerpos receptores usados para actividades recreativas con contacto directo. Asimismo, la norma indica que la desinfección de desechos crudos o efluentes primarios no es considerada una opción técnicamente aceptable, por el alto consumo de cloro por presencia de los sólidos disueltos.

Entre las principales desventajas de la cloración de aguas residuales domésticas es la generación de subproductos tóxicos, dicho fenómeno fue descubierto e investigado desde los años 70, encontrándose subproductos como las cloraminas, los trihalometanos, ácidos haloacéticos y halógenos

orgánicos disueltos, que han sido identificados como potencialmente cancerígenos en concentraciones menores de 0.1 mg/L, los que a su vez representan un impacto considerable en ecosistemas y cuerpos receptores de estos efluentes clorados.

Por lo tanto, es de suma importancia que el agua residual doméstica sujeta a un proceso de desinfección esté adecuadamente tratada previa la realización de dichas actividades, a fin de que la acción de cualquier desinfectante sea eficaz.

Entre los principales compuestos utilizados en la desinfección de aguas residuales domésticas se tienen los siguientes:

Desinfección con Cloro: Es el desinfectante mayormente utilizado en los sistemas de tratamiento de aguas residuales cuando se prevé su reutilización cuyo uso final requiera ausencia de microorganismos patógenos; sin embargo, tal como se mencionó previamente, se debe prestar especial atención debido a los subproductos de desinfección (DBPs) que se pudieren generar al emplear altas dosis.

Desinfección con Dióxido de Cloro: Esta sustancia es altamente bactericida y tiene un poder de desinfección igual o superior al Cloro. La generación del dióxido de cloro debe llevarse a cabo en el sitio ya que se trata de un gas altamente inestable y explosivo. La química del dióxido de cloro en medio acuoso no es bien conocida en la actualidad.

Desinfección con rayos ultravioleta: Un eficaz bactericida y virucida son los rayos ultravioletas bien dosificados. En la actualidad la lámpara de arco de mercurio a baja presión es el principal procedimiento de generación de rayos UV para la desinfección de aguas residuales. La desinfección a partir de rayos ultravioleta constituye un agente desinfectante físico, por lo cual no produce residuos tóxicos al no tratarse de un agente químico como el cloro o el dióxido de cloro.

## **2.1.5. CONSIDERACIONES GENERALES DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO ANAERÓBICO**

### **2.1.5.1. EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO ANAERÓBICOS**

La tecnología de tratamiento anaeróbico de aguas residuales domésticas se encuentra extendida en el mundo entero, es un proceso muy útil cuando no se dispone de muchos recursos económicos, siendo el caso de la mayoría de las poblaciones pequeñas de países subdesarrollados (Orozco, 2014), sus principales ventajas son:

1. Proceso más económico y menor requerimiento energético
2. Menor producción de fangos en comparación con los sistemas aerobios
3. Fácil manejo y operación

Entre sus principales desventajas se tienen:

1. Mayores áreas constructivas que los sistemas aerobios
2. Mayores tiempos de retención hidráulica
3. Generación de olores

Los principales tipos de reactores anaeróbicos que son utilizados frecuentemente para el tratamiento de las aguas residuales domésticas son: lagunas anaerobias, tanques sépticos, filtros anaeróbicos y reactores PAMLA.

En lo que respecta a la eficiencia de remoción de contaminantes se conoce que los sistemas anaerobios son una buena alternativa para efectuar tratamiento grueso, con remociones de DBO de hasta el 80% (Orozco, 2014)

El porcentaje de rendimiento típico de los procesos anaerobios en lo que concierne a eficiencia de remoción del parámetro DBO se sitúa en el orden del

80 al 90%, y por cada DBO removida se remueve 1,5 veces la Demanda Química de Oxígeno. En cuanto a la producción de biogás, metano y lodo, estas se encuentran en el orden de 0,5 y 0,35 m<sup>3</sup>/kg de DQO removida para las primeras dos y entre 0,05 – 0,10 kgSSV/kg de DQO removida para la producción de lodo(Rojas, 2010).

Según estudios cubanos realizados a escala piloto de dos sistemas anaerobios (un reactor UASB y una laguna anaerobia) para tratamiento de aguas residuales domésticas, en ambos casos se han hallaron remociones de DQO superiores al 70% (Crombet Grillet, Abalos Rodríguez, Rodríguez Pérez, & Pérez Pompa, 2016).

La Asociación Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), establece que un filtro anaerobio en conjunto con un tanque séptico obtiene remociones de DBO y DQO de hasta el 75 y 70% respectivamente, para temperaturas superiores a 25 °C.

**Tabla 3.- Porcentaje de remoción de contaminantes según el tipo de tratamiento en conjunto con un tanque séptico**

<b>Proceso/Parámetro</b>	<b>Filtro anaerobio</b>	<b>Filtro aerobio</b>
DBO <sub>5,20</sub>	40 a 75	60 a 95
DQO	40 a 70	50 a 80
Sólidos en suspensión	60 a 90	80 a 95
Sólidos sedimentables	70 o mas	90 o mas
Nitrógeno amoniacal	-	30 a 80
Nitrato	-	30 a 70
Fosfato	20 a 50	30 a 70
Coliformes fecales	-	-

Los valores límites inferiores se refieren a temperaturas inferiores a 15 ° C; los valores límite superiores son para temperaturas por encima de 25 ° C, también influenciados por las condiciones operativas y el grado de mantenimiento.

*Fuente: (Asociación Brasileira de Normas Técnicas ABNT NBR 13969, 1997)*

## **2.1.5.2. CRITERIOS GENERALES DE UN TANQUE SÉPTICO.**

Rojas (2010) establece que la capacidad ideal de un tanque séptico se puede estimar de varias maneras diferentes en base a la población servida o en base al caudal afluente y el TRH, a través de las siguientes ecuaciones:

- $C = 0,18 P + 2$
- $C = 1,5 Q$
- $C = 4,26 + 0,75 Q_1$

Donde:

C= capacidad total del tanque séptico en m<sup>3</sup>

P= población servida

Q= caudal de aguas residuales en m<sup>3</sup>/día para Q menores a 5,7 m<sup>3</sup>/día

Q<sub>1</sub>= caudal de aguas residuales en m<sup>3</sup>/día para Q entre 5,7 y 380 m<sup>3</sup>/día

En términos generales Rojas (2010) recomienda que el periodo de retención del agua en el interior de un tanque séptico debe ser mayor de 24 horas. A su vez la Asociación de Normas Técnicas Brasileñas NBR 7229 de 1993, indica que el volumen útil de un tanque séptico deber ser calculado por la siguiente fórmula:

$$V = 1000 + N (CT + K L_f)$$

Donde:

V= Volumen útil en litros

N= número de personas por unidad de contribución

C= contribución de desechos, en litros/persona\*día

T= periodo de detención hidráulica, en días

K= tasa de acumulación de lodo digerido, en días

L<sub>f</sub>= contribución de lodo fresco en litros/persona\*día

### 2.1.5.3. FUNCIONAMIENTO DEL REACTOR PAMLA

Actualmente alrededor del 60% de las plantas de tratamiento anaeróbico que operan en todo el mundo son basadas en el modelo de diseño UASB o PAMLA. Estos reactores son aplicables para el tratamiento de aguas residuales domésticas a temperaturas altas y que tienen un alto contenido de sólidos suspendidos. La eficiencia de los reactores UASB está regulada por un gran número de factores que incluyen las características de las aguas residuales, la aclimatación de lodo de siembra, pH, nutrientes, presencia de compuestos tóxicos, velocidad de carga, velocidad ascensional del flujo, tiempo de retención hidráulica (TRH), mezcla líquida y diseño del reactor que incide en el crecimiento del manto de lodos (M.K. Daud, et al., 2018).

**Tabla 4.- Comparación de rendimiento de UASB con otras tecnologías depuradoras de aguas residuales.**

Parámetro	PAMLA o UASB	Proceso de Lodos Activados	Filtración Aeróbica	Lagunas de Estabilización	Reactor de Lecho Móvil
% remoción DBO	75 a 83	85 a 90	80 a 90	75 a 85	85 a 95
% remoción DQO	70 a 80	80 a 95	85 a 90	70 a 85	85 a 90
% remoción SST	70 a 80	85 a 90	75 a 85	70 a 85	85 a 95
TRH	4 a 10 horas	12 a 14 horas	13 a 14 horas	8 a 15 días	8 a 12 horas
Generación de Biogás	0,05 a 0,25 (m <sup>3</sup> /kg DQO removida)	N.A.	N.A.	0,05 a 1,5 m <sup>3</sup> / kg DBO <sub>5</sub> removida)	N.A.

*Fuente: (Adaptado de Effect of Different Parameters and Developments for Domestic Wastewater Treatment Journal of Chemistry, M.K. Daud, et al., 2018)*

### **Ventajas de la Tecnología UASB**

1. Construcción simple y bajo costo de operación y mantenimiento debido a la disponibilidad local de material de construcción y otros componentes.
2. Robustez en la eficacia del tratamiento y amplia aplicabilidad desde muy pequeña a muy grande escala.
3. La energía generada se puede utilizar para generar calor y puede utilizarse para reducir costos de operación (en plantas de grandes dimensiones).
4. Baja producción de lodo en comparación con los procesos aeróbicos. El lodo producido se estabiliza teniendo buenas características de deshidratación, pueden almacenarse durante períodos de tiempo prolongados y reutilizarse como un inóculo para sembrar en otros reactores UASB.
5. Tiempo de inicio rápido (aproximadamente una semana) mediante lodo anaeróbico granular como semilla.
6. Capacidad para soportar cargas orgánicas de choque.
7. Capacidad para tratar las aguas residuales debido a la disponibilidad de macro y micronutrientes y la estabilidad del pH sin adición de cualquier producto químico.

### **Desventajas de la Tecnología UASB**

1. Necesita un tratamiento posterior ya que los patógenos no se eliminan por completo.
2. Eliminación incompleta de nutrientes y, por lo tanto, necesidad de tratamiento posterior.
3. Se requiere un tiempo de arranque prolongado debido a la velocidad de crecimiento lenta de los microorganismos en caso de que el lodo activado no sea ampliamente disponible (inóculo)
4. Problema de olor, toxicidad y corrosión: el H<sub>2</sub>S se genera en la digestión anaeróbica, especialmente cuando hay un alto nivel concentración de

sulfato en las aguas residuales. El biogás necesita una manipulación más adecuada para evitar el mal olor.

5. En regiones frías, la temperatura debe mantenerse dentro de (15-35 ° C) para lograr un rendimiento estable.

#### **2.1.5.4. CRITERIOS GENERALES DE REACTORES PAMLA**

Los principales criterios para el diseño de reactores PAMLA utilizados en el tratamiento de aguas residuales domésticas son: la carga hidráulica y las velocidades de flujo. (Busato, 2004)

La carga hidráulica volumétrica es la cantidad o el volumen de agua residual doméstica que ingresa diariamente al reactor por unidad de volumen:

$$CHV = Q/V$$

Donde:

CHV: carga orgánica volumétrica (m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>d<sup>-1</sup>)

Q: Caudal (m<sup>3</sup>d<sup>-1</sup>)

V= Volumen del reactor (m<sup>3</sup>)

El tiempo de retención hidráulica (TRH) corresponde al inverso de la carga orgánica volumétrica, por lo tanto, es TRH=V/Q.

Estudios experimentales demuestran que los valores de carga hidráulica volumétrica no deben ser mayores a 5,0 m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>d<sup>-1</sup>, es decir que el TRH mínimo requerido para reactores PAMLA es 4,8 horas. (Busato, 2004)

Se ha evidenciado que reactores PAMLA con valores de carga hidráulica inferiores al TRH de 4,8 horas presentan problemas como los siguientes:

1. Pérdida excesiva de biomasa al interior del reactor, debido al arrastre de lodos juntamente con el efluente
2. Reducción de tiempo de retención celular (edad de lodo) dando lugar a una desestabilización de sólidos al interior del reactor.

En lo que respecta a las velocidades ascensionales recomendadas para el afluente de reactores UASB estas se encuentran en el orden de 0,5 a 0,7 m/h para caudales medios diarios.

Para Rojas (2010), el TRH en los reactores PAMLA depende principalmente de la temperatura, siendo los siguientes los valores recomendados:

1. Para temperaturas de 16 a 19 °C: de 10 a 14 horas.
2. Para temperaturas de 22 a 26 °C: de 7 a 9 horas.
3. Para temperaturas mayores a 26 °C: mayor a 6 horas.

Orozco (2014), establece los parámetros de diseño de un reactor UASB para ARD a 25°C, algunos de ellos se detallan a continuación:

**Tabla 5.- Parámetros de diseño de un reactor PAMLA**

PARAMETRO	FÓRMULA	UNIDAD	VALOR
SST Máximos	-	mg/l	1000
SST/DQO	-	-	<0,5
Vr (velocidad ascensional)	$Q/A_{PAMLA}$	m/h	<1,00

*Fuente: (Adaptado de Bioingeniería de Aguas Residuales, Orozco2014)*

### **2.1.5.5. CRITERIOS GENERALES DE FILTROS ANAERÓBICOS DE FLUJO ASCENDENTE (FAFA)**

Las normas brasileras NBR 7229 (1982, 1993), presentan la siguiente ecuación para el dimensionamiento de un FAFA:

$$V = 1,60 * N * C * T$$

En donde:

V = Volumen del Filtro (m<sup>3</sup>)

N = Número de contribuyentes (hab)

C = Contribución diaria de agua residual doméstica (l \* hab / día)

T = Tiempo de detención hidráulica (día)

### **2.1.5.6. PRODUCCIÓN DE LODOS**

Tanto el Tanque Séptico (TS) como el reactor PAMLA y el Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente (FAFA) generan en su interior lodos viejos o de desecho, los cuales deben ser evacuados periódicamente a fin de mantener un equilibrio en el sistema.

Orozco (2014), clasifica los lodos generados a partir de una PDARD en primarios (materia orgánica particulada cruda) y secundarios (biomasa). El objetivo principal es la reducción de su volumen para facilitar su disposición, otro objetivo es la estabilización de estos para impedir su posterior descomposición en un relleno sanitario.

Según Rojas (2010), la tasa de acumulación de lodos en un tanque séptico corresponde al valor de 0,04 m<sup>3</sup> por persona servida por año. A su vez indica que la capacidad disponible al interior de un tanque séptico para acumulación del lodo debe ser un tercio del volumen del tanque. En plantas de tratamiento biológico anaerobio, la producción de lodos se puede estimar en un 20% de la producción de lodo calculada para un proceso aerobio.

## **2.2. MARCO LEGAL**

En el Ecuador varias leyes rigen el recurso hídrico, su calidad y sus interacciones con el ecosistema, a partir del año 2014 entró en vigor la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUYAA), la misma que en su Artículo 80, prohíbe las descargas de vertidos de aguas residuales en cuerpos receptores sin previamente ser tratadas, e indica lo siguiente: *“Vertidos: prohibiciones y control. Se consideran como vertidos las descargas de aguas residuales que se realicen directa o indirectamente en el dominio hídrico público. Queda prohibido el vertido directo o indirecto de aguas o productos residuales, aguas servidas, sin tratamiento y lixiviados susceptibles de contaminar las aguas del dominio hídrico público”*

A su vez el Código Orgánico del Ambiente COA en su Artículo 196, se refiere al Tratamiento de las aguas residuales urbanas y rurales, e indica que son competencias de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, los cuales deberán *“fomentar el tratamiento de aguas residuales con fines de reutilización, siempre y cuando estas recuperen los niveles cualitativos y cuantitativos que exija la autoridad competente y no se afecte la salubridad pública...”*. Así también en el artículo 196 se menciona que: *“...Cuando las aguas residuales no puedan llevarse al sistema de alcantarillado, su tratamiento deberá hacerse de modo que no perjudique las fuentes receptoras, los suelos o la vida silvestre...”*

*El Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA), en su libro sexto anexo 1, establece las normas generales para descargas de efluentes en los cuerpos receptores. La tabla Nro.10 determina los límites máximos permisibles de descarga en un cuerpo de agua dulce, a continuación, se detallan los límites máximos permisibles de algunos de los parámetros:*

**Tabla 6.- Límite de Descarga a un cuerpo de agua dulce**

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Aceites y Grasas	Sust. Solubles en hexano	mg/l	30,0
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100 ml	10.000
Color real	Color real	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	Mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	DQO	Mg/l	200
Fósforo Total	P	Mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	Mg/l	50,0
Potencial de Hidrógeno	Ph		6-9
Sólidos Suspendidos Totales	SST	Mg/l	130
Sólidos Totales	ST	Mg/l	1.600
Temperatura	°C		Condición natural $\pm 3$

Fuente: (Adaptado del TULSMA Tabla 10 Acuerdo Ministerial 028, 2015)

## **CAPÍTULO III**

### **3. PLANTA DEPURADORA DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS (PDARD)**

#### **3.1. UBICACIÓN DE LA PLANTA DEPURADORA EN ESTUDIO**

La planta depuradora de aguas residuales domésticas (PDARD) materia del presente proyecto de titulación, se encuentra ubicada en el interior de una urbanización privada en la vía a Samborondón, kilómetro. 2.5, en el sector denominado Tornero 3, en el cantón Samborondón, provincia del Guayas. La urbanización cuenta con seis (6) edificios de condominios, en los cuales cada edificio alberga ocho (8) departamentos que cuentan con dos (2) dormitorios cada uno, dando un total de 48 departamentos, cuyos efluentes domésticos son dirigidos por medio de una red interna de alcantarillado sanitario hacia la PDARD.

**Ilustración 7.- Vista del interior de la urbanización**



*Fuente: Elaboración propia.*

### **Ilustración 8.- Planta depuradora de Aguas Residuales Domésticas**



*Fuente: Elaboración propia.*

## **3.2. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA PDARD.**

### **3.2.1. UNIDAD DE DESBASTE**

Como pretratamiento, previo al ingreso a la PDARD, las aguas servidas de la urbanización pasan a través de una unidad de desbaste, la misma que se encuentra construida en hormigón armado y cuenta con una tapa metálica en su parte superior. En el interior de esta unidad de desbaste se sitúan dos (2) rejillas construidas con varillas de hierro de 12mm de diámetro; la primera rejilla cuenta con separaciones entre varillas de 2cms, mientras que la segunda rejilla cuenta con separación entre varillas de 1cm.

El objetivo principal de esta unidad de desbaste es la retención de sólidos tales como: toallas húmedas, preservativos, sólidos gruesos, etc., que logren estar mezclados en el agua residual doméstica y puedan perjudicar el normal funcionamiento de las bombas y equipos del sistema.

Adicionalmente, en la parte superior de cada rejilla existe una caja metálica para acumulación y secado de sólidos. Estas cajas receptoras de los sólidos atrapados en las rejillas cuentan con agarraderas laterales para su retiro y ubicación en el sitio, así como de perforaciones en su plancha inferior para permitir el escurrimiento de las aguas.

**Ilustración 9.- Vista superior de la unidad de desbaste**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Ilustración 10.- Rejillas de desbaste y cajas de recolección de Sólidos**



*Fuente: Elaboración propia.*

### **3.2.2. CÁRCAMO DE BOMBEO**

Luego de la unidad de desbaste el agua residual ingresa por medio de una tubería de PVC Ø6" al cárcamo de bombeo, también llamado pozo húmedo o estación de bombeo. En el fondo del cárcamo se encuentran instaladas dos (2) bombas sumergibles las que se encargan de impulsar el agua residual mediante dos tuberías de PVC Ø2" hacia el primer proceso de tratamiento.

Dentro del pozo se encuentra una canastilla construida en acero inoxidable con planchas perforadas para recolección de sólidos, la cual sirve como pretratamiento complementario de la unidad de desbaste.

Este cárcamo de bombeo se encuentra construido en hormigón armado y para acceder a su interior cuenta con una tapa circular de hierro fundido (H.F.) de 0,50 m de diámetro. El pozo básicamente sirve para tres funciones específicas que son las siguientes:

1. Retener los sólidos gruesos y demás desechos que logren pasar a través de la unidad de desbaste y que pudieren afectar el correcto funcionamiento de la PDARD.
2. Servir de depósito temporal del agua residual doméstica que se genera en el transcurso del día, permitiendo manejar un caudal constante de ingreso a la PDARD a través del equipo de bombeo.
3. Lograr por medio de bombeo alcanzar la altura de carga hidráulica necesaria para el funcionamiento de la PDARD.

**Ilustración 11.- Losa superior y tapa de H.F. del cárcamo de bombeo**



*Fuente: Elaboración propia.*

**Ilustración 12.- Bombas, sensor de nivel y canastilla de recolección al interior del cárcamo**



*Fuente: Elaboración propia.*

Las dimensiones internas del cárcamo de bombeo y de la canastilla de recolección de sólidos son las siguientes:

**Tabla 7.- Dimensiones cárcamo y canastilla de recolección**

Cárcamo de Bombeo		Canastilla de Recolección	
Largo	1,20 m	Largo	0,40 m
Ancho	1,20 m	Ancho	0,40 m
Altura Útil	0,80	Alto	0,40 m

*Fuente: Elaboración Propia.*

El funcionamiento de las bombas sumergibles se encuentra automatizado a través de un controlador lógico programable (PLC), el que está instalado en el tablero de control de la PDARD. Las bombas son idénticas y trabajan alternadamente durante seis (6) horas efectivas de operación cada una, y su funcionamiento está gobernado por un sensor de nivel tipo pera instalado al interior del cárcamo de bombeo, el cual se encarga de enviar la señal de nivel máximo y mínimo de agua para el encendido y apagado de las bombas. Se estima que el volumen útil del cárcamo de bombeo es de 1,00 m<sup>3</sup>.

**Ilustración 13.- Tipo de bombas sumergibles instaladas al interior del cárcamo**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Las características de las bombas sumergibles instaladas al interior del cárcamo de bombeo son las siguientes:

**Tabla 8.- Características de las bombas sumergibles**

Marca	GOULDS
Modelo	WE0511H
Max. Amps	14.5
Potencia	1/2 HP
Rpm	3450
Voltaje	115 V

Fuente: *Elaboración Propia.*

### 3.2.3. TANQUE SÉPTICO

Una vez que el flujo es impulsado desde el cárcamo de bombeo por intermedio de la bomba sumergible que se encuentre en funcionamiento, este ingresa por medio de una tubería de PVC Ø2" al Tanque Séptico, constituyendo el primer proceso de tratamiento en la PDARD. El Tanque está construido en hormigón armado y se encuentra sobrepuesto en el terreno, en su interior consta de dos (2) cámaras dispuestas en serie, las que se encuentran interconectadas.

Para acceder al tanque en su losa superior se hallan instaladas tres (3) tapas circulares de H.F. de Ø0,60 m, la primera tapa está situada al inicio del tanque en la cámara 1, la segunda se ubica entre la cámara 1 y 2, y la tercera se localiza a la salida del flujo en la cámara 2. Se estima que el volumen útil total dentro del tanque es de 18,11 m<sup>3</sup>.

**Tabla 9.- Dimensiones internas tanque séptico**

CÁMARA 1		CÁMARA 2	
Largo:	3,00 m	Largo:	1,50 m
Ancho:	1,50 m	Ancho:	1,50 m
Altura Útil:	2,70 m	Altura Útil:	2,65 m
Volumen Útil:	12,15 m <sup>3</sup>	Volumen Útil:	5,96 m <sup>3</sup>

Fuente: *Elaboración Propia.*

El objetivo de este primer proceso de tratamiento es el siguiente:

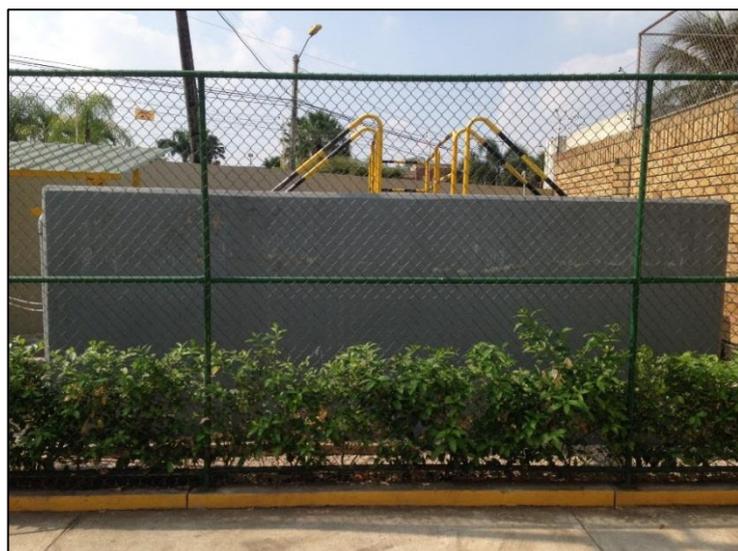
1. Permitir la sedimentación de sólidos presentes en el agua residual, así como la separación y suspensión de las grasas.
2. Iniciar el proceso biológico anaerobio en el agua residual para digestión de la materia orgánica biodegradable.

**Ilustración 14.- Vista superior del tanque séptico.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

**Ilustración 15.- Vista lateral externa del tanque séptico**



*Fuente: Elaboración Propia.*

En la parte inferior externa del tanque séptico, para cada cámara, están instaladas dos (2) válvulas de cierre rápido que permiten purgar el exceso de lodos asentados en el fondo del tanque, los que al evacuar se dirigen hacia el lecho de secado de lodos.

Una vez que el agua pasa por la cámara 2 al interior del tanque séptico, esta sigue su curso hasta el siguiente proceso de tratamiento anaeróbico el que consiste en un reactor PAMLA.

#### **Ilustración 16.- Válvula para purga de lodos de tanque séptico**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### **3.2.4. REACTOR PAMLA O UASB**

A continuación del Tanque Séptico, el agua ingresa a gravedad por medio de una tubería de PVC Ø4" al reactor PAMLA, el cual tiene como objetivo remover anaeróticamente la materia orgánica presente en el agua residual doméstica en forma de sólidos disueltos y suspendidos, mediante la formación de un manto de lodos con alto contenido de bacterias anaerobias en su interior. El reactor PAMLA está construido en hormigón armado y se encuentra semienterrado.

El ingreso del agua residual al reactor PAMLA se realiza al fondo del tanque, y se procura obtener una distribución uniforme del flujo y una velocidad ascensional controlada que permita la correcta formación del manto de lodos.

Para la captación de los gases que se forman al interior del proceso, así como para impedir la salida del manto de lodos, se encuentran instalados dos (2) deflectores y una campana de extracción de gases, estos elementos están contruidos en acero inoxidable. El reactor PAMLA cuenta en su parte inferior externa con una válvula para purga de lodos, la que dirige su descarga hacia el lecho de secado.

**Tabla 10.- Dimensiones internas reactor PAMLA**

Largo interno:	1,65 m
Ancho Interno:	1,65 m
Altura Útil:	3,70 m
Altura Interna Total:	4,25 m
Volumen Útil	10,07 m <sup>3</sup>

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Ilustración 17.- Vista del interior del reactor PAMLA, tubería de descarga y pantalla deflECTORA.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### **3.2.5.FILTRO ANAERÓBICO DE FLUJO ASCENDENTE**

Luego del reactor PAMLA, el efluente ingresa por gravedad a un filtro de grava y arena de flujo ascendente, el mismo que tiene la función de clarificar el agua antes del proceso de desinfección. El agua proveniente del reactor PAMLA ingresa en el fondo del filtro de grava y arena por medio de una tubería PVC Ø4", la que en su estructura se encuentra perforada para permitir que el agua salga hacia el filtro e impida que el material filtrante ingrese a la tubería.

Este filtro está construido en hormigón armado y tiene las siguientes características:

**Tabla 11.- Características del filtro de flujo ascendente**

Largo interno:	2,00 m
Ancho Interno:	2,00 m
Altura Relleno de Grava	0,60 m
Altura Relleno de Arena	0,40 m

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Ilustración 18.- Vista superior del filtro de flujo ascendente y tubería de salida**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### **3.2.6. TANQUE DE DESINFECCIÓN**

Una vez que el agua pasa a través del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente esta continua mediante una tubería de PVC Ø4" por gravedad hacia el tanque de desinfección. En este procesos dosifica un desinfectante para la eliminación de patógenos, virus y bacterias que se encuentren presentes en el agua residual previa su descarga final en el sistema de alcantarillado pluvial del sector.

El tanque de desinfección está construido en hormigón armado y posee divisiones internas para permitir que el líquido desinfectante se mezcle completamente con el flujo y tenga el suficiente tiempo de contacto para realizar el proceso de desinfección. La dosificación de cloro se la realiza automáticamente mediante una bomba dosificadora. Se estima que el volumen útil del tanque de desinfección es de 2,36 m<sup>3</sup>.

**Tabla 12.- Características del tanque de desinfección**

Largo interno:	1,50 m
Ancho Interno:	1,50 m
Altura Útil:	1,05 m
Volumen Útil:	2,36 m <sup>3</sup>

*Fuente: Elaboración Propia.*

El funcionamiento de las bombas dosificadoras de químicos al igual que las bombas sumergibles se encuentra automatizado a través del controlador lógico programable ubicado en el tablero de control de la PDARD. Su operación se realiza alternadamente una hora de trabajo continuo para posteriormente apagarse una hora, transcurrido ese lapso se reinicia el ciclo. El principal propósito de ese funcionamiento es el de preservar los equipos de la PDARD.

**Ilustración 19.- Vista superior del tanque de desinfección**



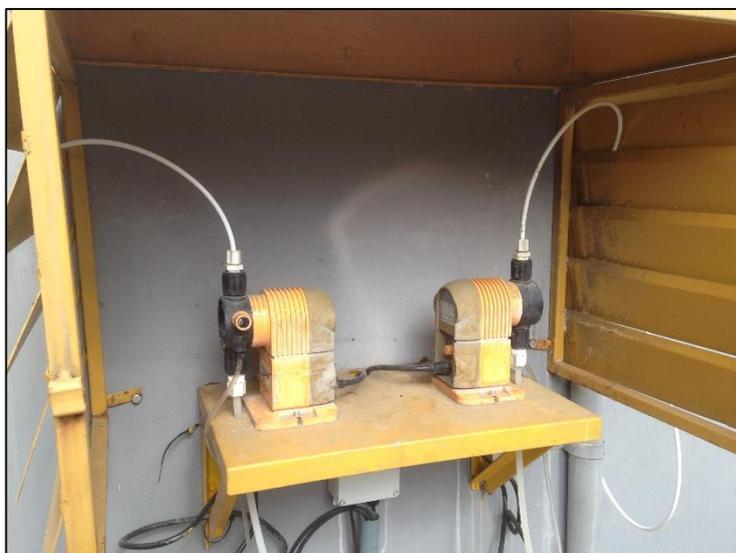
*Fuente: Elaboración Propia.*

**Ilustración 20.- Cloro empleado en el proceso de desinfección.**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### **Ilustración 21.- Bombas dosificadoras de cloro**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### **3.2.7.LECHO DE SECADO DE LODOS**

Para la disposición de lodos purgados tanto del tanque séptico como del reactor PAMLA, se encuentra construido en hormigón armado un lecho para el secado de los lodos, el mismo que tiene la finalidad de acumularlos temporalmente a fin de que estos pierdan humedad, reduciendo su volumen para poder ser recogidos y evacuados como material de desecho.

El lecho de secado de lodos consta de dos (2) cámaras, las cuales tienen la capacidad de almacenar en conjunto un volumen de 0,70 m<sup>3</sup> de lodos húmedos. Además, posee en su interior un lecho filtrante de grava y arena con una tubería de drenaje de PVC Ø2", la cual dirige su descarga hacia el cárcamo de bombeo.

Para el control del ingreso de los lodos hacia cada una de las cámaras del lecho de secado están instaladas dos (2) válvulas de PVC Ø2", una en cada cámara. El lecho de secado de lodos cuenta con una cubierta de estructura metálica y planchas traslúcidas de policarbonato para permitir que los rayos

solares pasen hacia el lecho y a su vez impida el ingreso del agua en época lluviosa.

**Ilustración 22.- Vista de las cámaras del lecho de secado de lodos**



*Fuente: Elaboración Propia.*

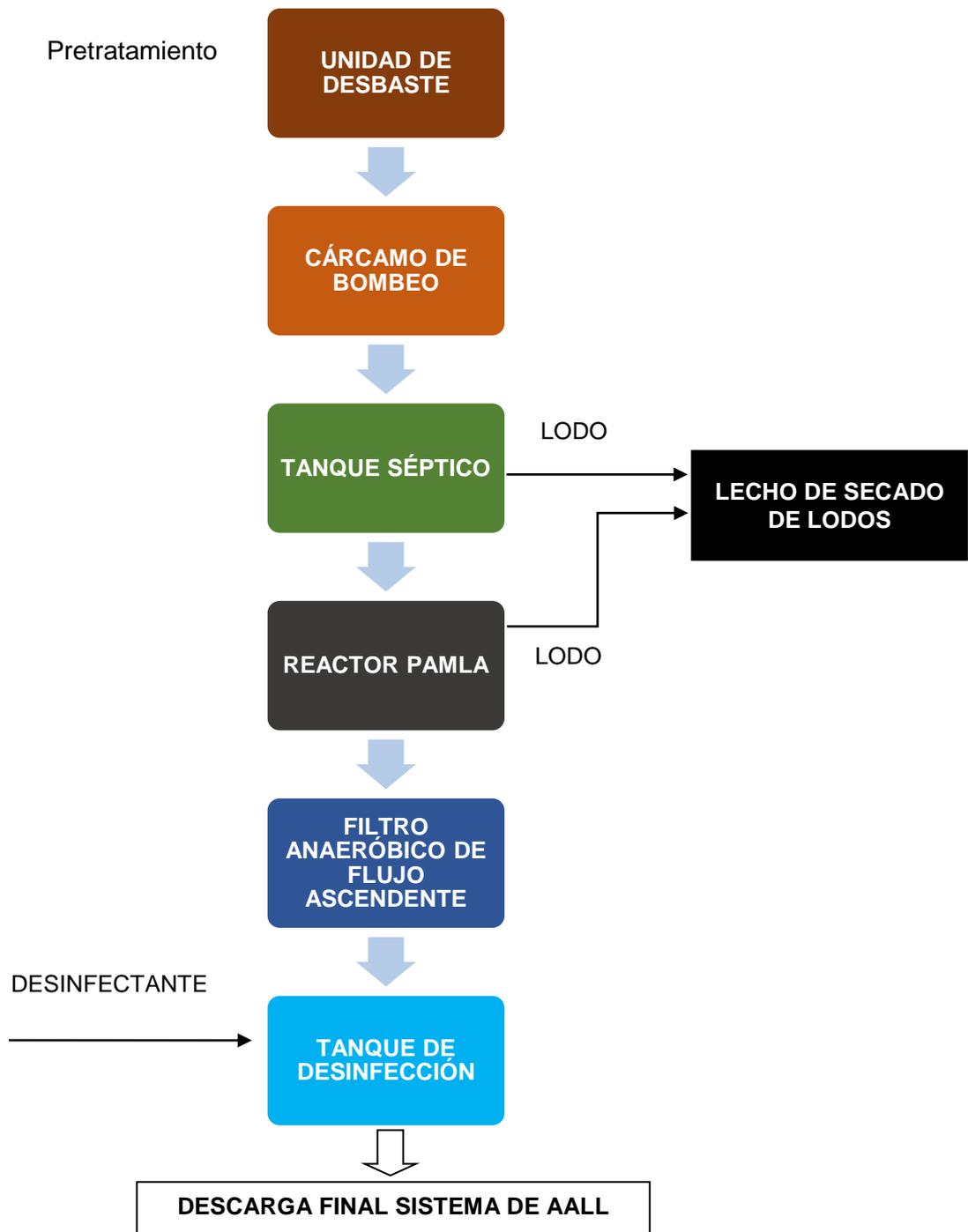
**Ilustración 23.- Válvulas reguladoras de caudal de las bombas sumergibles**



*Fuente: Elaboración Propia.*

### 3.3. DIAGRAMA DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO DE LA PDARD

Ilustración 24.- Diagrama de la PDARD



Fuente: Elaboración Propia.

### **3.4. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA PDARD**

#### **3.4.1. TABLERO DE CONTROL**

Tal como se mencionó en el capítulo anterior, la PDARD funciona de manera automática, a través de un tablero de control, el cual contiene el controlador lógico programable (PLC) del sistema, el que a su vez comanda el encendido y apagado de las bombas sumergibles y bombas dosificadoras. El tablero de control cuenta con luces led de operación (verdes) y de falla (rojas), que indican el estado de funcionamiento de las bombas.

**Ilustración 25.- Tablero de Potencia, Control y Automatización**



*Fuente: Elaboración Propia.*

#### **3.4.2. MANTENIMIENTO DEL SISTEMA**

A continuación, se detalla las actividades de mantenimiento que actualmente recibe la PDARD, por parte del personal encargado de operación y mantenimiento:

**Tabla 13.- Frecuencia de Actividades de Mantenimiento de la PDARD**

<b>Nro.</b>	<b>Actividad de Mantenimiento</b>	<b>Frecuencia</b>
1	Limpieza de la unidad de desbaste: recolección de sólidos y disposición en cajas recolectoras, vaciado de Sólidos de cajas recolectoras en tachos de desechos.	3 veces por semana
2	Retiro y vaciado de canastilla de recolección de sólidos en cárcamo de bombeo	1 vez a la semana
3	Purga de lodos de tanque séptico hacia lecho de secado	Nunca
4	Purga de lodos de exceso en reactor PAMLA	Nunca
5	Revisión de líquido en tanque para dosificación	1 vez a la semana
6	Recolección de lodos en el lecho de secado	Nunca

*Fuente: Elaboración Propia.*

**Ilustración 26.- Excesivo lodo en el interior del reactor PAMLA**



*Fuente: Elaboración Propia.*

## **CAPITULO IV**

### **4. METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **4.1. DETERMINACIÓN DEL CAUDAL DE ENTRADA A LA PDARD**

Para evaluar un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas es necesario conocer el caudal que ingresa al sistema, ya que esto permitirá saber los tiempos de retención hidráulica (TRH) que el flujo permanece en cada uno de los procesos de tratamiento.

En vista de que la PDARD en estudio no contaba con alguna estructura para la medición del caudal de ingreso a la misma, la determinación in situ del caudal diario se ha calculado a partir de lo siguiente:

1. La información proporcionada por el Controlador Lógico Programable (PLC) que comanda la PDARD, referente a la frecuencia de encendido y apagado de las bombas sumergibles situadas al interior del cárcamo de bombeo, lo que de ahora en adelante cada encendido-apagado se conocerá como un (1) ciclo.
2. La determinación del descenso de nivel del aguapromedio durante un (1) ciclo, que al multiplicarlo por las dimensiones (largo y ancho) del cárcamo de bombeo se obtiene el volumen promedio de agua residual que ingresa a la PDARD.

Finalmente, al sumar la cantidad de ciclos transcurridos durante (1) día y conocido el volumen promedio de agua residual bombeado durante la realización de un (1) ciclo, se obtuvo el volumen de agua residual que ingresa a la PDARD diariamente.

**Ilustración 27.- Medición in situ del descenso del nivel del agua dentro del cárcamo de bombeo**



*Fuente: Elaboración Propia.*

Para determinar el volumen promedio bombeado durante la realización de un (1) ciclo se tomaron veinte (20) lecturas del desnivel generado entre el nivel de agua dentro del cárcamo al momento de encenderse la bomba sumergible y el nivel del agua dentro del cárcamo al momento de apagar la bomba, todas las lecturas recopiladas se realizaron considerando el fondo del cárcamo de bombeo como el nivel 0,00.

De la lectura de desnivel obtenida se procedió a multiplicarla por las dimensiones (largo y ancho) del cárcamo de bombeo que son: 1,20 x 1,20 metros, obteniendo así el volumen bombeado, del cual, posteriormente se estableció el volumen promedio.

**Tabla 14.- Determinación del volumen promedio bombeado durante cada ciclo (encendido-apagado de la bomba sumergible)**

<b>Medición Nro.</b>	<b>Nivel de Apagado (Nivel Mínimo) en metros</b>	<b>Nivel de Encendido (Nivel Máximo) en metros</b>	<b>Desnivel (m)</b>	<b>Largo cárcamo (m)</b>	<b>Ancho cárcamo (m)</b>	<b>Volumen Bombeado (m3)</b>
1	0,23	1,02	0,79	1,20	1,20	1,138
2	0,18	1,03	0,85	1,20	1,20	1,224
3	0,21	0,97	0,76	1,20	1,20	1,094
4	0,23	1,00	0,77	1,20	1,20	1,109
5	0,17	0,98	0,81	1,20	1,20	1,116
6	0,20	1,01	0,81	1,20	1,20	1,166
7	0,20	0,98	0,78	1,20	1,20	1,123
8	0,24	1,02	0,78	1,20	1,20	1,123
9	0,20	1,00	0,80	1,20	1,20	1,152
10	0,17	1,05	0,88	1,20	1,20	1,267
11	0,18	1,00	0,82	1,20	1,20	1,181
12	0,16	1,00	0,84	1,20	1,20	1,210
13	0,22	1,05	0,83	1,20	1,20	1,195
14	0,20	1,00	0,80	1,20	1,20	1,152
15	0,18	1,07	0,81	1,20	1,20	1,116
16	0,20	0,97	0,77	1,20	1,20	1,109
17	0,18	1,01	0,83	1,20	1,20	1,195
18	0,23	1,04	0,81	1,20	1,20	1,166
19	0,23	1,01	0,78	1,20	1,13	1,123
20	0,20	0,98	0,78	1,20	1,20	1,123
<b>Desnivel promedio (m)</b>			<b>0,805</b>	<b>Volumen promedio (m3)</b>		<b>1,154</b>

*Fuente: Elaboración Propia.*

Por medio de la información almacenada en el PLC, el número de ciclos (encendido-apagado de la bomba sumergible), los días martes 31 de Julio y jueves 02 de agosto de 2018, desde las 00h00 hasta las 23h59 minutos, fueron 24 ciclos y 26 ciclos respectivamente. Dichos ciclos multiplicados por el volumen promedio (m3) de 1,154 m3/ciclo establecido en la Tabla Nro. 14 del

presente documento dio como resultado un volumen diario de ingreso a la PDARD de 27,70 m<sup>3</sup> el día 31 de Julio de 2018 y 30,00 m<sup>3</sup> el día 02 de agosto de 2018.

Adicionalmente a la determinación in situ del caudal de ingreso a la PDARD, se procedió a contrastar con la información establecida en la memoria de diseño del sistema, siendo los parámetros de diseño los siguientes:

### PARAMETROS DE DISEÑO DE LA PDARD

COEFICIENTE DE RETORNO	80 %
CAUDAL AGUA A TRATAR	25,6 m <sup>3</sup> /día 1,07 m <sup>3</sup> /hora
CAUDAL PICO ( 1.4 Q )	1,50 m <sup>3</sup> /hora

### **CARACTERÍSTICAS DEL AGUA A TRATAR**

#### **TIPO DE AGUA RESIDUAL DOMESTICA PROVENIENTES DEL ALCANTARILLADO SANITARIO EN URBANIZACIÓN**

DQO	375 mg / lt
DBO <sub>5</sub>	220 mg / lt
SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	220 mg / lt
NITRÓGENO TOTAL	40 mg / lt
TEMPERATURA MEDIA DEL AGUA	27 °C

Cabe señalar que al tratarse de un sistema de alcantarillado sanitario de reciente construcción y puesto que recolecta única y exclusivamente las aguas residuales domésticas de la urbanización, siendo además pequeño en recorrido; la memoria de diseño ha considerado despreciables los caudales adicionales que por lo general se toman en cuenta para la determinación del caudal de diseño de grandes sistemas de alcantarillado sanitario y que llegan a

plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, tales como: caudal de infiltración y caudal por aportaciones incontroladas.

En lo que respecta a la población servida, la memoria de diseño de la PDARD ha estimado un promedio de cuatro (4) habitantes por departamento de un total de cuarenta y ocho (48) departamentos distribuidos en seis (6) bloques multifamiliares, lo que da una población total de ciento noventa y dos (192) habitantes, con esta información se puede determinar la siguiente dotación:

Q diario ingreso a la PDARD (memoria de diseño) = 25,60 m<sup>3</sup>/día = 25.600 l/día

Número de habitantes = 192 habitantes

Coefficiente de retorno = 80%

Dotación de agua potable = 166,63 l/hab\*día

Sin embargo, durante la realización del presente trabajo se pudo evidenciar que no todos los departamentos de la urbanización se encontraban ocupados, ya que solamente el 94% de estos (45 departamentos) se encuentran habitados permanentemente, lo que otorga una población servida real de 180 habitantes.

Por tanto, si procedemos a calcular la (Población real) \* (Dotación) \* (coeficiente de retorno), tenemos:

180 hab \* 166,63 l/hab\*día \* 0,80 = 23.994,72 l/día = 23,99 m<sup>3</sup>/día

Lo que significa que actualmente el sistema por el número de habitantes que residen en la urbanización, según lo descrito en la memoria de diseño, debería estar tratando un caudal diario aproximado de 24,00 m<sup>3</sup>/día, sin embargo en las mediciones de caudal efectuadas in situ los días 31 de julio y 02 de agosto de 2018 se obtuvieron valores de 27,70 m<sup>3</sup>/día y 30,00 m<sup>3</sup>/día respectivamente, por consiguiente podemos determinar que actualmente está

ingresando un 15,46% y 25,00% adicional al caudal proyectado en la memoria de diseño.

## **4.2. DELIMITACIÓN DEL MUESTREO DE AFLUENTE Y EFLUENTE DE LA PDARD**

Con el objetivo de conocer las características físicas, químicas y biológicas presentes en el agua residual doméstica de la PDARD en estudio, se procedió a efectuar muestreos simples de parámetros específicos para determinar la eficiencia de remoción de contaminantes del sistema y su grado de cumplimiento con la normativa ambiental vigente. La toma de muestras simples fue seleccionada en base a que la calidad del ARD no varía sustancialmente en el transcurso del día en comparación con aguas de otro origen que por lo general requieran de la realización de muestreos compuestos.

### **Ilustración 28.- Inspección y selección de los sitios de muestreo**



*Fuente: Elaboración Propia*

El punto seleccionado para toma de muestra de agua residual afluente a la PDARD está ubicado en la descarga de la tubería de PVC  $\varnothing 6''$  que ingresa al cárcamo de bombeo, a su vez el punto seleccionado para toma de la muestra

efluente de la PDARD, es la caja de registro final que está situada a la salida del tanque de desinfección y que recibe las descargas de este.

Al tratarse de aguas residuales domésticas para el presente trabajo se estimó que la calidad de estas tiene características similares en el transcurso de las horas y los días de la semana, por lo que los días y horas seleccionados para la realización de los muestreos se los seleccionó de manera aleatoria.

Se tomaron un total de cuatro (4) muestras simples, dos (2) en la entrada a la PDARD y dos (2) a la salida, adicionalmente se contó con una muestra inicial de entrada y salida de la PDARD que data del año 2016.

Los parámetros monitoreados fueron escogidos debido a su relevancia y presencia habitual en aguas residuales domésticas, asimismo fueron seleccionados para ser contrastados con la tabla 10 del libro sexto anexo 1 del TULSMA (Acuerdo Ministerial 028), la que establece los límites máximos permisibles de descarga en un cuerpo de agua dulce. Los parámetros escogidos fueron los siguientes:

**Tabla 15.- Parámetros seleccionados para muestreo y caracterización**

<b>Nro.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>
1	pH	-
2	Temperatura	°C
3	Color Verdadero	Pt-Co
4	Sólidos Totales	mg/L
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L
6	Nitrógeno Total (Kjeldahl)	mg/L
7	Fósforo Total	mg/L
8	DBO <sub>5</sub>	mg/L
9	DQO	mgO <sub>2</sub> /L
10	Grasas y aceites	mgO <sub>2</sub> /L
11	Coliformes fecales	NMP/100ml

*Fuente: Elaboración Propia.*

***Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de tipo anaeróbica, que trata un caudal medio diario ( $Q_{cmd}$ ) de 25 m<sup>3</sup>/d.***

***Maestría en Ciencias  
Ambientales***

## **CAPITULO V**

### **5. MUESTREO Y CARACTERIZACIÓN**

#### **5.1. TOMA DE MUESTRAS**

El martes 31 de julio de 2018 fue seleccionado como el primer día de muestreo del agua residual doméstica de la PDARD. La toma de las muestras del sistema de tratamiento se realizó en horas de la tarde entre las 4 y 5 pm. Se pudo evidenciar en el sitio que recientemente habían procedido a retirar y cambiar el material filtrante del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente, el material de desecho había sido acumulado al ingreso de la PDARD.

#### **Ilustración 29.- Material retirado del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente**



*Fuente: Elaboración Propia*

Para la toma de las muestras afluente y efluente de la PDARD, se siguieron los procesos de muestreo, manejo y conservación de muestras establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 2169:2013.

Cada uno de los envases llenados con el agua residual doméstica afluyente y efluente fueron rotulados y codificados, en total se llenaron cuatro (4) envases para la muestra de entrada y cuatro (4) envases para la muestra de salida de la PDARD.

La selección de cada uno de estos recipientes obedece al tipo de conservación que requiere la muestra en función del análisis a realizar en laboratorio, según lo establecido en el procedimiento para muestreo, manejo y conservación de muestras de aguas residuales INEN 2169:2013.

**Ilustración 30.- Muestras tomadas de agua residual afluyente a la PDARD.**



*Fuente: Elaboración Propia*

En situ se realizaron mediciones de pH y Temperatura, tanto del afluyente como del efluente, mediante la utilización de un equipo de medición multiparamétrico

Una vez recolectadas las muestras para su análisis en laboratorio y determinado in situ el pH y Temperatura del afluyente y efluente, se procedió a llenar la ficha de informe de muestreo y a continuación se realizó el traslado de las muestras hacia el laboratorio para su respectivo análisis.

**Ilustración 31.- Determinación in situ de pH y Temperatura**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Ilustración 32.- Traslado de muestras hacia el laboratorio.**



*Fuente: Elaboración Propia*

El segundo día de muestreo fue el jueves 02 de agosto de 2018, esta vez la toma de muestras se la realizó en horas de la mañana, entre las 8 y 9 de la mañana.

**Nota:** Dado que el alcance del presente proyecto de titulación se lo realiza con fines educativos y con recursos propios del autor, los análisis de laboratorio fueron realizados en conjunto con un profesional de vasta experiencia en muestreo y caracterización de aguas, procurando siempre cumplir con los procedimientos y técnicas de muestreo antes descritas y realizando los análisis de laboratorio en base a los métodos establecidos en el Standard Methods, mismos que se detallan en los cuadros de resultados obtenidos.

## **5.2. RESULTADOS OBTENIDOS**

Una vez efectuados los análisis de laboratorio a las muestras de agua residual doméstica afluente y efluente de la PDARD, tomadas los días 31 de julio y 02 de agosto de 2018, se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 16.- Resultados entrada PDARD - 31 de Julio 2018**

<b>Nro.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método</b>
1	pH	-	7,13	4500 – H - B
2	Temperatura	°C	27,40	2550 - B
3	Color Verdadero	Pt-Co	30,00	2120 - B
4	Sólidos Totales	mg/L	490,00	2540 - B
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	90,00	2540 - D
6	Nitrógeno Total (Kjeldahl)	mg/L	54,90	4500 Norg - B
7	Fósforo Total	mg/L	6,30	4500 - P
8	DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /L	293,70	5220 - C
9	DQO	mgO <sub>2</sub> /L	535,00	5210 - B
10	Grasas y aceites	mgO <sub>2</sub> /L	30,40	5520 - B
11	Coliformes fecales	NMP/100ml	240 E5	9221 - C

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 17.- Resultados salida PDARD - 31 de Julio 2018**

<b>Nro.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método</b>
1	pH	-	7,10	4500 – H - B
2	Temperatura	°C	27,80	2550 - B
3	Color Verdadero	Pt-Co	34,00	2120 - B
4	Sólidos Totales	mg/L	497,00	2540 - B
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	37,50	2540 - D
6	Nitrógeno Total (Kjeldahl)	mg/L	72,60	4500 Norg - B
7	Fósforo Total	mg/L	8,20	4500 - P
8	DBO <sup>5</sup>	mg/L	118,14	5220 - C
9	DQO	mgO <sub>2</sub> /L	308,00	5210 - B
10	Grasas y aceites	mgO <sub>2</sub> /L	9,00	5520 - B
11	Coliformes fecales	NMP/100ml	210 E4	9221 - C

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 18.- Resultados entrada PDARD - 02 de agosto de 2018**

<b>Nro.</b>	<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultado</b>	<b>Método</b>
1	pH	-	7,74	4500 – H - B
2	Temperatura	°C	28,10	2550 - B
3	Color Verdadero	Pt-Co	44,00	2120 - B
4	Sólidos Totales	mg/L	509,00	2540 - B
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	102,00	2540 - D
6	Nitrógeno Total (Kjeldahl)	mg/L	74,00	4500 Norg - B
7	Fósforo Total	mg/L	8,80	4500 - P
8	DBO <sub>5</sub>	mg/L	267,40	5220 - C
9	DQO	mgO <sub>2</sub> /L	501,00	5210 - B
10	Grasas y aceites	mgO <sub>2</sub> /L	32,70	5520 - B
11	Coliformes fecales	NMP/100ml	240 E5	9221 - C

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 19.- Resultados salida PDARD - 02 de agosto de 2018**

Nro.	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
1	pH	-	7,16	4500 – H - B
2	Temperatura	°C	26,60	2550 - B
3	Color Verdadero	Pt-Co	34,00	2120 - B
4	Sólidos Totales	mg/L	533,00	2540 - B
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	34,00	2540 - D
6	Nitrógeno Total (Kjeldahl)	mg/L	66,00	4500 Norg - B
7	Fósforo Total	mg/L	7,70	4500 - P
8	DBO5	mg/L	118,50	5220 - C
9	DQO	mgO <sub>2</sub> /L	250,00	5210 - B
10	Grasas y aceites	mgO <sub>2</sub> /L	6,70	5520 - B
11	Coliformes fecales	NMP/100ml	150 E4	9221 - C

*Fuente: Elaboración Propia*

Como se mencionó anteriormente adicional a los muestreos realizados los días 31 de julio y 02 de agosto de 2018, se contó con un muestreo realizado en el año 2016 del afluente y efluente de la PDARD, de dicho muestreo se obtuvieron los siguientes resultados:

**Tabla 20.- Resultados entrada PDARD - 18 de agosto 2016**

Nro.	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
1	pH	-	7,74	4500 – H - B
2	Temperatura	°C	29,00	2550 - B
3	Color Verdadero	Pt-Co	560,00	2120 - B
4	Sólidos Totales	mg/L	503,00	2540 - B
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	93,00	2540 - D
6	Nitrógeno Total (Kjeldahl)	mg/L	72,24	4500 Norg - B
7	Fósforo Total	mg/L	3,75	4500 - P
8	DBO <sub>5</sub>	mg/L	232,30	5220 - C
9	DQO	mgO <sub>2</sub> /L	693,00	5210 - B
10	Grasas y aceites	mgO <sub>2</sub> /L	15,40	5520 - B
11	Coliformes fecales	NMP/100ml	21 E6	9221 - C

*Fuente: Elaboración Propia – Informe de resultados N°: LTA - 166 – 2016.*

**Tabla 21.- Resultados salida PDARD - 18 de agosto 2016**

Nro.	Parámetro	Unidad	Resultado	Método
1	pH	-	7,02	4500 - H - B
2	Temperatura	°C	29,00	2550 - B
3	Color Verdadero	Pt-Co	389,00	2120 - B
4	Sólidos Totales	mg/L	615,00	2540 - B
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	39,80	2540 - D
6	Nitrógeno Total (Kjeldahl)	mg/L	85,68	4500 Norg - B
7	Fósforo Total	mg/L	8,25	4500 - P
8	DBO <sub>5</sub>	mg/L	74,60	5220 - C
9	DQO	mgO <sub>2</sub> /L	185,20	5210 - B
10	Grasas y aceites	mgO <sub>2</sub> /L	6,20	5520 - B
11	Coliformes fecales	NMP/100ml	21 E6	9221 - C

Fuente: Elaboración Propia – Informe de resultados N°: LTA - 166 – 2016.

Asimismo, se realizó un cuadro comparativo a nivel de carga contaminante del afluente y efluente de la PDARD en función de los valores de concentración del contaminante multiplicado por el caudal tomado en el punto de muestreo, obteniéndose lo siguiente:

**Tabla 22.- Carga contaminante afluente PDARD - 31 de agosto 2018**

Parámetro	Concentración en mg/l (31 de Julio de 2018)	Caudal en l/día (31 de Julio de 2018)	Carga contaminante en kg/día
Sólidos Totales	490,00	27.700	13.573,00
Sólidos Suspendidos Totales	90,00	27.700	2.493,00
Nitrógeno Total (Kjeldahl)	54,90	27.700	1.520,73
Fósforo Total	6,30	27.700	174,51
DBO <sub>5</sub>	293,70	27.700	8.135,49
DQO	535,00	27.700	14.819,50
Grasas y aceites	30,40	27.700	842,08

Fuente: Elaboración Propia

**Tabla 23.- Carga contaminante efluente PDARD - 31 de Julio de 2018**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración en mg/l (31 de Julio de 2018)</b>	<b>Caudal en l/día (31 de Julio de 2018)</b>	<b>Carga contaminante en kg/día</b>
Sólidos Totales	497,00	27.700	13.766,90
Sólidos Suspendidos Totales	37,50	27.700	1.038,75
Nitrógeno Total (Kjeldahl)	72,60	27.700	2.011,02
Fósforo Total	8,20	27.700	227,14
DBO <sup>5</sup>	118,14	27.700	3.272,48
DQO	308,00	27.700	8.532,60
Grasas y aceites	9,00	27.700	249,30

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 24.- Carga contaminante afluente PDARD - 02 de agosto de 2018**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración en mg/l (02 de agosto de 2018)</b>	<b>Caudal en l/día (02 de agosto de 2018)</b>	<b>Carga contaminante en kg/día</b>
Sólidos Totales	509,00	30.000	15.270,00
Sólidos Suspendidos Totales	102,00	30.000	3.060,00
Nitrógeno Total (Kjeldahl)	74,00	30.000	2.220,00
Fósforo Total	8,80	30.000	264,00
DBO <sup>5</sup>	267,40	30.000	8.022,00
DQO	501,00	30.000	15.030,00
Grasas y aceites	32,70	30.000	981,00

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 25.- Carga contaminante efluente PDARD - 02 de agosto de 2018.**

<b>Parámetro</b>	<b>Concentración en mg/l (02 de agosto de 2018)</b>	<b>Caudal en l/día (02 de agosto de 2018)</b>	<b>Carga contaminante en kg/día</b>
Sólidos Totales	533,00	30.000	15.990,00
Sólidos Suspendidos Totales	34,00	30.000	1020,00
Nitrógeno Total (Kjeldahl)	66,00	30.000	1.980,00
Fósforo Total	7,70	30.000	231,00
DBO <sup>5</sup>	118,50	30.000	3.555,00
DQO	250,00	30.000	7.500,00
Grasas y aceites	6,70	30.000	201,00

*Fuente: Elaboración Propia*

Una vez obtenidos los cuadros de carga contaminante tanto de afluente como del efluente de los días 31 de julio de 2018 y 02 de agosto de 2018, se elaboró el siguiente cuadro de eficiencias de remoción de cargas contaminantes:

**Tabla 26.- Eficiencias de remoción de carga contaminante 31 de Julio de 2018**

<b>Parámetro</b>	<b>Carga contaminante en kg/día afluente (31 de Julio de 2018)</b>	<b>Carga contaminante en kg/día efluente (31 de Julio de 2018)</b>	<b>Eficiencia de remoción (%)</b>
Sólidos Totales	13.573,00	13.766,90	-
Sólidos Suspendidos Totales	2.493,00	1.038,75	58,33
Nitrógeno Total (Kjeldahl)	1.520,73	2.011,02	-
Fósforo Total	174,51	227,14	-
DBO <sup>5</sup>	8.135,49	3.272,48	59,78
DQO	14.819,50	8.532,60	42,42
Grasas y aceites	842,08	249,30	70,39

*Fuente: Elaboración Propia*

**Tabla 27.- Eficiencias de remoción de carga contaminante 02 de agosto de 2018**

<b>Parámetro</b>	<b>Carga contaminante en kg/día afluente (02 de agosto de 2018)</b>	<b>Carga contaminante en kg/día efluente (02 de agosto de 2018)</b>	<b>Eficiencia de remoción (%)</b>
Sólidos Totales	15.270,00	15.990,00	-
Sólidos Suspendidos Totales	3.060,00	1020,00	66,67
Nitrógeno Total (Kjeldahl)	2.220,00	1.980,00	10,81
Fósforo Total	264,00	231,00	12,51
DBO <sup>5</sup>	8.022,00	3.555,00	55,68
DQO	15.030,00	7.500,00	50,10
Grasas y aceites	981,00	201,00	79,51

*Fuente: Elaboración Propia*

## **CAPITULO VI**

### **6.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

La característica del agua residual doméstica de entrada a la PDARD, según lo establecido en la Tabla 2 referente a la Composición típica de las aguas residuales domésticas, se ubica en la categoría de tipo Media, con Sólidos Totales (ST) mayores a 500,00 mg/l, DBO mayores a 220,00 mg/l y DQO mayor a 500,00 mg/l.

En lo que respecta al porcentaje de eficiencia de remoción de la carga contaminante de la PDARD, particularmente al parámetro DBO, se tienen los valores de 59,78% el día 31 de julio de 2018, 55,68% el día 02 de agosto de 2018. En lo concerniente a eficiencia de remoción de la carga contaminante del parámetro de DQO, se tienen los valores de 42,43% para el día 31 de julio de 2018 y 50,10% para el día 02 de agosto de 2018.

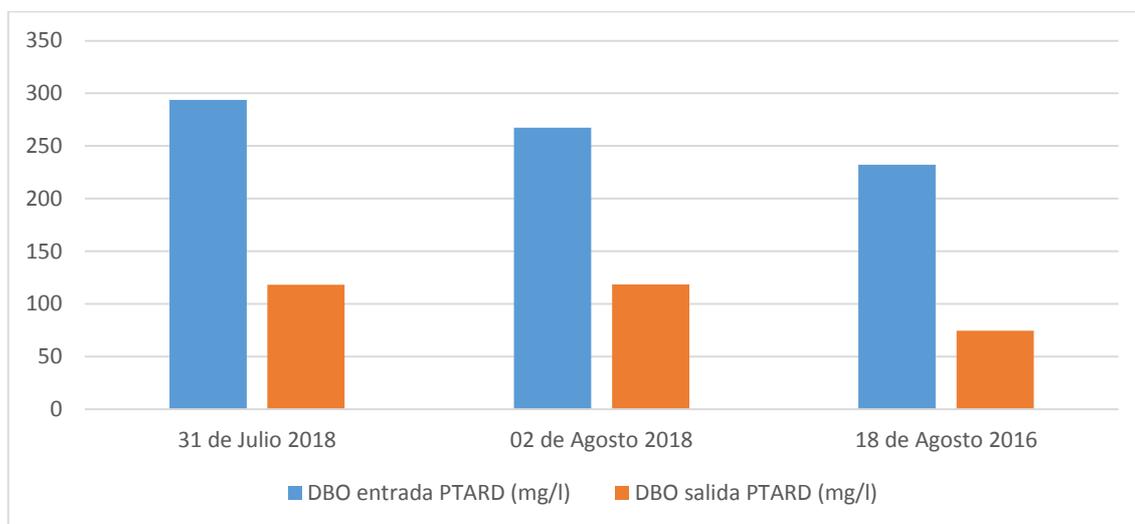
En lo que respecta al parámetro pH, el agua residual doméstica afluente y efluente de la PDARD, se ubica entre 6 y 9. Para grasas y aceites existe una remoción de la carga contaminante de 70,39% el día 31 de julio de 2018 y 79,51% el día 02 de agosto de 2018.

En los tres (3) muestreos se puede identificar que prácticamente existe una ausencia de proceso de desinfección, dando valores de coliformes fecales muy por encima del LMP para descargas en un cuerpo de agua dulce, establecido en la tabla 7 del presente documento.

Asimismo, se puede comprobar que el día 31 de julio de 2018 existe un proceso de nitrificación del efluente, debido al aumento de la carga contaminante de nitrógeno total en la muestra, sin embargo, el día 02 de agosto de 2018 si se logra una mínima remoción de la carga contaminante de

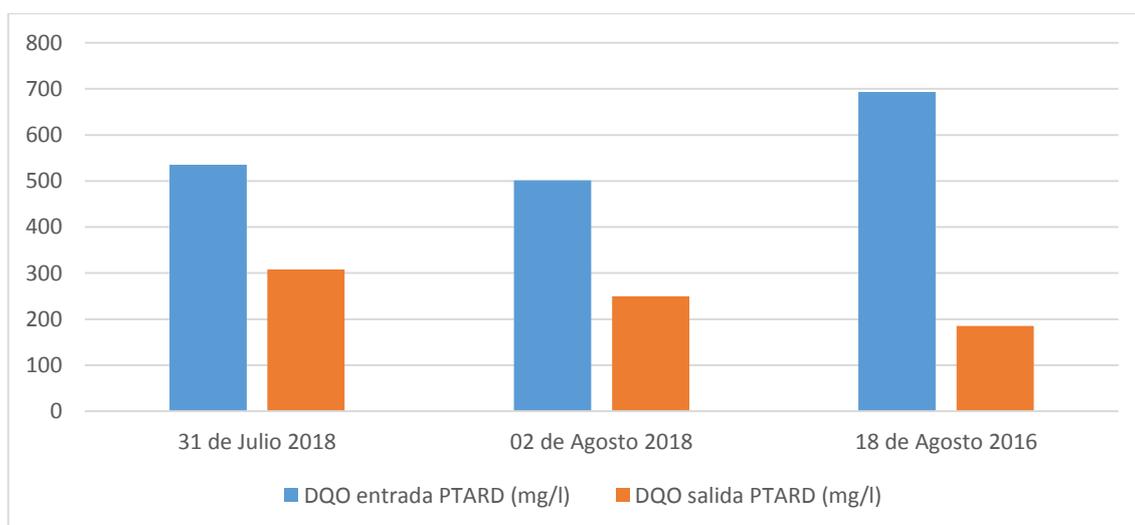
nitrógeno total de 10,81%, asimismo se evidencia en todos los muestreos un aumento de los sólidos totales acompañados de una reducción de los sólidos suspendidos. Se puede observar una reducción del color verdadero en el agua efluente del sistema y la temperatura del agua en ambos casos (entrada y salida) en los tres (3) muestreos se sitúan entre 27 y 29 grados centígrados.

**Gráfico1.- DBO de entrada y DBO salida de la PDARD**



*Fuente: Elaboración Propia*

**Gráfico2.- DQO entrada y DQO salida de la PDARD**



*Fuente: Elaboración Propia*

Al comparar los análisis de resultados obtenidos del efluente de la PDARD con la Tabla 7 del presente documento, se puede determinar que en ciertos parámetros no se está cumpliendo lo establecido como Límites Máximos Permisibles (LMP) de descarga en un cuerpo de agua dulce

A continuación, se detalla el cumplimiento del agua residual efluente del sistema con respecto a lo establecido en el TULSMA.

**Tabla 28.- Cumplimiento del efluente de la PDARD con respecto a lo establecido en el TULSMA.**

Parámetro	Unidad	Resultados			LMP a un cuerpo de agua dulce según TULSMA
		31 de Julio 2018	02 de agosto 2018	18 de agosto 2016	
DBO	mg/l	<b>118,14</b>	<b>118,50</b>	<b>74,90</b>	100
DQO	mg/l	<b>308,00</b>	<b>250,00</b>	<b>185,20</b>	200
Coliformes fecales	NMP/100ml	<b>210E4</b>	<b>150E4</b>	<b>21E6</b>	10.000
Nitrógeno	mg/l	<b>72,60</b>	<b>66,00</b>	<b>85,68</b>	50

*Fuente: Elaboración Propia*

Se puede determinar que la PDARD cumplía con los LMP de descargas en un cuerpo de agua dulce en la fecha de muestreo del 18 de agosto de 2016 en parámetros como la DBO y la DQO, el deficiente funcionamiento actual del sistema puede atribuirse a una mala operación y mantenimiento de este. El exceso de lodos evidenciado en el reactor PAMLA (por encima de la campana deflectora) y el reciente recambio del material filtrante en el FAFA (que según lo indicado por personal de mantenimiento de la planta se efectuó debido a un taponamiento que impedía el paso del agua hacia el siguiente proceso de tratamiento), pueden considerarse causas de la baja eficiencia del sistema.

Otra causa de la baja eficiencia del sistema se atribuye a la falta de mantenimiento del tanque séptico y reactor PAMLA, ya que no se ha realizado

periódicamente la purga de lodos viejos o digeridos de ambos procesos, dichos lodos al ocupar un mayor volumen dentro de los tanques contribuirían a la disminución de la capacidad hidráulica y arrastre de lodos.

El cambio reciente del material filtrante al interior del FAFA, justamente efectuado previo a la realización de los muestreos del 31 de julio y 02 de agosto de 2018, es una causa adicional del bajo rendimiento del sistema, ya que la biopelícula que normalmente se adhiere ocupando los espacios intersticiales del material filtrante y se encarga de la remoción de la materia orgánica biodegradable, estaría recién en proceso de formación.

Otro factor que incide en el bajo de rendimiento del sistema es la acumulación de grasas al interior del Tanque Séptico, el que, como se mencionó anteriormente, tiene la función de suspender las grasas y aceites del agua residual doméstica y decantar los sólidos suspendidos; dichos aceites y grasas deben ser removidos periódicamente puesto que no pueden ser digeridos por las bacterias encargadas del proceso de tratamiento.

La nula desinfección del proceso es un problema que requiere un análisis exhaustivo, ya que es un inconveniente que el sistema de tratamiento acarrea desde hace más de 2 años, entre sus principales causas estarían una baja concentración de cloro en los tanques de dosificación y una alta presencia de materia orgánica (SST) en el efluente.

Se procedió a determinar el tiempo de contacto de cloro con el agua residual doméstica para los días 31 de julio y 02 de agosto de 2018, conociendo el volumen del tanque de desinfección de 2,36 m<sup>3</sup>, se obtuvieron tiempos de contacto de 2,04 horas y 1,89 horas, con lo cual, se comprobó que el tanque de desinfección cumple con el tiempo recomendado de contacto mínimo de cloro con el agua residual que es de 0,50 horas.

Cabe señalar que, a más de los parámetros analizados en el muestreo del año 2016, en dicha ocasión se analizó la cantidad de cloro residual tanto en la muestra de agua residual de entrada como la muestra de salida de la PDARD, dando como resultado el valor de 0,0 mg/l de cloro residual en ambos casos.

Otra causa de la deficiente desinfección del agua residual es el intervalo de dosificación empleado, ya que se pudo conocer que el sistema de desinfección trabaja durante una (1) hora para luego apagarse por una hora (1), posteriormente se repite el ciclo, es decir, que durante una hora no se inyecta cloro al agua residual, asimismo deberá revisarse la velocidad de dosificación (pulsos por minuto) de las bombas dosificadoras.

El proceso de nitrificación es frecuente en las aguas residuales domésticas efluentes de plantas de tratamiento, por lo que en ciertos casos requiere de un proceso de desnitrificación, de lo evidenciado en los resultados el parámetro nitrógeno en el efluente se encuentra por encima del LMP.

Tomando en consideración lo que indica Rojas (2010), la capacidad del tanque séptico para caudales de aguas residuales en m<sup>3</sup>/día entre 5,7 y 380, se estimaría de la siguiente manera:

- $C = 4,26 + 0,75 Q_1$  en m<sup>3</sup>

Dónde: C es la Capacidad del Tanque Séptico en m<sup>3</sup>

Q<sub>1</sub> es el caudal diario en m<sup>3</sup>/día

Si reemplazamos el valor de Q<sub>1</sub>= 27,70 m<sup>3</sup>/día para el día 31 de Julio de 2018, el TS debería contar con una capacidad de:

- $C = 4,26 + 0,75 (27,70)$
- $C = 25,04 \text{ m}^3$

Asimismo, si reemplazamos el valor de  $Q_1 = 30,00$  m<sup>3</sup>/día para el día 02 de agosto de 2018, el TS debería contar con una capacidad de:

- $C = 4,26 + 0,75 (30,00)$
- $C = 26,76$  m<sup>3</sup>

Si se compara en ambos casos con la capacidad actual del TS que es de 18,11 m<sup>3</sup> en sus dos (2) cámaras, podríamos deducir que el TS requiere una expansión, por lo que el TRH dentro del TS los días 31 de Julio y 02 de agosto de 2018 es de 15,70 horas y 14,49 horas respectivamente.

A su vez la literatura en general recomienda que el TRH mínimo en un reactor PAMLA podría considerarse de 4,8 horas, si se procede a realizar el cálculo para el caudal diario medido el día 31 de Julio de 2018, se tiene un TRH de:

$TRH = V_{PAMLA} / Q$ , lo que reemplazando

$$TRH = 10,07 / 27,70 = 0,36 \text{ días,}$$

Lo que traducido a horas representa un TRH de 8,64 horas, lo cual estaría por encima de las 4,8 horas mínimas recomendadas.

Así también si se procede a realizar el cálculo para el caudal diario medido el día 02 de agosto de 2018, se tiene un TRH de:

$TRH = V_{PAMLA} / Q$ , lo que reemplazando

$$TRH = 10,07 / 30,00 = 0,34 \text{ días,}$$

Lo que traducido a horas representa un TRH de 8,16 horas, comprobándose nuevamente que el TRH al interior del reactor PAMLA se sitúa en ambos casos por encima de las 4,8 horas mínimas recomendadas.

Otra causa del deficiente funcionamiento del sistema particularmente del reactor PAMLA donde se evidencian lodos por encima de la campana deflectora (ver ilustración Nro. 25) podría deberse a velocidades ascensionales superiores a las recomendadas, las que estarían ocasionando una perturbación y arrastre del manto de lodos conjuntamente con el efluente.

Para el efecto, se procedió a calcular la velocidad ascensional del agua residual al interior del reactor PAMLA teniendo como referencia que cada ciclo (encendido y apagado de las bombas sumergibles) tardaba entre 15 y 20 minutos, para impulsar el volumen medido promedio de 1,154 m<sup>3</sup>, con lo cual se determinó que el caudal de ingreso al reactor PAMLA al momento de funcionar las bombas sumergibles en el peor de los casos es de 15 minutos lo que correspondía a 0,077 m<sup>3</sup>/min lo que es igual a 4,62 m<sup>3</sup>/h, por tanto:

$$v = \frac{Q}{A}$$

Donde:

$v$  = velocidad ascensional en m/h

$Q$  = caudal de ingreso al reactor PAMLA, m<sup>3</sup>/h

$A$  = área útil del reactor PAMLA, m<sup>2</sup>

Reemplazando

$$v = \frac{4,62 \text{ m}^3/\text{h}}{1,65 \text{ m} * 1,65 \text{ m}}$$

$$v = 1,70 \text{ m/h}$$

Con lo cual se determina que el caudal de ingreso al reactor UASB tendría una velocidad ascensional por encima de la recomendada por la literatura técnica que es de máximo 1,00 m/h, siendo esta la causante del arrastre del manto de lodos conjuntamente con el efluente.

## **6.2. CASOS SIMILARES INTERNACIONALES**

Da Silva, Lima, Mendonça, & Gomes (2013) realizaron estudios en el estado de Ceará al noroeste de Brasil en 56 diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas compuestas por tanques sépticos seguidas de filtros anaeróbicos de flujo ascendente (33 plantas) y por otra parte plantas de tratamiento compuestas por reactores PAMLA (20 plantas), cada sistema de tratamiento contaba con un proceso de desinfección por medio de hipoclorito de sodio con un tiempo de contacto de mínimo 30 minutos.

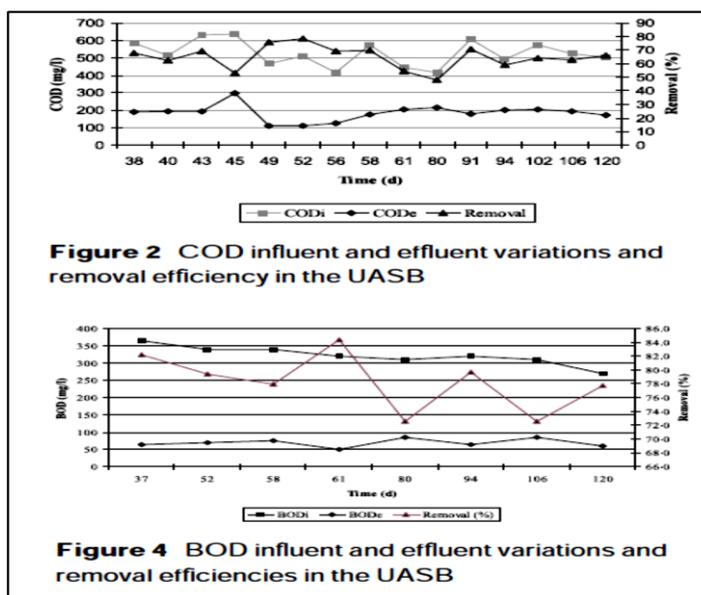
Para la elaboración del análisis se contó con información de muestreos realizados al afluente y efluente de las plantas de tratamiento de los siguientes parámetros: pH, DQO, SST, Ssed, Turbidez y Aceites y Grasas. Adicionalmente del efluente de las plantas de tratamiento se realizaron los análisis de Coliformes Totales, Escherichia Coli y Cloro Residual; la temperatura fue determinada en sitio y el caudal de agua residual doméstica fue establecido como el 80% del agua potable consumida por la población. De dicho estudio se obtuvo que las plantas compuestas por reactores PAMLA presentaba un mejor desempeño que las plantas TS-FAFA, en ambos casos la eficiencia de remoción de materia orgánica estuvo por debajo de lo establecido en la literatura técnica.

La causa principal de la baja eficiencia de remoción se le pudo atribuir a las fluctuaciones de caudal durante las noches, lo que ocasionaba que los sólidos presentes en el manto de lodos se asentaran decreciendo el proceso de mezcla del agua residual afluente, igualmente caudales picos causaban un levantamiento y arrastre de lodos. En los sistemas TS-FAFA se pudo establecer que el lecho filtrante en algunos casos se encontraba taponado con sólidos en suspensión que eran arrastrados del TS, en ambos casos las soluciones propuestas estuvieron basadas en mejorar la operación y mantenimiento de los sistemas.

Peña, Rodríguez, Mara, & Sepulveda (2000) elaboraron un estudio donde compararon el desempeño de una laguna anaerobia y un reactor PAMLA tratando agua residual doméstica, en la ciudad de Ginebra en el Valle del Cauca en Colombia. En lo que respecta al reactor PAMLA se utilizó un modelo full a escala, se tomaron lecturas de caudal cada hora durante 24 horas, a su vez se tomaron muestras compuestas de 24 horas tanto del afluente como del efluente. Los análisis realizados fueron pH, temperatura, DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y SSed. La temperatura y pH fue monitoreada diariamente.

De los datos obtenidos se tuvo que el agua cruda se hallaba en rangos de valores de DQO y DBO de 350-400 mg/l y 180-200 mg/l. Los datos registrados del agua residual efluente del reactor PAMLA fueron en promedio para DQO de 177,00 mg/l con una eficiencia de remoción de 66%, para DBO un valor promedio de 69,00 mg/l con una eficiencia de remoción promedio de 78%. En lo que respecta a SST los resultados promedio de concentración en el efluente fueron de 72,00 mg/l con una eficiencia de remoción de 69%. Los valores de operación del reactor PAMLA en lo concerniente a TRH y Altura (H) fueron de 7,0 horas y 4,3 metros respectivamente.

**Ilustración 33.- Resultados de DQO y DBO efluente de reactor PAMLA y con porcentaje de eficiencia de remoción**



Fuente: UASBs or anaerobic ponds in warm climates? A preliminary answer from Colombia (2000)

## **CAPITULO VII**

### **7.1. CONCLUSIONES**

Actualmente las eficiencias de remoción de contaminantes DBO y DQO de la PDARD en estudio se sitúan por debajo del 60% y 50% respectivamente, a comparación del muestreo realizado en el año 2016 el sistema ha mostrado una involución en su proceso de degradación de materia orgánica, así también un nulo proceso de desinfección.

Las causas del bajo rendimiento del sistema en lo que respecta a remoción de las cargas contaminantes se atribuyen a lo siguiente:

1. Acumulación de lodos viejos o de desecho en el TS y reactor PAMLA que disminuyen su capacidad hidráulica.
2. Arrastre del manto de lodos del reactor PAMLA conjuntamente con el agua residual efluente por velocidades ascensionales superiores a las recomendadas para este tipo de tratamiento.
3. Taponamiento del lecho filtrante en el FAFA producto del arrastre del manto de lodos del reactor PAMLA.
4. Reciente recambio del material del FAFA, por lo cual, la biopelícula se encuentra en proceso de formación.
5. Insuficiente dimensionamiento del TS con TRH inferior a 1 día.
6. Elevado caudal de ingreso al momento de activarse el funcionamiento de las bombas sumergibles, que origina el arrastre de lodos en el reactor PAMLA.
7. Nula remoción de aceites y grasas suspendidas al interior del Tanque Séptico que continúan al siguiente proceso de tratamiento y no pueden ser digeridas por las bacterias anaerobias.

A su vez, las causas de la nula desinfección en la PDARD se pueden atribuir a lo siguiente:

1. Bajas concentraciones de cloro en los tanques dosificadores de químicos que a su vez alimentan a la cámara de desinfección.
2. Funcionamiento alternado del sistema de desinfección (1 hora encendido, 1 hora apagado).
3. Inyección de cloro insuficiente (pulsos lentos en bomba dosificadora).
4. Alta presencia de materia orgánica en el efluente de la PDARD.

Cabe señalar que como se describió anteriormente, la Norma CO 10.07 – 601 de la Secretaría del Agua, no recomienda la desinfección con cloro de efluentes de plantas de tratamiento justamente por la posible formación de compuestos organoclorados nocivos para la salud humana y el medio ambiente, por lo que se concluye que se debe analizar otra forma de desinfección del efluente de la PDARD en estudio.

Finalmente, se tiene como conclusión que una forma a corto plazo de mejorar la eficiencia de remoción de contaminantes, apoyándose en los casos internacionales de estudio, consiste en la realización de mejoras particularmente en la Operación y Mantenimiento del sistema.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

En la actualidad las descargas de aguas residuales domésticas tratadas de la PDARD en estudio no están cumpliendo con los LMP de los parámetros de control establecidos en la legislación nacional ambiental, en lo referente a descargas a un cuerpo de agua dulce; por lo que el sistema requiere de un planteamiento de mejoras, pudiendo iniciar con ajustes en su operación y mantenimiento para posteriormente continuar con cambios a mediano y largo plazo, entre los cambios en la operación y mantenimiento se pueden destacar las siguientes recomendaciones:

1. Se debe iniciar un proceso de purga de lodos que se ubican al interior del TS y reactor PAMLA, al estar ambos sistemas conectados al lecho de secado de lodos, es conveniente realizar la apertura de las válvulas de purga periódicamente, para lo cual, deberá calcularse previamente el volumen de lodos generados durante el proceso de tratamiento.
2. Como medida de control se recomienda regular el caudal bombeado por las bombas sumergibles para evitar velocidades ascensionales elevadas dentro del reactor PAMLA, la regulación del caudal se puede realizar a partir de la restricción de las válvulas de Ø2" ubicadas en la tubería de impulsión proveniente del cárcamo de bombeo (ver ilustración Nro. 13).
3. Se recomienda efectuar una evacuación de los lodos viejos asentados en el fondo del TS mediante la utilización de una bomba de descarga de Ø4" (para lo cual deberá preverse el sitio de descarga) o en su defecto a través de un hidrocleaner, de manera inmediata, acción que deberá repetirse cada 6 meses, lo que permitirá aumentar la capacidad hidráulica de TS.
4. Se recomienda revisar y retirar periódicamente las grasas y aceites (natas) suspendidos en el Tanque Séptico, actividad que se puede realizar mediante la utilización de una vara a la cual se le puede adaptar un cucharón.
5. Se recomienda que la administración de la urbanización realice al menos trimestralmente un muestreo y caracterización de la PDARD, tanto de su afluente como efluente, el cual incluya la medición de caudal. Para la realización de los muestreos podrá considerarse monitorear los parámetros seleccionados en el presente estudio, esto permitirá evaluar de manera correcta el sistema y realizar los ajustes respectivos. Adicionalmente se recomienda que el muestreo y caracterización a efectuarse de la PDARD sea realizado por un laboratorio debidamente acreditado por la OAE.

6. En lo que respecta al proceso de desinfección, por disposición de la norma técnica ecuatoriana se recomienda suspender la dosificación de cloro hasta que el sistema obtenga mejores porcentajes de eficiencia de remoción de contaminantes.

Una vez llevadas a cabo las mejoras de operación y mantenimiento de la PDARD, podrá requerirse o no la implementación de cambios a mediano y largo plazo, todo dependerá de la evaluación periódica que se le realice al sistema, y de la capacidad financiera de la administración de la urbanización, entre los cambios sugeridos podrían ser:

1. La implementación de un nuevo proceso de desinfección amigable con el medio ambiente, el cual podría ser por medio de sistema de rayos UV siempre y cuando exista una mejor remoción de los sólidos suspendidos, debido a que su presencia perjudica directamente a la eficiencia de este método.
2. Rediseño y aumento de la capacidad del Tanque Séptico, retiro de la losa superior y construcción de tapas en acero inoxidable para facilitar el retiro de aceites y grasas suspendidos.
3. Rediseño del Filtro Anaeróbico de Flujo Ascendente para permitir la realización de las actividades del lavado del material filtrante.

# **ANEXOS**

1. INFORME DE MUESTREO DEL DIA 31 DE JULIO DE 2018.
2. INFORME DE MUESTREO DEL DIA 02 DE AGOSTO DE 2018.
3. INFORME DE MUESTREO DEL 18 DE AGOSTO DE 2016 Nro. LTA - 166 – 2016.
4. PLANO DE IMPLANTACION GENERAL DE LA PDARD.
5. NORMA INEN 2169:2013 - AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.

	- Tratamiento y Análisis Físico – Químico y Bacteriológico de Aguas para diversos usos - Asesoría y Consultoría	Informe de Análisis N°: LTA – 263 - 2016 (Reg_5-10)
---	--	---

### INFORME DE RESULTADOS

Datos del Usuario	
Nombre	Ing. Jorge Rada V.
Dirección	Ciudadela Los Almendros Mz. C Villa 18
Teléfono	0984336485
Ciudad	Guayaquil

Descripción de las muestras	
Descripción	Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del Complejo habitacional "San Bernardo 1" – Sanborondón – Prov. del Guayas
M951	Entrada al sistema de tratamiento de ARD
M952	Salida del sistema de tratamiento de ARD
Fecha de ingreso de muestras	31 de julio de 2018
Fecha de entrega de informes	13 de agosto de 2018
Código de solicitud	S/N
Tipo de envase	Plástico y vidrio
Cantidad	3,5 litros / muestra

Parámetros fisicoquímicos					
Parámetro	Unidad	Resultados		LMP	Método
		M951	M952		
pH	-	7,13	7,10	6 - 9	4500 – H - B
Temperatura	°C	27,4	27,8	Condición natural ± 3	2550 B
Color verdadero	Pt-Co	30,0	34,0	Inapreciable en dilución: 1/20	2120-B
Sólidos totales	mg/l	490,0	497,0	1600*	2540 B
Sólidos suspendidos totales	mg/l	90,0	37,5	130*	2540 D
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/l	54,9	72,6	50*	4500-Norg. - B
Fósforo total	mg/l	6,3	8,2	10*	4500 - P
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	293,7	118,4	100*	5220 – C
DQO	mgO <sub>2</sub> /l	535,0	308,0	200*	5210 - B
Grasas y aceites	mg/l	30,4	9,0	30*	5520-B
Coliformes fecales	NMP/100 ml	240 E5	210 E4	10000**	9221 - C

Nota: Los diferentes parámetros se realizaron de acuerdo a los Métodos Estándar para análisis de aguas y agua residuales de la AWWA - APHA 22 ª Edición. Los resultados corresponden a las muestras analizadas. Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización escrita del Director Técnico.

LMP = Límite Máximo Permissible. TULSMA: TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (Acuerdo Ministerial - 028)

Ing. Leopoldo L. Guerrero C.  
 Director Técnico

 Tratamientos de Agua	- Tratamiento y Análisis Físico – Químico y Bacteriológico de Aguas para diversos usos - Asesoría y Consultoría	<b>Informe de Análisis</b> <b>N°: LTA – 166 - 2016</b> <b>(Reg_5-10)</b>
---	--	--

**INFORME DE RESULTADOS**

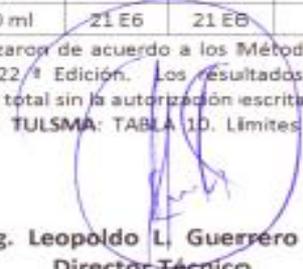
Datos del Usuario	
<b>Nombre</b>	Ing. Jorge Rada V.
<b>Dirección</b>	Ciudadela Los Almendros Mz. C Villa 18
<b>Teléfono</b>	0984336485
<b>Ciudad</b>	Guayaquil

Descripción de las muestras	
<b>Descripción</b>	Sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas del Complejo habitacional "San Bernardo 1" – Sanborondón – Prov. del Guayas
<b>M751</b>	Entrada al sistema de tratamiento de ARD
<b>M752</b>	Salida del sistema de tratamiento de ARD
<b>Fecha de ingreso de muestras</b>	18 de agosto de 2016
<b>Fecha de entrega de informes</b>	25 de agosto de 2016
<b>Código de solicitud</b>	S/N
<b>Tipo de envase</b>	Plástico y vidrio
<b>Cantidad</b>	3,5 litros / muestra

Parámetros fisicoquímicos					
Parámetro	Unidad	Resultados		LMP	Método
		M751	M752		
pH	-	7,43	7,02	6 - 9	4500 - H - B
Temperatura	°C	29,0	29,0	Condición natural ± 3	2550 B
Color verdadero	Pt-Co	560,0	389,0	Inapreciable en dilución: 1/20	2120-B
Sólidos totales	mg/l*	503,0	615,8	1600*	2540 B
Sólidos suspendidos totales	mg/l	93,0	39,8	130*	2540 D
Sólidos sedimentables	ml/l	0,5	< 0,1	-	2540 E
Nitrógeno total (Kjeldahl)	mg/l	72,24	85,68	50*	4500-Norg. - B
Fósforo total	mg/l	3,75	8,25	10*	4500 - P
DBO <sub>5</sub>	mgO <sub>2</sub> /l	232,3	74,6	100*	5220 - C
DQD	mgO <sub>2</sub> /l	693,0	185,2	200*	5210 - B
Grasas y aceites	mg/l	15,4	6,9	30*	5520-B
Sulfuros	mg/l	2,8	0,18	0,5*	4500-S <sup>2-</sup> -F
Cloro residual total	mg/l	0,0	0,0	0,5*	4500 - Cl - G
Coliformes totales	NMP/100 ml**	240 E8	210 E7	-	9221 - B
Coliformes fecales	NMP/100 ml	21 E6	21 E6	10000**	9221 - C

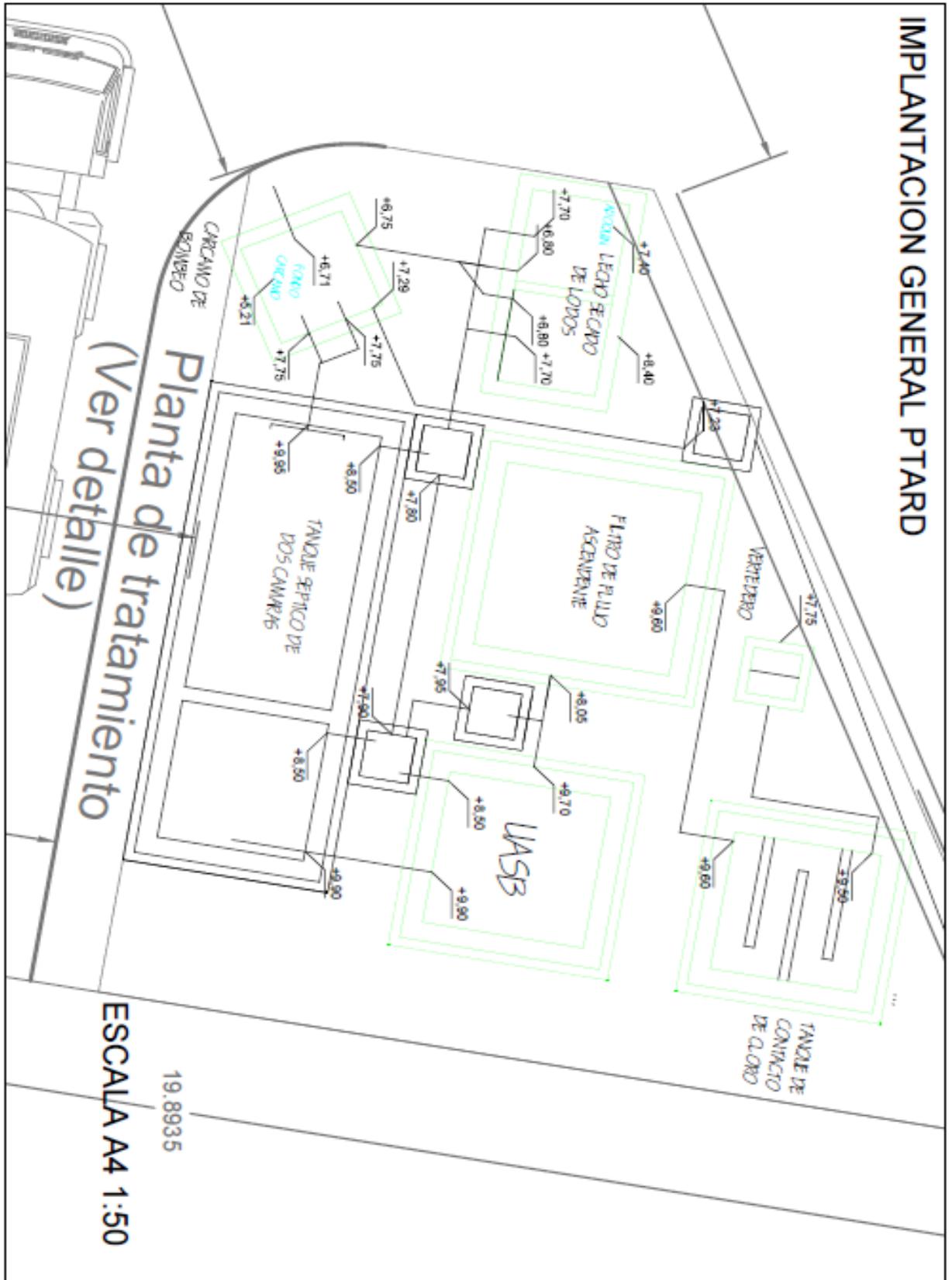
**Nota:** Los diferentes parámetros se realizaron de acuerdo a los Métodos Estándar para análisis de aguas y aguas residuales de la AWWA - APHA 22<sup>a</sup> Edición. Los resultados corresponden a las muestras analizadas. Prohibida su reproducción parcial o total sin la autorización escrita del Director Técnico.

**LMP** = Límite Máximo Permisible. **TULSMA**: TABLA 10. Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce (Acuerdo Ministerial -028)

  
**Ing. Leopoldo L. Guerrero C.**  
**Director Técnico**

Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de tipo anaeróbica, que trata un caudal medio diario ( $Q_{cmd}$ ) de 25  $m^3/d$ .

Maestría en Ciencias Ambientales



*Evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de tipo anaeróbica, que trata un caudal medio diario ( $Q_{cmd}$ ) de 25 m<sup>3</sup>/d.*

*Maestría en Ciencias Ambientales*



Quito - Ecuador

---

**NORMA TÉCNICA ECUATORIANA**

**NTE INEN 2169:2013**  
**Primera revisión**

---

**AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS**

**Primera Edición**

**WATER. WATER QUALITY. SAMPLING. HANDLING AND CONSERVATION OF SAMPLES.**

**First Edition**

---

**DESCRIPTORES:** Agua, calidad, muestreo, muestras para el análisis, preservación, manejo, condiciones generales.  
AL 01.06-202  
CDU: 614.777.620.113  
CIIU: 4100  
ICS: 13.060.01

CDU: 614.777.620.113  
ICS: 13.060.01



CIU: 4100  
AL 01.06-202

<p><b>Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria</b></p>	<p><b>AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS</b></p>	<p><b>NTE INEN 2169:2013 Primera revisión 2013-06</b></p>
<p style="text-align: center;"><b>1. OBJETO</b></p> <p>1.1 Esta norma establece las técnicas y precauciones generales que se deben tomar para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua incluyendo aquellas para análisis biológicos pero no análisis microbiológicos.</p> <p style="text-align: center;"><b>2. ALCANCE</b></p> <p>2.1 Esta norma se aplica particularmente cuando una muestra (simple o compuesta) no puede ser analizada en el sitio de muestreo y tiene que ser trasladada al laboratorio para su análisis.</p> <p style="text-align: center;"><b>3. DISPOSICIONES GENERALES</b></p> <p>3.1 Las aguas, particularmente las aguas superficiales y sobre todo las aguas residuales, son susceptibles a cambios en diferente grado como resultado de las reacciones físicas, químicas o biológicas, las cuales tienen lugar desde el momento del muestreo al comienzo del análisis. La naturaleza y la velocidad de estas reacciones son tales que, si no se toman precauciones antes y durante el transporte, así como durante el tiempo en el cual las muestras son conservadas en el laboratorio antes del análisis, las concentraciones determinadas en el laboratorio serán diferentes a las existentes en el momento del muestreo.</p> <p>3.2 Principalmente en casos de duda, se debe consultar al analista y/o al especialista que interpretará los resultados, antes de decidir sobre el método preciso de conservación y manipulación.</p> <p>3.3 Las causas de variación son numerosas, algunas de ellas son las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Las bacterias, algas y otros microorganismos pueden consumir ciertos elementos presentes en la muestra; pueden modificar la naturaleza de los constituyentes para producir nuevos. Esta actividad biológica afecta, por ejemplo: al contenido de oxígeno disuelto, al dióxido de carbono, a los compuestos de nitrógeno, fósforo y algunas veces al silicio.</li> <li>b) Ciertos compuestos pueden ser oxidados por el oxígeno disuelto contenido en las muestras o por el oxígeno atmosférico, por ejemplo: compuestos orgánicos, hierro (II), sulfuros, etc.</li> <li>c) Ciertas sustancias pueden precipitar, por ejemplo: calcio, carbonatos, metales y compuestos metálicos como: hidróxido de aluminio, Al (OH)<sub>3</sub>, fosfato de magnesio Mg<sub>3</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>; o perderse en la fase gaseosa (por ejemplo: oxígeno, cianuro, mercurio).</li> <li>d) El pH, la conductividad, el contenido de dióxido de carbono, etc., pueden modificarse por la absorción del dióxido de carbono del aire.</li> <li>e) Los metales disueltos o en estado coloidal así como ciertos compuestos orgánicos pueden ser absorbidos o adsorbidos irreversiblemente sobre la superficie de los recipientes o por los materiales sólidos contenidos en la muestra.</li> <li>f) Los productos polimerizados pueden despolimerizarse; lo contrario, los compuestos simples pueden polimerizarse.</li> </ul> <p style="text-align: right;">(Continúa)</p> <hr/> <p>DESCRIPTORES: Agua, calidad, muestreo, muestras para el análisis, preservación, manejo, condiciones generales.</p>		

3.4 La extensión de estas reacciones está dada en función de la naturaleza química y biológica de la muestra, de su temperatura, su exposición a la luz, la naturaleza del recipiente en el cual se coloca, el tiempo entre el muestreo y el análisis, las condiciones a la que ha sido sometida, por ejemplo: reposo o agitación durante el transporte.

3.5 Los cambios relativos a un constituyente en particular varían en grado y velocidad no solamente en función del tipo de agua, sino también en función de las condiciones ambientales.

3.6 Debe enfatizarse que estas variaciones son, muchas veces, lo suficientemente rápidas como para modificar considerablemente la muestra en varias horas. En todo caso, se deben tomar las precauciones necesarias para minimizar estas reacciones, y en el caso de la determinación de muchos parámetros realizar el análisis sin demora.

3.7 Como las variaciones en la muestra de agua se deben en gran medida a procesos biológicos, se debe escoger de entre varios métodos de conservación el que no introduzca contaminación inaceptable.

3.8 Como una guía puede decirse que los métodos de conservación son menos efectivos en las aguas residuales crudas que en las aguas residuales purificadas (efluentes de las plantas de tratamiento biológico). También se ha observado que el comportamiento de varias muestras de aguas residuales durante el almacenamiento es diferente, dependiendo de si las muestras han sido tomadas de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales o industriales.

3.9 Por otro lado, las aguas superficiales y las aguas subterráneas, pueden almacenarse con mayor efectividad. En el caso de aguas potables, el problema del almacenamiento se resuelve más fácilmente debido a que son menos susceptibles a reacciones biológicas o químicas.

3.10 Dependiendo de estas variaciones que afectan las muestras de agua, puede ser necesario, para ciertas determinaciones, tomar muestras individuales en vez de colectivas y analizarlas inmediatamente en el lugar del muestreo. Debe recordarse que el almacenamiento de muestras por períodos largos sólo es posible para la determinación de un número limitado de parámetros.

3.11 Pese a las numerosas investigaciones que han sido realizadas con el objeto de recomendar métodos los cuales hagan posible guardar las muestras de agua sin modificaciones en su composición, es imposible dar reglas absolutas, que cubran todos los casos y situaciones y que no presenten excepciones.

3.12 En todos los casos, el método de almacenaje, debe ser compatible con las técnicas analíticas que serán usadas.

3.13 Como se ha establecido en los párrafos anteriores es imposible dar reglas absolutas para la conservación, por lo que se deben considerar las siguientes recomendaciones:

3.13.1 La duración de la conservación, la naturaleza del recipiente y la eficacia de los procesos de conservación, no dependen, solamente de los elementos y de los niveles a ser analizados, sino también de la naturaleza de la muestra. Las tablas 1, 2, 3 y 4 de esta norma, por lo tanto se deben considerar como una guía.

3.13.2 No debe existir una diferencia significativa entre los resultados de una determinación realizada inmediatamente y los resultados obtenidos luego de la conservación; cada analista debe por lo tanto verificar el método particular de análisis que intenta usar, y si las sugerencias de las tablas 1, 2, 3 y 4 de esta norma, son adecuadas para la muestra que él está procesando.

3.13.2.1 La tabla 1 es una guía general para la conservación de muestras. Debido a la heterogeneidad de las aguas naturales y de las aguas residuales, estas necesitan, antes del análisis, un tratamiento de acuerdo a lo establecido en esta tabla.

3.13.2.2 La tabla 2 da una guía de los parámetros que se pueden analizar utilizando un mismo método de conservación. Los parámetros no enlistados en ésta tabla, normalmente no se conservan utilizando estos métodos.

(Continúa)

3.13.2.3 La tabla 3 proporciona métodos adecuados para la preservación de los grupos de vegetales y animales más estudiados. Los parámetros biológicos a ser determinados son numerosos y varias veces varían de una especie biológica a otra. Por ésta razón es imposible detallar una lista completa de todas las precauciones que se deben tomar para preservar la muestra.

3.13.2.4 La tabla 4 indica los métodos adecuados para la conservación de las muestras destinadas al análisis de muestras radiactivas.

3.13.3 Esta norma indica los métodos de análisis a ser ejecutados, y cuando es posible los métodos de conservación recomendados para ese análisis.

3.13.4 Además, dado que puede existir incompatibilidad entre el análisis a ser realizado y los varios tipos de conservantes y recipientes posibles, es necesario tomar varias muestras de la misma agua y tratar, a cada una de ellas, en relación al análisis para el cual fueron tomadas. La elección del procedimiento de conservación debe estar sujeta a la consulta con el analista.

### 3.14 Manejo y conservación

#### 3.14.1 Tipos de recipientes

3.14.1.1 Es muy importante escoger y preparar los recipientes.

3.14.1.2 El recipiente que va a contener la muestra, y la tapa, no deben:

- a) ser causa de contaminación por lixiviación de componentes inorgánicos de recipientes de vidrio (por ejemplo: los de borosilicato o los de sodio-cal, pueden incrementar el contenido de silicio y sodio), metales y compuestos orgánicos de los plásticos. Algunas tapas coloreadas pueden contener niveles significativos de metales pesados;
- b) absorber o adsorber los constituyentes a ser determinados (por ejemplo: los hidrocarburos pueden ser absorbidos en un recipiente de polietileno; trazas de los metales pueden ser adsorbidas sobre la superficie de los recipientes de vidrio, lo cual se previene acidificando las muestras);
- c) reaccionar con ciertos constituyentes de la muestra (por ejemplo: los fluoruros reaccionan con el vidrio).
- d) tener una superficie a la cual no se puedan aplicar métodos de limpieza y tratamiento con la finalidad de reducir la contaminación de la muestra por trazas de constituyentes como metales pesados o radionucleidos.

3.14.1.3 El uso de recipientes opacos o de vidrio ámbar puede reducir las actividades fotosensitivas considerablemente.

3.14.1.4 Es preferible reservar un juego de recipientes para las determinaciones especiales de forma que se reduzcan al mínimo los riesgos de contaminación cruzada.

3.14.1.5 Las precauciones son necesarias en cualquier caso, para prevenir que los recipientes que anteriormente hayan estado en contacto con muestras de alta concentración de algún elemento, contaminen posteriormente muestras de baja concentración. Los recipientes desechables son adecuados, si son económicos para prevenir este tipo de contaminación pero no se recomiendan para determinaciones de parámetros especiales como los de pesticidas organoclorados.

3.14.1.6 Las muestras en blanco de agua destilada deben tomarse, conservarse y analizarse como un control de la elección del recipiente y del proceso de lavado.

3.14.1.7 Cuando las muestras son sólidas o semisólidas, se deben usar jarras o botellas de boca ancha.

3.14.1.8 Otros factores a ser considerados son la resistencia a temperaturas extremas, resistencia a la rotura, facilidad de sellado y apertura, tamaño, forma, peso, disponibilidad, costo, potencia para reúso y limpieza.

(Continúa)

### 3.14.2 Manejo y conservación de muestras para análisis biológico

3.14.2.1 El manejo de muestras para examinación biológica es diferente al usado con muestras para análisis químico.

3.14.2.2 La adición de sustancias químicas a la muestra puede ser realizada para protección y conservación de la misma: protección de estructuras morfológicas y conservación de la materia orgánica susceptible a degradación química o bioquímica.

3.14.2.3 Los conservantes, por definición, son tóxicos y su adición puede conducir a la muerte de los organismos vivos presentes en la muestra. Previo a la muerte, la irritación puede causar que los microorganismos más sensibles (con paredes celulares débiles) colapsen antes de la protección de sus estructuras morfológicas.

3.14.2.4 Se deben considerar los siguientes criterios para la conservación de las muestras para análisis biológicos:

- a) El efecto de los conservantes en cuanto a la pérdida de microorganismos debe ser conocido de antemano;
- b) Los conservantes deben prevenir la degradación biológica de materia orgánica, al menos durante el periodo de almacenamiento;
- c) Los conservantes debe permitir que los grupos taxonómicos puedan ser estudiados durante el periodo de almacenamiento de las muestras.

### 3.14.3 Preparación de recipientes

#### 3.14.3.1 Recipientes de muestras para análisis químicos

- a) Para el análisis de trazas de constituyentes químicos, de agua superficial o residual, es necesario lavar los recipientes nuevos con el fin de minimizar la contaminación de la muestra; el tipo de limpiador usado y el material del recipiente varían de acuerdo a los constituyentes a ser analizados, por ejemplo detergentes que contengan fosfatos causan contaminación residual cuando se va a analizar nutrientes.
- b) El recipiente nuevo de vidrio, se debe lavar con agua y detergente para retirar el polvo y los residuos del material de empaque, seguido de un enjuague con agua destilada o desionizada.
- c) Para el análisis de trazas, los recipientes se deben llenar con una solución 1 M de ácido clorhídrico o de ácido nítrico y dejarlos en contacto por un día, luego enjuagar completamente con agua destilada o desionizada.
- d) Para la determinación de fosfatos, sílice, boro y agentes surfactantes no se deben usar detergentes en la limpieza de los recipientes.
- e) Para el análisis de trazas de materia orgánica puede ser necesario un pretratamiento especial de las botellas (ver 3.14.3.2).

#### 3.14.3.2 Recipientes de muestras para determinación de pesticidas, herbicidas y sus residuos

- a) Se deben usar recipientes de vidrio (preferiblemente ámbar), debido a que los plásticos, excepto el politetrafluoroetileno (PTFE), pueden introducir interferencias que son significativas en el análisis de trazas.
- b) Todos los recipientes, se deben lavar con agua y detergente, seguido de un enjuague con agua destilada o desionizada, secado en estufa a 105 °C por 2 h y enfriado antes de enjuagarlos con el disolvente de extracción que se usará en el análisis. Finalmente se deben secar con una corriente de aire purificado o de nitrógeno.
- c) A los recipientes que han sido usados anteriormente, se debe realizar una extracción con acetona por 12 h seguido de un enjuague con hexano y de un secado como el descrito en el párrafo anterior.

### 3.15 Recomendaciones generales

3.15.1 Se debe evitar la contaminación de la muestra, especialmente si la actividad de la muestra es baja. Algunas muestras presentan lecturas de actividad si permanecen en el sol o el aire. Los laboratorios ordinarios y los radioquímicos, así como algunos artefactos domésticos, pueden contener material radiactivo.

3.15.2 Algunas botellas de plástico concentran las muestras paulatinamente debido a que se vuelven permeables al agua. Ver las recomendaciones para radón.

3.15.3 Cuando se muestrea agua lluvia, (ver ISO 5667-8). Como la recolección de una cantidad suficiente de muestra requiere un período de varios días, anotar la fecha de inicio y finalización de la recolección. Se puede adicionar un acarreador o estabilizador para determinadas mediciones.

3.15.4 La anotación de la fecha y la hora de muestreo es importante cuando se requiera hacer correcciones por deterioro.

## 4. INSPECCIÓN

### 4.1 Muestreo

#### 4.1.1 Llenado del recipiente

4.1.1.1 En muestras que se van a utilizar para la determinación de parámetros físicos y químicos, llenar los frascos completamente y taponarlos de tal forma que no exista aire sobre la muestra. Esto limita la interacción de la fase gaseosa y la agitación durante el transporte (así se evita la modificación del contenido de dióxido de carbono y la variación en el valor del pH, los bicarbonatos no se convierten a la forma de carbonatos precipitables; el hierro tiende a oxidarse menos, limitando las variaciones de color, etc.).

4.1.1.2 Los recipientes cuyas muestras se van a congelar como método de conservación, no se deben llenar completamente.

#### 4.1.2 Refrigeración y congelación de las muestras

4.1.2.1 Las muestras se deben guardar a temperaturas más bajas que la temperatura a la cual se recolectó. Los recipientes se deben llenar casi pero no completamente.

4.1.2.2 La refrigeración o congelación de las muestras es efectiva si se la realiza inmediatamente luego de la recolección de la muestra. Se debe usar, cajas térmicas o refrigeradores de campo desde el lugar del muestreo.

4.1.2.3 El simple enfriamiento (en baño de hielo o en refrigerador a temperaturas entre 2°C y 5°C) y el almacenamiento en un lugar oscuro, en muchos casos, es suficiente para conservar la muestra durante su traslado al laboratorio y por un corto período de tiempo antes del análisis. El enfriamiento no se debe considerar como un método de almacenamiento para largo tiempo, especialmente en el caso de las aguas residuales domésticas y de las aguas residuales industriales (ver tabla 1).

4.1.2.4 El congelamiento a temperaturas de -20 °C permite un incremento en el período de almacenamiento, sin embargo, es necesario un control del proceso de congelación y descongelación a fin de retornar a la muestra a su estado de equilibrio inicial luego del descongelamiento. En este caso, se recomienda el uso de recipientes de plástico (policloruro de vinilo o polietileno). Los recipientes de vidrio no son adecuados para el congelamiento.

#### 4.1.3 Filtración y centrifugación de muestras

4.1.3.1 La materia en suspensión, los sedimentos, las algas y otros microorganismos deben ser removidos en el momento de tomar la muestra o inmediatamente después por filtración a través de papel filtro, membrana filtrante o por centrifugación. La filtración no es aplicable si el filtro es capaz de retener unos o más de los componentes a ser analizados. También es necesario que el filtro no sea causa de contaminación y que sea cuidadosamente lavado antes del uso, pero de manera compatible con el método final de análisis.

(Continúa)

4.1.3.2 Otro motivo para filtrar la muestra puede ser la determinación de la relación entre formas solubles e insolubles de una sustancia a analizar (por ejemplo: un metal).

4.1.3.3 Las membranas se deben usar con cuidado ya que varios metales pesados y materia orgánica pueden ser adsorbidos en la superficie de la membrana, y los compuestos solubles de la membrana pueden ser extraídos por la muestra.

4.1.3.4 La decantación de la muestra no es recomendada como una alternativa de la filtración.

#### 4.1.4 Adición de conservantes

4.1.4.1 Ciertos constituyentes físicos o químicos se estabilizan por la adición de compuestos químicos, directamente a la muestra luego de recolectada o adicionando al recipiente cuando aún está vacío. Los compuestos químicos así como sus concentraciones son muy variados. Los compuestos químicos de más uso son:

- a) ácidos,
- b) soluciones básicas,
- c) biácidos y
- d) reactivos especiales, necesarios para la conservación específica de ciertos elementos (por ejemplo: para la determinación de oxígeno, cianuros totales y sulfitos se requiere de la fijación para los mismos en la muestra inmediatamente en el sitio de la recolección, ver tabla 1).
- e) Precaución - Se debe evitar el uso de cloruro de mercurio ( $HgCl_2$ ) y de acetato-fenil mercurio ( $CH_3CO_2HgC_6H_5$ ).

4.1.4.2 Se debe recordar que ciertos conservantes (por ejemplo: los ácidos, el cloroformo) se deben usar con precaución, por el peligro que involucra su manejo. Los operadores deben ser advertidos de esos peligros y de las formas de protección.

4.1.4.3 Los conservantes usados no deben interferir en la determinación; en casos de duda se aconseja realizar una prueba para comprobar su compatibilidad. Cualquier dilución de la muestra por la adición de conservantes se debe tomar en cuenta durante el análisis y el cálculo de resultados.

4.1.4.4 Es preferible realizar la adición de conservantes usando soluciones concentradas de tal forma que sean necesarios volúmenes pequeños; esto permite que la dilución de las muestras por estas adiciones no sean tomadas en cuenta en la mayoría de los casos.

4.1.4.5 La adición de estos agentes, puede modificar también la naturaleza física o química de los elementos, por lo tanto es importante que esas modificaciones no sean incompatibles con los objetivos de la determinación, (por ejemplo: la acidificación puede solubilizar a los compuestos coloidales o a los sólidos, por esto, se debe usar con cuidado si la finalidad de las mediciones es la determinación de los elementos disueltos. Si el objeto del análisis es la determinación de la toxicidad para los animales acuáticos, se debe evitar la solubilización de ciertos elementos, particularmente de metales pesados que son tóxicos en su forma iónica. Las muestras deben ser analizadas lo más pronto posible).

4.1.4.6 Realizar un ensayo del blanco, cuando se determinan trazas de elementos, para evaluar la posible introducción de estos elementos en la adición de los conservantes; (por ejemplo: los ácidos pueden introducir cantidades significativas de mercurio, arsénico y plomo). En este caso se deben usar los mismos conservantes empleados en la muestra para preparar el ensayo del blanco.

#### 4.1.5 Transporte de las muestras

4.1.5.1 Los recipientes que contienen las muestras deben ser protegidos y sellados de manera que no se deterioren o se pierda cualquier parte de ellos durante el transporte.

4.1.5.2 El empaque debe proteger los recipientes de la posible contaminación externa y de la rotura, especialmente de la cercana al cuello y no deben ser causa de contaminación.

(Continúa)

4.1.5.3 Durante la transportación, las muestras deben guardarse en ambiente fresco y protegidas de la luz; de ser posible cada muestra debe colocarse en un recipiente individual impermeable.

4.1.5.4 Si el tiempo de viaje excede al tiempo máximo de conservación recomendado antes del análisis, estas muestras deben reportar el tiempo transcurrido entre el muestreo y el análisis; y su resultado analítico debe ser interpretado por un especialista.

#### 4.1.6 Recepción de las muestras en el laboratorio

4.1.6.1 Al arribo al laboratorio, las muestras deben, si su análisis no es posible inmediatamente, ser conservadas bajo condiciones que eviten cualquier contaminación externa y que prevengan cambios en su contenido.

4.1.6.2 Es recomendable para este propósito el uso de refrigeradoras o de lugares fríos y oscuros.

4.1.6.3 En todos los casos y especialmente cuando se requiera establecer la cadena de custodia es necesario verificar el número recibido, contra el registro del número de recipientes enviados por cada muestra.

### 5. ROTULADO

5.1 Los recipientes que contienen las muestras deben estar marcados de una manera clara y permanente, que en el laboratorio permita la identificación sin error.

5.2 Anotar, en el momento del muestreo todos los detalles que ayuden a una correcta interpretación de los resultados (fecha y hora del muestreo, nombre de la persona que muestreó, naturaleza y cantidad de los conservantes adicionados, tipo de análisis a realizarse, etc.).

5.3 Las muestras especiales con material anómalo, deben ser marcadas claramente y acompañadas de la descripción de la anomalía observada. Las muestras que contienen material peligroso o potencialmente peligroso, por ejemplo ácidos, deben identificarse claramente como tales.

TABLA 1. Técnicas generales para la conservación de muestras - análisis físico-químico.

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Aceites y grasa	V lavado con solvente	1 000	Acidificar a pH 1 a 2 con HCl o $H_2SO_4$	1 mes		
Acidez y alcalinidad	P o V	500 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	24 h	14 días Las muestras preferiblemente deben ser analizadas en el lugar (en particular para las muestras con alto contenido de gases disueltos). Reducción y oxidación durante el almacenamiento puede cambiar la muestra	
Aluminio	P lavado con ácido V o VB lavados con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con $HNO_3$	1 mes		
Amoníaco, libre e ionizado	P o V	500	Acidificar a entre pH 1 a 2 con $H_2SO_4$ , enfriar a 1 °C y 5 °C.	21 días	Filtrar en el lugar antes de conservación	
	P	500	Congelar a -20 °C	1 mes		
Aniones (Br, F, Cl, $NO_2$ , $NO_3$ , $PO_4$ y $SO_4$ )	P o V	500	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	24 h	Filtrar en el lugar antes de conservación.	
	P	500	Congelar a -20 °C	1 mes		
Antimonio	P lavado con ácido V lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HCl o $HNO_3$ .	1 mes	HCl debe ser utilizado si la técnica de hidruro se utiliza para el análisis.	
Arsénico	P lavado con ácido V lavado con ácido	500	Se acidifica entre pH 1 a 2 con HCl o $HNO_3$ .	1 mes	HCl debe ser utilizado si la técnica de hidruro se utiliza para el análisis.	980
Bario	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con $HNO_3$ .	1 mes	No utilice $H_2SO_4$	
Berilio	P lavado con ácido o V lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con $HNO_3$ .	1 mes		
Bicarbonatos	Ver "Acidez y alcalinidad"					
Bifenilos policlorados (PCB)	V, Lavado con disolvente, tapa con revestimiento de PTFE	1 000 No enjuagar previamente recipiente con la muestra; análisis se adhieren a la pared de la botella. No llene completamente contenedor de muestras.	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	7 días	Extraer in situ cuando sea viable. Si la muestra se encuentra clorada, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de $Na_2S_2O_5 \cdot 5H_2O$ al contenedor antes de la recolección.	

NTE INEN 2169

2013-06

(Continuación tabla 1)

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Boro	P	100 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	No se requiere ninguna	1 mes	6 meses	
Bromato	P o V	100	Se enfría a 1 °C y 5 °C	1 mes		
Bromo y compuestos de bromo	P o V	100	Se enfría a 1 °C y 5 °C	1 mes		
Bromo residual	P o V	500	Se enfría a 1 °C y 5 °C	24 h	Mantener muestras almacenadas en la oscuridad. El análisis debe llevarse a cabo en el lugar, dentro de 5 min de recogida de muestras.	
Cadmio	P lavado con ácido o VB lavado con ácido.	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	6 meses	982
Calcio	P o V	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes		1107
Carbamatos	V lavado con solvente	1 000	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	14 días	Si la muestra se encuentra clorada, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·5H <sub>2</sub> O al contenedor antes de la recolección.	
	P	1 000	Congelar a -20 °C	1 mes		
Carbono, orgánico total (TOC)	P o V	100	Acidificar a pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , enfriar hasta 1 °C y 5 °C.	7 días	Acidificación a pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> es adecuado. Si se sospecha la existencia de compuestos orgánicos volátiles, la acidificación no es adecuada. Analizar dentro de 8 h.	
	P	100	Congelar a -20 °C	1 mes		
Cloramina	P o V	500			Mantener muestras almacenadas en la oscuridad. El análisis debe llevarse a cabo en el lugar, dentro de 5 min de recogida de muestras.	
Cloratos	P o V	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	7 días		
Cloruros	P o V	100		1 mes		976
Cianuro por difusión a pH 8	P	500	Añadir NaOH hasta pH >12. Se enfría a 1 °C y 5 °C.	24 h		
Cianuro fácilmente liberado	P	500	Añadir NaOH hasta pH >12. Se enfría a 1 °C y 5 °C.	7 días 24 h si sulfuros están presentes.	Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	
Cianuro total	P	500	Añadir NaOH hasta pH >12. Se enfría a 1 °C y 5 °C.	7 días 24 h si sulfuros están presentes.	14 días Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	
Cianocloruro	P	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	24 h		

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

(Continuación tabla 1)

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Cloro, dióxido	P o V	500		5 min	Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad. El análisis debe llevarse a cabo en el campo, dentro de 5 min de recogida de muestras.	
Cloro orgánico	Ver "haluros orgánicos absorbibles (AOX)"					
Cloro residual	P o V	500		5 min	Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad. El análisis debe llevarse a cabo en el campo, dentro de 5 min de recogida de muestras.	977
Clorito	P o V	500	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C	5 min	Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad. El análisis debe llevarse a cabo en el campo, dentro de 5 min de recogida de muestras.	
Clorofila	P o V	1 000	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C	24 h	Transporte en botellas de color ámbar.	
	P	1 000	Después de la filtración y la extracción con etanol caliente, congelar a -20 °C.	1 mes		
	P	1 000	Después de la filtración, de frío -80 °C	1 mes		
Cobalto	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	6 meses	
Cobre	P lavado con ácido o V lavado con ácido	100	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	6 meses	984
Color	P o V	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	5 días	Mantener muestras almacenadas en la oscuridad. En caso de las aguas subterráneas, ricas en hierro (II), el análisis debe llevarse a cabo in situ, dentro de 5 min de recogida de muestras	970
Compuestos de metales pesados (excepto mercurio)	P o VB	500	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	6 meses	
Cromo	P lavado con ácido o V lavado con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	6 meses	

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

(Continuación tabla 1)

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Cromo (VI)	P lavado con ácido o V lavado con ácido	100	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C	24 h	Reducción y oxidación durante el almacenamiento puede cambiar la concentración de la muestra.	983
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	P o V	1 000 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	Se enfría a 1 °C y 5 °C	24 h	Mantener muestras almacenadas en la oscuridad.	1202
	P	1 000	Congelar a -20 °C	1 mes	En caso de congelación para -20 °C: 6 meses (1 mes si <50 mg/L)	
Demanda química de oxígeno (DQO)	P o V	100	Acidificar a pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1 mes	6 meses	1203
	P	100	Congelar a -20 °C	1 mes	6 meses	
Detergentes	Consultar "Surfactantes"					
Dióxido de carbono	P o V	500 Llenar el contenedor completamente para excluir el aire.	Se enfría entre 1 °C y 5 °C.	24 h	Determinación lleva a cabo preferiblemente in situ.	
Disolventes clorados	V, usa tapones de PTFE.	250 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	Acidificar entre pH 1 a 2 con HCl.	24 h	Si la muestra se encuentra clorada, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·5H <sub>2</sub> O al contenedor antes de la recolección.	
			Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	24 h		
Dureza total	Consulte "caldo"					
Estaño	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a pH 1 a 2 con HCl	1 mes		
Fenoles	VB, Ámbar, solventes lavados con revestimiento PTFE tapa	1 000 No enjuagar previamente el recipiente con la muestra; analitos se adhieren a la pared de la botella. No llene completamente contenedor de muestras.	Acidificar a pH<4 con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> o H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	3 semanas	Si la muestra se encuentra clorada, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·5H <sub>2</sub> O al contenedor antes de la recolección.  Para clorofenoles el periodo de extracción es de 2 días	
Fenol, índice	V	1 000	Inhibir oxidación bioquímica mediante la adición de CuSO <sub>4</sub> y acidificar a pH<4 con H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	21 días		
Fluoruros	P, pero no PTFE	200		1 mes		985
Fósforo, disuelto	V o VB o P	250	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	1 mes	La muestra debe ser filtrada en el lugar en el momento del muestreo.	
	P	250	Congelar a -20 °C.	1 mes	Antes del análisis, agentes oxidantes se pueden eliminar mediante la adición de hierro (II) sulfato o arsenito de sodio.	

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

(Continuación tabla 1)

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Fósforo, total	V o VB o P	250	Acidificar a pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d	1 mes	Ver "Fósforo, disuelto"	
	P	250	Congelar a - 20 °C.	1 mes	6 meses	
Fósforo, disuelto	V o VB o P	250	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	1 mes	La muestra debe ser filtrada en el lugar en el momento del muestreo.	
	P	250	Congelar a - 20 °C.	1 mes	Antes del análisis, agentes oxidantes se pueden eliminar mediante la adición de hierro (II) sulfato o arsenito de sodio.	
Fósforo, total	V o VB o P	250	Acidificar a pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> d	1 mes	Ver "Fósforo, disuelto"	
	P	250	Congelar a - 20 °C.	1 mes	6 meses	
Haluros orgánicos absorbibles (AOX)	P o V	1 000 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	Acidificar entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> , se enfría hasta 1°C y 5 °C, mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	5 días		
	P	1 000	Congelar hasta -20 °C.	1 mes		
Herbicidas ácidos	V con tapa revestida con PTFE	1 000 No enjuagar previamente el recipiente vacío con la muestra; analitos se adhieren a la pared de la botella. No llene completamente contenedor de muestras.	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HCl y se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	2 semanas	Si la muestra se encuentra clorada, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 5H <sub>2</sub> O al contenedor antes de la recolección.	
Hidracina	V	500	Acidificar con HCl a 1 mol / L	24 h	Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	
Hidrocarburos	V disolvente (por ejemplo pentano) utilizado para la extracción	1 000 No enjuagar previamente recipiente con la muestra; analitos se adhieren a la pared de la botella. No llene completamente contenedor de muestras.	Acidificar a pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> o con HCl	1 mes	Extraer in situ cuando sea viable.	
Hidrocarburos aromáticos monocíclicos	V, tapas con septum de PTFE	500 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.	Acidificar a pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	7 días	Si la muestra se encuentra clorada, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 5H <sub>2</sub> O al contenedor antes de la recolección.	

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

(Continuación tabla 1)

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP)	V, Lavado con disolvente con revestimiento de PTFE tapa	500	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	7 días	Si la muestra se encuentra dormida, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ·5H <sub>2</sub> O al contenedor antes de la recolección.	
Hierro (II)	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HCl y la exclusión de oxígeno atmosférico.	7 días		
Hierro, total	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes		1204
Litio	P	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes		
Nitrógeno Kjeldahl	P o VB	250	Acidificar a entre pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	1 mes	Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	1102
	P	250	Congelar a - 20 °C.	1 mes	6 meses	
Magnesio	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes		1103
Manganeso	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes		1104
Mercurio	VB lavado con ácido	500	Acidificar a pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> . Además de K <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>7</sub> (0,05% en masa, concentración final).	1 mes	Se necesita particular cuidado para garantizar que la muestra esté libre de contaminación.	
Níquel	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub> .	1 mes	6 meses	
Nitrato	P o V	250	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	24 h		975 995
	P o V	250	Acidificar entre pH 1 a 2 con HCl	7 días		
	P	250	Congelar a - 20 °C.	1 mes		
Nitrito	P o V	200	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	24 h	El análisis preferiblemente debe llevarse a cabo en el sitio.	
Nitrógeno total	P o V	500	Acidificar a pH 1 a 2 con H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .	1 mes	2 días	
	P	500	Congelar a - 20 °C.	1 mes		
Olor	V	500	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C.	6 h	La prueba puede llevarse a cabo en el sitio (análisis cualitativo).	

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

(Continuación tabla 1)

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Selenio	F lavado con ácido o V lavado con ácido	500	Acidificar a pH 1 a 2 con $HNO_3$	1 mes		
Silicatos, disueltos	P	200	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	1 mes	La muestra debe ser filtrada en el lugar en el momento del muestreo.	
Silicatos, totales	P	100	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	1 mes		
Sodio	P o V	100	Acidificar a pH 1 a 2 con $HNO_3$	1 mes		
Sólidos disueltos (Residuo seco)	Ver "Sólidos Totales (residuos totales)"					
Sólidos, suspendidos	P o V	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	2 días		
Sólidos totales (residuos totales, extracto seco)	P o V	100	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	24 h		
Sulfato	P o V	200	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	1 mes		
Sulfuros (fácilmente liberados)	P	500 Llenar el contenedor completamente para excluir el aire.	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	1 semana	Fijar muestras inmediatamente in situ mediante la adición de 2 ml de 10% (en masa) de la solución de acetato de zinc. Si la muestra se encuentra clorinada, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de ácido ascórbico al contenedor antes de la recolección.	
Sulfitos	P o V	500 Llenar contenedor completamente para excluir el aire.		2 días	Fijar en el sitio mediante la adición de 1 ml de una solución de EDTA 2,5% (en masa) por 100 ml de la muestra.	
Tensioactivos, aniónicos	V, Lavar con metanol.	500	Acidificar a entre pH 1 a 2 con $H_2SO_4$ Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	2 días	El vidrio no debe ser lavado con detergente. Se puede combinar con no - iónico.	
Tensioactivos, catiónicos	V, Lavar con metanol.	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	2 días	El vidrio no debe ser lavado con detergente.	
Tensioactivos no iónicos	V	500 Asegurarse que el contenedor se llena completamente.	Añadir formaldehído 37% (en volumen), solución para dar 1% (en volumen), enfriar hasta 1 °C y 5 °C	1 mes	El vidrio no debe ser lavado con detergente.	
Trihalometanos	V, tapas recubiertas con PTFE	100 Llenar el contenedor completamente para excluir el aire.	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C	14 días	Extraer in situ cuando sea posible. Si la muestra se encuentra clorinada, para cada 1 000 ml de muestra, agregar 80 mg de $Na_2S_2O_5 \cdot 5H_2O$ al contenedor antes de la recolección.	

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

(Continuación tabla 1)

Parámetro	Tipo de recipiente V, vidrio; P, plástico; VB, vidrio borosilicatado	Volumen típico (ml) y técnica de envasado	Técnica de preservación	Tiempo máximo recomendado de preservación antes del análisis después de la conservación	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
Turbiedad	P o V	100	Se enfría a entre 1 °C y 5 °C. Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	24 h	Preferiblemente llevar a cabo en el campo.	
Uranio	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	200	Acidificar a entre pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes		
Vanadio	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Se acidifica a pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes		
Yoduro	V	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	1 mes		
Yodo	V	500	Se enfría hasta 1 °C y 5 °C.	24 h	Mantener las muestras almacenadas en la oscuridad.	
Zinc	P lavado con ácido o VB lavado con ácido	100	Acidificar a pH 1 a 2 con HNO <sub>3</sub>	1 mes	6 meses	

TABLA 2. Distribución de los parámetros de análisis según el tipo de conservación usado (Anexo a la tabla 1)

Conservación por	Recomendado para	No recomendado para
Alcalinización a pH > 11	Ioduros	La mayoría de los compuestos orgánicos, metales pesados en estados de oxidación menor. Algunos metales que forman aniones solubles a estados de oxidación altos (dependiendo del anión presente consultar las tablas de solubilidad)  Amoniacolamonio Aminas y amidas Fósforo total Hidrazina Hidroxilamina
Acidificación a pH < 2	Metales alcalinos Aluminio Amonio (pero no si se requiere por separado el amonio libre y el total) Aniónico Metales alcalinotérreos Nitrato Dureza total Fósforo total Metales pesados	Cianuros Sulfuros Carbonatos, bicarbonatos, dióxido de carbono Sulfitos, dióxido de azufre Tiosulfatos Nitratos Fosfonatos (si la técnica indica) Surfactantes y ésteres  Hexametilentetramina  No usar ácido sulfúrico para Calcio, Estroncio, Bario, Radio y Plomo  No usar ácido clorhídrico para Plata, Talio, Plomo, Bismuto, Mercurio(I) y Antimonio  No usar ácido nítrico para estaño

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

[Continuación tabla 2]

Conservación por	Recomendado para	No recomendado para
Refrigeración de 2°C a 5°C	Acidez, alcalinidad Amonio Bromo y sus compuestos Clorofila Ioduros Nitrógeno (kjeldahl) Conductividad Nitrato Nitrato Olor Ortofosfatos Fósforo Sulfatos Surfactantes catiónicos Residuo seco Sólidos totales Bioensayos	
Congelamiento a -20°C	Clorofila DQO  Bioensayos análisis de toxicidad Carbón orgánico  Índice de permanganato	No recomendable para biota si se hace una distinción entre la biota del líquido y las células contenidas en la biota.  Gases disueltos.  Para identificación de microorganismos.  Puede ocurrir cambios en varios solutos, lo que requiere de homogenización luego del descongelamiento.  Puede ocurrir precipitación (y polimerización) dificultando el análisis.  Recíprocamente algunos polímeros depolimerizan. Las recomendaciones se deben evaluar antes del uso rutinario.

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

TABLA 3. Técnicas generales recomendadas para la conservación de muestras para análisis Biológico

Parámetro a ser analizado	Tipo de recipiente F = plástico V = vidrio VB = vidrio Borosilicatado	Técnica de conservación	Lugar del análisis	Tiempo máximo de conservación antes del análisis	Comentarios	Método de ensayo NTE INEN
<b>Cantidad e identificación</b>						
Sedimento béntico, macro invertebrado	P o V	Adicionar etanol al 70 % (v/v)	Laboratorio	1 año	El agua de las muestras se debe decantar para aumentar la concentración del preservante	
- sedimento abundante		Adicionar 40 cm <sup>3</sup> de formaldehído al 40 % (v/v) neutralizado con borato de sodio.	Laboratorio	1 año		
- sedimento escaso	V	Transferir a una solución preservante de etanol al 70 %, formaldehído al 40% y glicerol (en proporciones 100+2+1 respectivamente)	Laboratorio	Indefinidamente	Se requieren de métodos especiales para los grupos de invertebrados que se deforman por el tratamiento normal de preservación (p.e. plátelmintos)  Precaución: Cuidarse de los vapores de formaldehído. No almacenar muchas muestras en el área de trabajo)	
Perifiton	V	Adicionar una parte por volumen de Lugol para 100 partes de volumen de muestra.	Laboratorio	1 año	Guardar las muestras en la obscuridad	
Fitoplancton	V	Ver perifiton	Laboratorio	1 año	Guardar las muestras en la obscuridad	
Zooplancton	V	Adicionar formaldehído al 40 % para tener formalina al 4% o adicionar solución de Lugol como para el Perifiton	Laboratorio	1 año	La adición de una mayor cantidad de Lugol puede ser necesaria si ocurre decoloración	

(Continúa)

NTE INEN 2169

2013-06

(Continuación Tabla 3)

Sedimento húmedo y sedimento seco	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	En el sitio o en el laboratorio	24 h	No congelar a -20°C Realizar el análisis antes de las 24 h	
Sedimento Béntico o macro invertebrados						
Macrofitos						
Perifiton						
Fitoplancton						
Zooplancton						
Peces	-	En el sitio				
Cenizas del sedimento	P o V	Filtrar y refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	2 semanas		
Sedimento béntico ó macro invertebrados						
Macrofitos						
Perifiton						
Fitoplancton						
Análisis de toxicidad	P o V	Refrigerar entre 2°C y 5°C	Laboratorio	24 h	El periodo de conservación varía de acuerdo al método de análisis usado.	
		Congelar a -20°C	Laboratorio	2 semanas		

(Continúa)

# BIBLIOGRAFÍA

- A. A. Azimi, & M. Zamanzadeh. (2004). Determination of design criteria for UASB reactors as a wastewater. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 51 - 57.
- A. Tawfik, F. E.-G. (2010). Treatment of domestic wastewater in an up-flow anaerobic sludge. *Bioprocess Biosyst Eng*, 267-276.
- Busato, R. (2004). Desempeño de un filtro anaerobico de flujo ascendente como tratamiento de efluente de UASB. Curitiba, Brasil.
- Chernicharo. (1997). *Reactores Anaeróbicos v.5*. Belo Horizonte: SEGRAC.
- Condorchem Envitech. (2010, 01 19). Retrieved from <https://blog.condorchem.com/tag/historia-del-agua/>
- Crombet Grillet, S., Abalos Rodríguez, A., Rodríguez Pérez, S., & Pérez Pompa, N. (2016). Evaluación del tratamiento anaerobio de las aguas residuales de una comunidad universitaria. *Revista Colombiana de Biotecnología Vol. XVIII No. 1*.
- da Silva, F., Lima, M., Mendonça, L., & Gomes, M. (2013). SEPTIC TANK COMBINED WITH ANAEROBIC FILTER AND CONVENTIONAL UASB – RESULTS FROM FULL SCALE PLANTS. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 133-140.
- Hernandez Muñoz, A. (1996). *Manual de Depuración Uralita*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Hernandez Muñoz, A. (1998). *Depuración de Aguas Residuales*. Madrid: Paraninfo S.A.
- M.K. Daud, Rizvi, H., Muhammad , F. A., Shafaqat , A., Muhammad , R., Muhammad , N., & Zhu , S. J. (2018). Review of Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor Technology: Effect of Different Parameters and Developments for Domestic Wastewater Treatment. *Hindawi Journal of Chemistry*.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento Vertido y Utilización*. McGraw-Hill.

- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales, Redes de alcantarillado y bombeo*. McGraw-Hill.
- Molinos Senante, M., Hernandez Sancho, F., & Sala Garrido, R. (2012). Estado actual y evolución del saneamiento y la depuración de aguas residuales en el contexto nacional e internacional. *Anales de Geografía*, 69-89.
- Moreno, A. L., & Moya, L. (1995). Evaluación de una planta anaerobia UASB con agua residual doméstica de un sector residencial de Barranquilla. *Ingeniería y Desarrollo; Barranquilla*.
- Normas para Estudio y Diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes (Co 10.07 – 601), Secretaría Del Agua
- Orozco, A. (2014). *Bioingeniería de Aguas Residuales, Teoría y Diseño*. Medellín: Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental.
- Peña, M., Rodríguez, J., Mara, D., & Sepulveda, M. (2000). UASBs or anaerobic ponds in warm climates? A preliminary answer from Colombia. *Water Science & Technology*, 59-65.
- Rodriguez-Gomez, R., Renman, G., Moreno, L., & Liu, L. (2014). A model to describe the performance of the UASB reactor. *Biodegradation*, 239–251.
- Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios de Diseño*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.