

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA



**"ANÁLISIS DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO
ACELHUATE EN EL TRAMO ZOOLOGICO-RÍO ARENAL MONSERRAT
Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO"**

PRESENTADO POR:

GLORIA ORIANA PAVLOVA CLAROS RAMÍREZ

NIDIA GUADALUPE MENJIVAR ALFARO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERA QUÍMICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, SEPTIEMBRE DE 2010.

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

MSc. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SACRETARIO GENERAL :

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO :

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

DIRECTOR :

ING. FERNANDO TEODORO RAMÍREZ ZELAYA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERA QUÍMICO

Título

:

**"ANÁLISIS DEL NIVEL DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS DEL RÍO
ACELHUATE EN EL TRAMO ZOOLOGICO-RÍO ARENAL MONSERRAT
Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO"**

Presentado por

:

GLORIA ORIANA PAVLOVA CLAROS RAMÍREZ

NIDIA GUADALUPE MENJIVAR ALFARO

Trabajo de graduación aprobado por :

Docente Director

:

ING. JUAN RODOLFO RAMÍREZ GUZMÁN

San Salvador, Septiembre de 2010

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. JUAN RODOLFO RAMÍREZ GUZMÁN

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Alcaldía de San Salvador por confiarnos la realización de tan hermoso proyecto de estudio ambiental que contribuirá a mejorar la calidad de vida en la sociedad, agradecemos también su apoyo financiero para la determinación de análisis de laboratorio, la información brindada y la atención recibida por parte de la Unidad Ambiental, especialmente a la Lic. Soledad Quintanilla, Sr. Marco Antonio y la Sra. Nubia quienes se interesaron en que se lograra la realización de este estudio.

Al Cuerpo de Agentes Metropolitanos: Sargento Marvin Antonio Durán, a los agentes Sofía Aracely Alas, Oscar Orlando Henríques, Guillermo Antonio Rivas, Silvia Serrano Córdova, entre otros a quienes agradecemos el apoyo y protección brindada durante los recorridos hechos sobre el Distrito 5 y la subcuenca urbana del Río Acelhuate.

A nuestro apreciado asesor Ing. Juan Ramírez, por su credibilidad y confianza hacia nosotras para la realización de esta propuesta de tratamiento.

A la Ing. Celia Mena y especialmente al Ing. Ernesto Alonso Castellanos, ambos de la Unidad Ambiental de ANDA quienes nos brindaron amablemente información valiosa que contribuyó a consolidar este trabajo de graduación.

A todos ellos:

Muchas Gracias.

DEDICATORIA

A Dios Todopoderoso de Quién siempre he tenido notablemente su protección, que me ha acompañado en todo el transcurso de mi vida y me ha abrigado en sus brazos en los momentos más difíciles. Gracias Señor, por Ti he logrado alcanzar este nivel profesional.

A mis padres: Luis y Any, por su amor recibido, por su apoyo incondicional y por sus consejos que me hicieron ser persistente y alcanzar mis objetivos aún cuando estaba perdiendo la voluntad y las fuerzas de seguir adelante. Papá y Mamá todos mis logros son frutos de sus sacrificios y esfuerzos, gracias por esta familia que juntos consolidaron y por amarnos tanto a mis hermanos y a mi. Los amo.

A mi amada abuela: mi mamá Yoya, gracias por su amor tan grande que ha sido mi consuelo, por estar siempre pendiente de mi y por creer profundamente en mi capacidad, usted ha sido una parte fundamental en mi vida. Gracias.

A mis hermanos a quienes adoro con todo mi corazón: a Luis Orlando que aunque siendo el menor de mis hermanos, creyó y confió en mí. A mi hermana Ucrania quien ha sido incondicional, comprensiva y una hermana amorosa, que siempre ha estado conmigo y de quién he recibido un inmenso apoyo, una gran amiga en quien he podido confiar ciegamente y que ha sido mi complemento personal y profesional, ustedes queridos hermanos forman parte de este triunfo que hoy contemplo en mis manos.

A mis amigos y compañeros, especialmente a mis amigas Olga y Sofía con quienes disfruté los mejores momentos en mi querida Universidad, y que con sus risas y su amistad me ayudaron a soportar el peso del estudio.

A todos ellos expreso profundamente mis agradecimientos, y dedico este sueño hecho realidad.

Pavlova.

En primer lugar tengo que agradecer a Dios quien me ha acompañado en todo este trayecto, solo el sabe cuantos días de desvelo, cuantos días de frustración cuando obtenía una mala calificación, solo el sabe a cabalidad aquellos días en que pensaba abandonar mi sueño de ser ingeniera, el me levanto y gracias a el he podido concluir este proyecto que a la mitad del camino parecía muy difícil e inalcanzable. No puedo dejar de mencionar a su madre a mi María Auxiliadora quien ha sido mi auxiliadora y protectora a lo largo de mi vida y me apoyo para que siguiera adelante. A mi mami Zary quien ha sido la persona que me ha dado todo su amor, quien siempre ha confiado en mi , en mis capacidades, gracias por darme animo, por ser ese modelo que yo quiero seguir, eres la mejor mamita y no tengo palabras para agradecerte todo lo que me ha dado a usted le dedico este triunfo y a mi papa Nilton también le doy las gracias pues el también ha sido mi modelo para continuar con mis sueños de ser una profesional, gracias por su apoyo.

Agradecimientos a mi bebe hermoso Gabriel quien ha sido mi inspiración este año, por ti mi niño continué con este sueño, eres el motor y la alegría de mi vida, TE AMO. A mi esposo gracias por tu apoyo y comprensión, te amo mucho. A mi hermanita Ade también le agradezco su confianza y su ayuda todo este tiempo y no olvides que te quiero mucho.

A mi Abuelito José Luis, a mi abuelita Adelita, a mi Tía Crista , a mi tía Loly y a toda mi familia gracias por su apoyo y por su ayuda, y en especial quiero dedicar este triunfo a mi abuelito Lolo quien ya no esta con nosotros pero desde que se fue quedo su recuerdo en mi corazón y se que si estuviera con vida seria muy dichoso de ver a su nieta mayor ya graduada.

No puedo dejar de mencionar a mis queridas amigas del colegio, siempre a pesar de la distancia me han demostrado todo su cariño y su apoyo y es por eso que también les doy las gracias. A mis amigas de U Susie, Jazmine, Aura gracias por su amistad las quiero mucho y también a todos mis compañeros y amigos que hice todos estos años de universidad les quiero agradecer de todo corazón. Nelcy gracias por tu ayuda y por tu dirección fuiste nuestra asesora externa. A nuestro asesor Ing. Juan Ramírez gracias por el tiempo que dedico a este proyecto, y a todos mis maestros les quiero agradecer por todos los conocimientos que compartieron conmigo a lo largo de estos años.

Nidia

RESUMEN

El Distrito 5 del municipio de San Salvador es catalogado como asentamiento urbano en el que según lo estudiado demuestra que la población de este sector es económicamente activa, determinando la infraestructura como habitacional-comercial, estos rubros liberan sus aguas negras y servidas en el río Acelhuate que es el cuerpo de agua que atraviesa a dicho distrito y que es considerado uno de los más contaminados de El Salvador, debido a las fuertes descargas contaminantes puntuales y no puntuales, y botaderos clandestinos a cielo abierto, que sobre él se encontraron, resultando ser focos de infección que empeoran la calidad de vida de los habitantes de la rivera del río como también de toda la población cercana a éste.

El Salvador cuenta con una legislación ambiental que se encarga de velar porque se ejecute un buen uso sobre los recursos hídricos en dichas normativas se clasifican diversos parámetros que caracterizan el nivel o grado de contaminación presente en un cuerpo de agua y en especial en las del tipo residual, donde se ponen de manifiesto la evaluación de parámetros especiales de acuerdo al rubro industrial y comercial.

Para las aguas denominadas de tipo residual fue necesaria la determinación de la concentración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos siguientes: pH, Fosfatos, Nitratos, Sólidos disueltos, DBO, DQO, OD, Hierro, Mercurio, Plomo, Cadmio, Cromo, Cloro residual, Turbidez y Coliformes fecales, utilizando estos valores y haciendo uso de la ecuación del ICA propuesta por Brown (SNET), se evaluó el índice de calidad de agua para tres puntos representativos de la subcuenca urbana del río Acelhuate en el tramo Zoológico, Arenal-Monserrat, localizándose el punto 1 en el Barrio La Vega, el punto 2 en el Barrio Candelaria, y el punto 3 a alturas del Parque Zoológico Nacional. Estos puntos de muestreo se seleccionaron en base a la esorrentía superficial observada en la zona.

La calidad del agua determinada a través del estudio para el río Acelhuate en el tramo Zoológico-Arenal Monserrat en los distintos puntos de muestreo, arrojó resultados que clasifican a esta subcuenca urbana en un estado de "Mala calidad" únicamente para el punto 3 (ubicado en Zoológico, mientras que para los restantes los resultados fueron de "Pésima calidad", por lo que se restringe cualquier tipo de uso y contacto con estas aguas.

Ante esta determinación se ha propuesto un sistema de tratamiento que inicia con una etapa preliminar que es previa al proceso operacional del sistema de tratamiento propuesto, el cual consiste en la remoción de sólidos de tamaño considerable, que indudablemente contribuirán también a la disminución de los riesgos de inundación que caracterizan a esta zona del Distrito 5. A través de la implementación del sistema de tratamiento propuesto en conjunto con el sistema previo de tratamiento igualmente propuesto, se logrará recuperar en gran medida la calidad de dicho cuerpo de agua para el tramo descrito.

INDICE

INTRODUCCION	i
CAPITULO I: GENERALIDADES DEL DISTRITO CINCO	
1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL	
1.1.1 POBLACIÓN	17
1.1.2 SITUACIÓN ECONÓMICA LOCAL (NIVELES DE POBREZA)	17
1.1.3 DIVISIÓN POLÍTICA	18
1.1.4 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS PREDOMINANTES	18
1.1.5 VIVIENDA	18
1.2 COMPONENTES MEDIO-AMBIENTALES DEL DISTRITO CINCO	21
1.2.1. SUELOS	21
1.2.2. GEOLOGÍA	21
1.2.3. AGUA	21
1.3 RIESGOS	22
1.3.1 RIESGOS NATURALES	24
1.3.2 RIESGOS NO NATURALES	24
1.3.3 VULNERABILIDAD	27
1.4 CARACTERIZACION DE LA CUENCA DEL RIO ACELHUATE	28
1.4.1 TEMPERATURA	29
1.5 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RIO ACELHUATE	29
1.5.1 PRINCIPALES AFLUENTES	30
1.6 CARACTERISTICAS DEL SUELO	30
1.6.1 GEOLOGÍA	31
1.6.2 TIPOS DE SUELO	31
1.6.3 USO ACTUAL DE LA TIERRA	31
1.6.4 AGRICULTURA Y OTROS USOS	32
1.6.4.1 USOS MISCELÁNEOS	32
1.6.5 RECARGA Y DESCARGA	32
1.7 CONDICIONES SOCIALES	32
1.7.1 CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO SOBRE EL DISTRITO 5	33
1.7.2 DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS EN LA CUENCA	33
1.7.3 OCUPACIÓN DE LA POBLACIÓN	33
CAPITULO II: FUNDAMENTOS BASICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES Y ESTADO ACTUAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE EL SALVADOR	
2.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA	35
2.1.2 MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	36
2.1.3 OBJETIVOS DEL MANEJO DE CUENCAS	36
2.1.4 BENEFICIOS DEL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS	37
2.2 CICLO HIDROLÓGICO	37
2.2.1 BALANCE HÍDRICO	38
2.2.1.1 PARÁMETROS DEL BALANCE HÍDRICO	39
2.2.2 OFERTA HÍDRICA DE EL SALVADOR	40
2.3 RECURSOS SUPERFICIALES	42

2.3.1 FACTORES QUE AFECTAN LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL SALVADOR	42
2.3.2 CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE EL SALVADOR	43
2.4 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES	44
2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA	46
2.4.1.1 CONTAMINANTES HABITUALES EN LAS AGUAS RESIDUALES	48
2.4.2 COMPOSICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	49
2.4.3 CONSECUENCIAS GENERADAS POR LAS AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN MEDIO RECEPTOR	52
2.4.4 PASOS BÁSICOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	52
2.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA REGIÓN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE	57
2.6 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA CUENCA DEL RIO POTOMAC	58
2.7 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CUENCA DEL RIO BOGOTA	60
2.8 TRATAMIENTO DE AGUAS INDUSTRIALES EN EL SALVADOR	62
CAPITULO III: EVALUACION DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA URBANA DEL RIO ACELHUATE	
3.1 APTITUD DE USO DEL AGUA POTABLE SEGÚN SU CALIDAD	64
3.1.1 AGUA PARA CONSUMO HUMANO	64
3.1.2 AGUA PARA RIEGO	65
3.1.3 AGUA PARA CONTACTO HUMANO	65
3.1.4 AGUA CON CALIDAD AMBIENTAL	65
3.2 NORMA PARA REGULAR CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL DESCARGADAS AL ALCANTARILLADO SANITARIO. PLAN HIDRO 2009, ANDA	66
3.3 REGLAMENTO ESPECIAL DE NORMAS TÉCNICAS DE CALIDAD AMBIENTAL	68
3.4 NORMA SALVADOREÑA SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR (NSO 13.49.01:06).CONACYT	69
3.5 PARAMETROS DETERMINANTES DE LA CALIDAD DEL AGUA	72
3.5.1 MEDICIONES FÍSICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA	73
3.5.2 MEDICIONES QUÍMICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA	75
3.5.3 MEDICIONES MICROBIOLÓGICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA	85
3.6 METODOLOGÍA DE MUESTREO	88
3.7 PUNTOS DE MUESTREO	89
3.8 FRECUENCIA DEL MUESTREO	89
3.9 TIPO DE MUESTRA	89

3.10	PARAMETROS MEDIDOS	91
3.11	ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA”	91
3.11.1	ESTIMACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA GENERAL “ICA”	92
3.11.2	DETERMINACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA DEL RÍO ACELHUATE EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO 5, TRAMO ZOOLOGÍCO- ARENAL MONSERRAT (SUBCUENCA SUR)	97
3.11.3	INTERPRETACION DE RESULTADOS ICA	98
3.11.4	INTERPRETACION DE PARAMETROS ANALIZADOS	99
3.12	EVALUACION DE LA APTITUD DE USO DE LAS AGUAS DE LA SUBCUENCA URBANA DEL RIO ACELHUATE	110
CAPITULO IV : PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA SUBCUENCA URBANA DEL RÍO ACELHUATE BASADA EN LOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA.		
4.1	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	111
4.1.2	DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑOS DEFINITIVOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO	111
4.1.3	TRATAMIENTO PRELIMINAR	112
4.1.3.1	CRIBAS	113
4.1.3.2	DESARENADORES	115
4.1.4	TRATAMIENTO PRIMARIO	116
4.1.4.1	TANQUES DE SEDIMENTACIÓN	123
4.1.5	TRATAMIENTO SECUNDARIO	123
4.1.5.1	TRATAMIENTO CON LODOS ACTIVADOS	127
4.1.5.2	IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS Y BACTERIAS	
4.1.6	DESHIDRATACION DE LODOS GENERADOS EN LAS ETAPAS PRIMARIAS Y SECUNDARIAS DEL TRATAMIENTO.	128
4.1.7	SISTEMA DE COLECTORES DE AGUAS RESIDUALES	130
4.2	SANEAMIENTO ECOLOGICO (ECOSAN)	131
4.2.1	OBJETIVOS DEL SANEAMIENTO ECOLOGICO	132
4.2.2	VENTAJAS DE LA IMPLEMENTACION DEL SANEAMIENTO ECOLOGICO	132
4.2.3	TECNOLOGIAS DE LOS SISTEMAS DE ECOSAN	
4.3	APLICACION DE BIOSOLIDOS AL TERRENO	132
4.3.1	DESCRIPCIÓN	133
4.3.2	APLICABILIDAD	133
4.3.3	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	137
4.3.4	IMPACTOS AMBIENTALES	137
	CONCLUSIONES	138
	RECOMENDACIONES	140
	BIBLIOGRAFIA	142
	GLOSARIO	144
	SIGLAS Y ABREVIATURAS	147
		15

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Grafico de Distribución Poblacional del D5.	17
Figura 1.2: Grafico Inventario sobre uso de suelo D5 (Barrio La Vega) Enero 2010.	19
Figura 1.3: Grafico Inventario sobre uso de suelo D5 (Barrio Modelo y Candelaria). Enero 2010.	19
Figura 1.4: Grafico Inventario sobre uso de suelo D5 (San Jacinto) .Enero 2010	20
Figura 1.5: Grafico Inventario sobre uso de suelo total de la zona urbana del D5, con dirección de la escorrentía superficial hacia la cuenca en estudio .Enero 2010.	20
Figura 1.6: Grafico sobre la cantidad de Desechos Sólidos recolectados en el D5 (2 -31 de enero de 2006).	27
Figura 2.1: Representación del ciclo hidrológico.	38
Figura 2.2: Modelo del balance hídrico utilizado por el SNET	39
Figura 2.3: Resultados del balance hídrico total en El Salvador.	41
Figura 2.4: Tecnologías de filtración aplicadas al tratamiento del agua residual	56
Figura 2.5: Principio de aplicación de osmosis inversa	56
Figura 2.6: Sistema de tratamiento del agua del Rio Potomac (WASA)	59
Figura 2.7: Sistema de alcantarillado de Montgomery (USA)	60
Figura 2.8: Ubicación de las plantas de tratamiento en el Rio Bogotá.	61
Figura 2.9: Vista Panorámica de la Planta de Tratamiento del Salitre	62
Figura 2.10: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del casco urbano de Suchitoto, depto. de Cuscatlán	63
Figura 3.1: Tubidímetro portátil.	74
Figura 3.2: Dimensiones de los sólidos suspendidos, coloidales y disueltos.	75
Figura 3.3: Reacción de oxidación de la materia orgánica para formar nitratos.	77
Figura 3.4: Degradación de la materia orgánica en el agua.	83
Figura 3.5: Curva de la DBO.	83
Figura 3.6: Microorganismos indicadores: coliformes fecales y huevos helminto	87
Figura 3.7: Grafico del Índice de Calidad del Agua, primer muestreo Marzo 2010.	97
Figura 3.8: Grafico del Índice de Calidad del Agua, segundo muestreo Abril 2010	98
Figura 3.9: Grafica de pH analizado en muestras.	99
Figura 3.10: Grafico de Fosfatos analizados en muestras.	100
Figura 3.11: Grafico de Sólidos Disueltos Totales en muestras.	101
Figura 3.12: Grafico de DBO presente en muestras analizadas.	102
Figura 3.13: Grafico de DQO presente en muestras analizadas.	103
Figura 3.14: Grafico de Nitratos presentes en muestras analizadas.	104
Figura 3.15: Grafico de Turbidez en muestras.	105
Figura 3.16: Grafico de Hierro total.	106
Figura 3.17: Grafico de Coliformes detectados en cada una de las muestras.	107
Figura 3.18: Grafico de Cloro Residual en muestras.	108
Grafico 3.19: Grafico de Oxígeno Disuelto en muestras analizadas.	109

Figura 3.20: Aptitud de uso del agua según ICA	110
Figura 4.1: Esquema de una rejilla de limpieza manual.	113
Figura 4.2: Esquema de desarenadores de sección vertical y horizontal.	114
Figura 4.3: Tanque rectangular alargado con rastra para lodo	117
Figura 4.4. Tanque sedimentador primario de tipo circular con alimentación por el centro.	117
Figura 4.5: Sedimentador circular, alimentación central con rastras para recolección de lodos.	118
Figura 4.6: Trayectoria del efluente y lodos en tanques circulares de sedimentación con: (a) alimentación perimetral y (b) alimentación central.	118
Figura 4.7: Dispositivo de remoción de espumas de un tanque sedimentador primario de tipo circular.	119
Figura 4.8 : Remoción de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos en función de la carga superficial.	121
Figura 4.9: Balance de materia para clarificadores primarios	122
Figura 4.10: Esquema del proceso de lodos activos	123
Figura 4.11: Esquema de un tanque de digestión anaerobia	129
Figura 4.12: Ejemplo de una red de colectores en un área urbana	131
Figura 4.13: Principios del ECOSAN	131
Figura 4.14: Ejemplo de inodoro basado en los conceptos de ECOSAN	132
Figura 4.15: Equipo de inyección de biosólidos.	134
Figura 4.16: Vehículos especializados para la aplicación de biosólidos.	134
Figura 4.17: Aplicación de biosólidos líquidos en bosques	135

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Distribución Poblacional del Distrito Cinco	18
Tabla 1.2 : Tipos de viviendas existentes dentro del Distrito Cinco	21
Tabla 1.3: Inundaciones más recientes ocurridas en el Distrito 5.	23
Tabla 1.4: Oferta Hídrica según escorrentías.	23
Tabla 1.5: Diferentes tipos de riesgo.	24
Tabla 1.6: Inundaciones más recientes ocurridas en el Distrito 5	26
Tabla 1.7: Temperaturas mínimas registradas (°C) Febrero 2010.	30
Tabla 1.8: Principales afluentes del Río Acelhuate.	30
Tabla 1.9: Disponibilidad de recursos hidráulicos en la cuenca del Río Acelhuate	31
Tabla 1.10. Administración del Distrito 5 de San Salvador.	33
Tabla 2.1: Regiones Hidrográficas de El Salvador.	42
Tabla 2.2: Parásitos patógenos transmitidos por el agua.	47
Tabla 2.3: Agentes infecciosos potencialmente presentes en aguas residuales domesticas no tratadas.	48
Tabla 2.4: Clasificación de las aguas residuales de acuerdo a la concentración de contaminantes.	50
Tabla 2.5: Componentes químicos típicos de las aguas residuales y sus efectos.	51

Tabla 3.1: Normativa de agua cruda para potabilizar por métodos convencionales	64
Tabla 3.2: Parámetros adicionales a tomar en cuenta para potabilizar agua cruda por métodos convencionales.	64
Tabla 3.3: Normativa de agua para riego.	65
Tabla 3.4: Normativa de agua para contacto humano.	65
Tabla 3.5: Valores en los cuales se expresa el ICA.	66
Tabla 3.6: Límite Máximo Permisible de algunos parámetros medidos según norma de calidad de aguas residuales.	66
Tabla 3.7: Análisis complementarios para la determinación de la calidad de las aguas residuales.	67
Tabla 3.8: Frecuencia mínima de muestreo y análisis para aguas residuales de tipo especial.	68
Tabla 3.9: Reglamento Especial de Norma Técnicas de Calidad Ambiental	68
Tabla 3.10: Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar a un cuerpo receptor.	69
Tabla 3.11: Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor.	69
Tabla 3.12: Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo especial, para descargar a un cuerpo receptor.	70
Tabla 3.13: Normativa para el almacenamiento de muestras según NSO, CONACYT.	71
Tabla 3.14: Interpretación de la calidad del agua según la temperatura	73
Tabla 3.15: Cantidad limite permisible para la inhibición por tratamiento biológico.	79
Tabla 3.16: Efecto de la concentración de oxígeno disuelto en los cuerpos superficiales.	85
Tabla 3.17: Solubilidad del oxígeno a diferentes temperaturas.	85
Tabla 3.18: Ubicación de los puntos de muestreo.	90
Tabla 3.19: Parámetros de calidad de agua medidos.	91
Tabla 3.20: Clasificación del "ICA" propuesto por Brown.	92
Tabla 3.21: Parámetros utilizados para la definición del ICA.	93
Tabla 3.22: Resultados de los parámetros de calidad analizados por FUSADES.	94
Tabla 3.23: Valores máximos permisibles de descargas de metales en aguas residuales.	95
Tabla 3.24: Comparación de los parámetros analizados con la normativa Salvadoreña.	96
Tabla 3.25: Valoración de la calidad del agua del Rio Acelhuate según ICA.	97
Tabla 3.26: Valoración de la aptitud de uso del agua en función del ICA. Época Seca	110
Tabla 4.1: Criterios de diseño para desarenadores	115
Tabla 4.2: Tipos de sedimentación.	116
Tabla 4.3: Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria.	120
Tabla 4.4: Valores usuales de gravedad específica y concentración de sólidos en lodos provenientes de sedimentadores primarios.	120
Tabla 4.5: Tratamiento y reuso de las heces, orina y aguas grises.	133
Tabla 4.6: Concentración Máxima de Metales para aplicación de biosólidos.	136
Tabla 4.7: Escenarios típicos de aplicación de Biosólidos en Estados Unidos.	139

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1.1. Cuencas hidrográficas del Distrito cinco	156
ANEXO 1.2: Zonificación del Distrito cinco. División Política	156
ANEXO 1.3: Localización de basureros y llanteras en el distrito 5.	157
ANEXO 1.4: Mapa geológico del distrito 5.	157
ANEXO 2.1: Región Hidrográfica A. Rio Lempa	158
ANEXO 2.2. Escorrentía Superficial registrada en cuencas de la región hidrográfica A (cuencas de los ríos Sucio, Suquiapa, Acelhuate)	158
ANEXO 3.1 : Especificaciones de calidad de agua para riego.	159
ANEXO 3.2: Tolerancia de microelementos en aguas de riego, ppm	159
ANEXO 3.3: Características Químicas de efluentes de lavanderías y talleres de automóviles que generalmente se encuentran en cualquier área urbana	160
ANEXO 3.4: Categorías de Olores ofensivos comúnmente encontrados en el agua	161
ANEXO 3.5: Identificación de los tres puntos de Muestreo .	161
ANEXO 3.6: Ubicación en mapa satelital de punto 1 de muestreo. Barrio La Vega	162
ANEXO 3.7: Ubicación en mapa satelital de punto 2 de muestreo. Barrio Candelaria.	163
ANEXO 3.8: Ubicación en mapa satelital del punto 3 de muestreo. Zoológico.	164
ANEXO 4.1: Parámetros establecidos para el tratamiento de lodos activados	165
ANEXO 4.2: Parámetros establecidos para el tratamiento de lodos activados en ausencia de datos experimentales.	165
ANEXO 4.3: Áreas en las cuales se reutilizan las aguas residuales tratadas en el estado de California. Estados Unidos.	166
ANEXO 4.4: Áreas en las cuales se reutilizan las aguas residuales tratadas en el estado de Florida. Estados Unidos	166

INTRODUCCIÓN

El principal río del Gran San Salvador es el río Acelhuate, este corre sobre el municipio más importante del país, siendo detectado a simple vista el grave estado de contaminación que sufre este cuerpo de agua, por lo que es necesario contar con una propuesta que contribuya a solucionar el impacto ocasionado sobre dicho recurso, ya que la calidad del agua es un indicador directo de la calidad de vida que la población de determinado lugar puede tener debido a que esta se relaciona con el grado de salubridad de dicho sector. Al mismo tiempo, se considera necesario generar acciones responsables que permitan y aseguren la supervivencia, desarrollo y subsistencia de la biodiversidad sobre la tierra. Ante esta situación se considera necesario el implementar alternativas operacionales y de tratamiento de Ingeniería Química, que logren la recuperación del Río más importante de San Salvador: el Río Acelhuate, específicamente en el tramo Zoológico-Arenal Monserrat que corresponde al área Metropolitana de San Salvador, contribuyéndose a la vez a disminuir la carga contaminante en el Embalse del Cerrón Grande y el Río Lempa, que constituyen un aporte a la economía y alimentación de cierto sector poblacional.

Por todo lo anterior se considera urgente el tomar medidas de resuperación de este recurso natural, es por ello que a través del desarrollo del presente trabajo, se informa sobre parámetros indicadores de la calidad de agua, el nivel de contaminación detectado a través de resultados de laboratorio, y la comparación de estos con la Normativa Salvadoreñas que establecen un límite y una categoría de clasificación al agua residual, también se presenta una propuesta de tratamiento, entre otros que en conjunto aportan una solución de recuperación al cuerpo de agua y sin lugar a duda, mejor calidad de vida en la sociedad. Todo esto respaldado por fuentes bibliográficas plasmadas en este trabajo.

CAPITULO I

GENERALIDADES DEL DISTRITO CINCO.

1.1 DESCRIPCIÓN GENERAL

El Distrito cinco forma parte del Área Metropolitana de San Salvador, tiene una extensión territorial de 18.83 kilómetros cuadrados, tiene una población de 128,125 habitantes lo que equivale a 6.634 hab/ kilómetro cuadrado.

El distrito cinco se ubica hacia el Sur del Municipio de San Salvador, limita al Norte con la 49 Avenida Sur, al Sur con Panchimalco y Antiguo Cuscatlán, al Oeste parte con la 49 Avenida Sur y la intersección de la Autopista Sur y Calle Monserrat y finalmente al Este con la ciudad de San Marcos.

El Distrito cuenta con cuatro barrios históricos considerados los más grandes de la capital: Barrio Modelo, Barrio Candelaria, Barrio La Vega y Barrio San Jacinto, los cuales aun conservan sus tradiciones culturales. Las fuentes de empleo que predominan en dicho distrito son el comercio formal y la industria, se constituye como una zona poco atractiva debido a la inseguridad que predomina.

Los mayores problemas a los cuales se enfrenta el distrito cinco son el manejo de los desechos sólidos y las inundaciones registradas durante la época lluviosa.

1.1.1 POBLACIÓN

Según datos de la Alcaldía Municipal de San Salvador (2005), el distrito cinco cuenta con una población de 128,125 habitantes de los cuales 68,944 son mujeres mientras que 59,181 son hombres predominando la población femenina; en el siguiente gráfico se muestra la distribución de la población por rangos de edad divididos en población masculina y femenina.

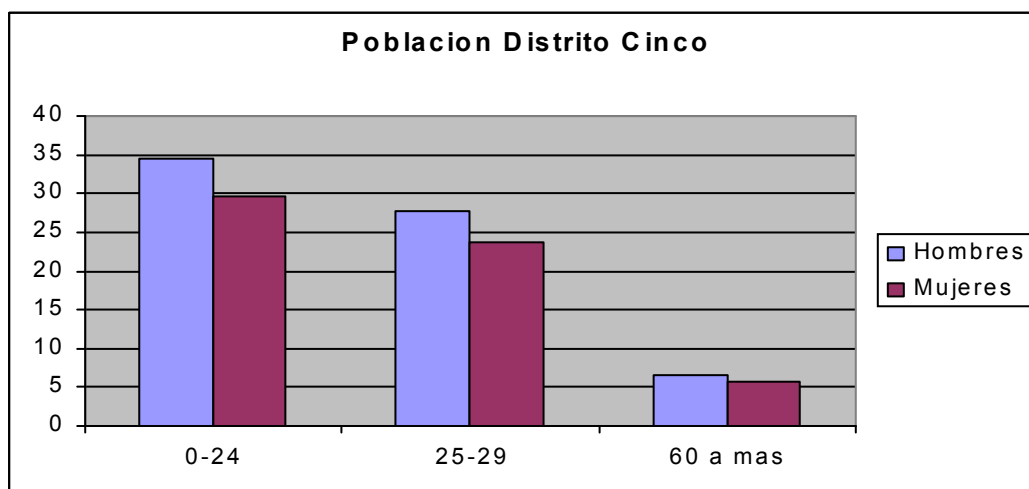


Figura 1.1: Grafico de Distribución Poblacional del D5

La distribución poblacional del distrito cinco se muestra a continuación:

Tabla 1.1: Distribución Poblacional del Distrito Cinco

División espacial	Cantidad en el distrito
Colonias	104
Comunidades	83
Condominios	29
Residenciales	8
Barrios	5
Residenciales	1
Extensión territorial	18.83 km
Población total	128,125

Fuente: Alcaldía Municipal de San Salvador (2005)

1.1.2 SITUACIÓN ECONÓMICA LOCAL (NIVELES DE POBREZA)

Dos indicadores importantes para el análisis de una región determinada son:

- Pobreza extrema
- Pobreza relativa

Para el distrito cinco se calcula una pobreza extrema de 10.3% y 19.2% de pobreza relativa.

1.1.3 DIVISIÓN POLÍTICA

Se encuentra dividido en tres (Anexo 1.2):

Zona 1: Sector de Monserrat

Zona 2: Sector de San Jacinto-Santa Marta

Zona 3: Sector de Planes de Renderos.¹

1.1.4 ACTIVIDADES PRODUCTIVAS PREDOMINANTES

Sobre esta área, se focalizan las riveras de la cuenca asentamientos habitacionales en su mayoría, y negocios pequeños como: tortillerías, tiendas, algunos talleres y aserraderos, caracterizándose esta zona como populosa y transitable.

A continuación se muestran gráficas de las principales actividades identificadas en el Distrito cinco, divididas por rubros:

¹ *Alcaldía Municipal de San Salvador, 2009.*

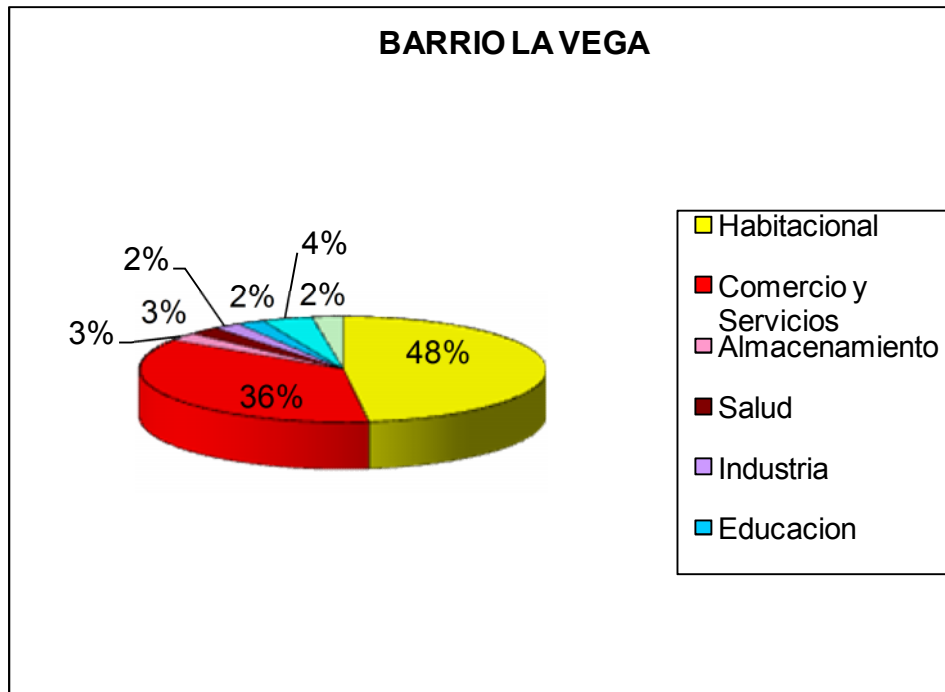


Figura 1.2: Grafico Inventario sobre uso de suelo D5 (Barrio La Vega) Enero 2010

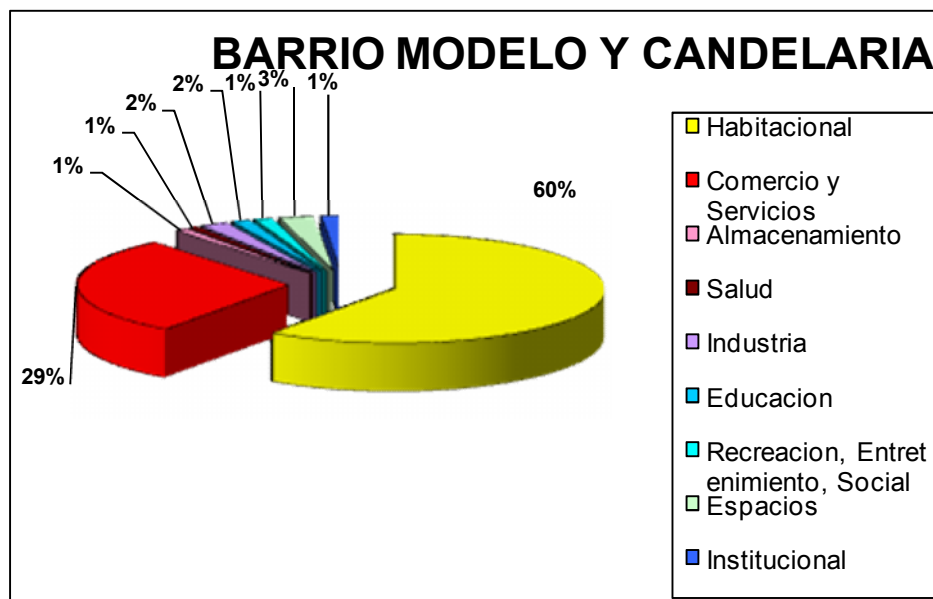


Figura 1.3: Grafico Inventario sobre uso de suelo D5 (Barrio Modelo y Candelaria). Enero 2010.

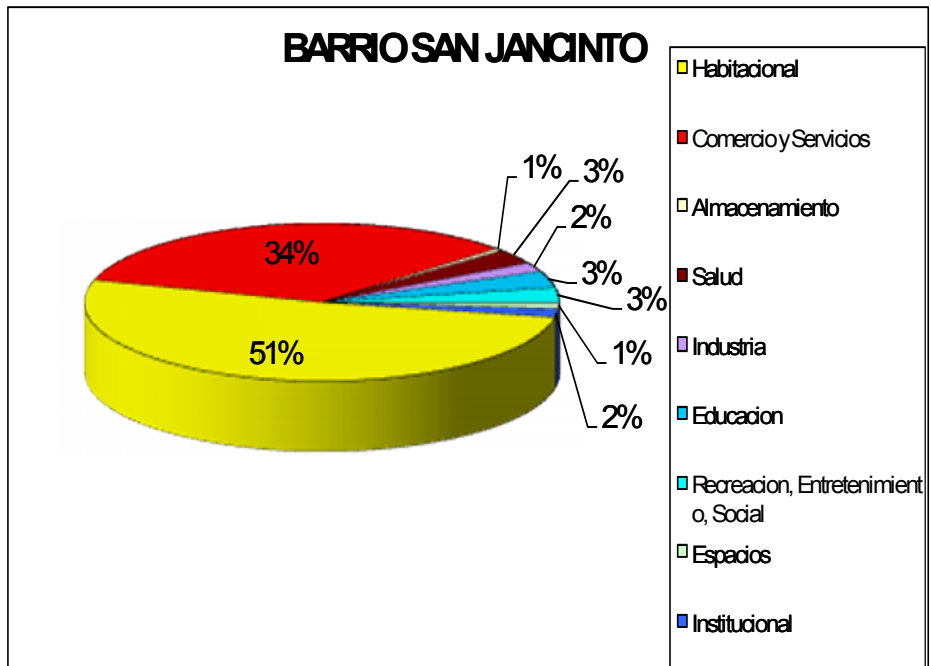


Figura 1.4: Grafico Inventario sobre uso de suelo D5 (San Jacinto) .Enero 2010

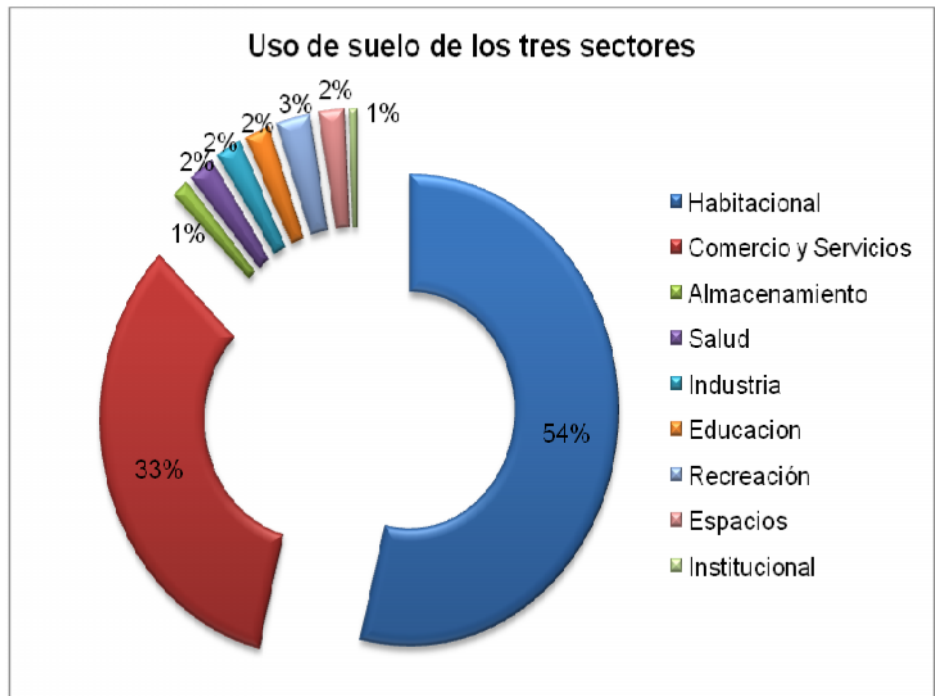


Figura 1.5: Grafico Inventario sobre uso de suelo total de la zona urbana del D5, con dirección de la escorrentía superficial hacia la cuenca en estudio .Enero 2010.

OBSERVACIONES:

- En los espacios habitacionales se tienen casas y condominios contados como edificios habitacionales (se desconoce cuantos apartamentos posee cada uno y si todos se encontraban habitados en la fecha del levantamiento del inventario).
- En el rubro institucional se ubican oficinas privadas y estatales.
- Dentro del rubro de recreación, entretenimiento y social, están incluidas las actividades de religión, cultura y transporte, mientras que en el rubro de espacios incluye espacios abiertos, predios baldíos, parqueo e infraestructura.

1.1.5 VIVIENDA

El distrito cinco se caracteriza por tener un uso de suelo predominantemente habitacional (Figura 1.5), existen en la zona viviendas con una construcción mixta, en los barrios se observan viviendas de bahareque y en las comunidades viviendas de materiales provisionales.

Tabla 1.2 : Tipos de viviendas existentes dentro del Distrito Cinco

Tipo de vivienda	Total
Croncreto o mixto	484102
Bahareque	7256
Adobe	10633
Madera	3554
Lamina	18003
Materiales de desecho	332
Otro material	59

Fuente: Alcaldía Municipal de San Salvador(2005)

1.2 COMPONENTES MEDIO-AMBIENTALES DEL DISTRITO CINCO

1.2.1. SUELOS

Los que existen dentro del distrito son de dos fases:

- Fase ondulada a alomada: Andosoles y Regosoles
- Fases alomadas a montañosas accidentadas: Regosoles, Latosoles, Arcillo Rojizos y Andosoles.

1.2.2. GEOLOGÍA

Los tipos de rocas que se observan en la zona están constituidos por: lavas andesíticas y Basálticas, materiales piroclásticos y sedimentos volcánicos detríticos con materiales piroclásticos.

Cerro de San Jacinto: Se encuentra ubicado al este de la ciudad de San Salvador, alcanza una altura de 1200 metros sobre el nivel del mar y tiene una extensión de 15 kilómetros cuadrados. El Cerro forma parte de la cuenca del Río Acelhuate y del lago de Ilopango.

1.2.3. AGUA

Para 1997, las fuentes del agua consumida en el AMSS eran 45% de los acuíferos locales, 25% del proyecto Zona norte y 30% del Lempa. En la actualidad, en medio de una grave crisis de abastecimiento hídrico del AMSS, se hacen trabajos para incrementar sustancialmente el aporte de procedente del Río Lempa. Los aportes de cada sistema son los siguientes:

- Sistema tradicional: 2.45 metros cúbicos por segundo
- Sistema Zona norte: 1.41 metros cúbicos por segundo
- Sistema Río Lempa: 1.15 metros cúbicos por segundo

a) situación de los acuíferos²

El Acuífero de San Salvador, se encuentra bajo la ciudad capital; hidrogeológicamente se encuentra entre la cordillera del Bálsamo (al sur), las elevaciones de Mariona y El Carmen-Milingo (al norte), el parte aguas de la cuenca del Río Acelhuate (al oriente) y el complejo volcánico de San Salvador (al occidente); para valorar la importancia que tienen las diferentes áreas físicas, se identifican 3 áreas:

- La zona de recarga principal, situada en el Volcán de San Salvador
- El área del Cerro de San Jacinto
- El resto del área

El volumen total extraído es de 88.84 millones de metros cúbicos al año, que equivale a 2.81 m.c.s, valor que al compararlo con el total de recarga (natural más la artificial o adicional) que es de 2.02 m.c.s refleja con claridad que esta siendo sobre explotado.

b) Cuerpos superficiales

La cuenca del río Acelhuate comprende los siguientes municipios: Antiguo Cuscatlán, San Salvador, Nueva San Salvador, Mejicanos, Soyapango, Ciudad Delgado, Cuscatancingo, Ayutuxtepeque, Tonacatepeque, Guazapa, San Martín, Apopa, Nejapa, Aguilares, San Marcos, Suchitoto, San José Guayabal y Oratorio de Concepción. La cuenca, cuya extensión aproximada es de 1,072.98 Km² que constituye el 5.1% del área del país, cuenta 1,235,451 habitantes, correspondiendo al 24.1% del total del país. El río Acelhuate, forma parte del sistema hidrográfico del río Lempa, y en su trayecto hacia la desembocadura, recibe el aporte de varios afluentes, entre ellos, la quebrada Montserrat, Arenal de Mejicanos, quebrada Tutunichapa -Tomayate, y los ríos Ilohuapa, Las Cañas, Guazapa y Tasajera. El área del río es de 733.0 km², o sea, 3.5% de la superficie total del país.

² Propuesta básica para elaborar una política Nacional Hídrica, UNES 2008.

Dentro del distrito cinco se identifican seis cuencas hidrográficas las cuales son:

- Cuenca del Río Acelhuate (subcuenca Sur)
- Cuenca del Río Matalapa
- Cuenca del Río El Garrobo
- Cuenca del Río Ilohuapa.
- Cuenca alta del Río Huiza o casa de piedra.

c) Disponibilidad hídrica

La oferta total está constituida por la suma del volùmen de agua superficial y subterránea, como se muestra en la tabla siguiente.

Principales ríos dentro de la zona:

- Río Acelhuate: Considerado el más contaminado en El Salvador por sus altos niveles de contaminación en especial por coliformes fecales que sobrepasan los niveles máximos permisibles.
- Río Ilohuapa: dicho río corre en una dirección del Norte al Este y se une con el Río Matalapa, para dar origen al Río Acelhuate.

Tabla 1.3: Oferta Hídrica según escorrentías.

OFERTA	
Escorrentía superficial (Mm3)	Escorrentía subterranea (Mm3)
362.5	156.1

Fuente: Investigación Acelhuate UCA.

Los principales usos del agua dentro de la cuenca, son el abastecimiento poblacional e industrial, tal como se observa en la tabla siguiente:

Tabla 1.4: Demanda Hídrica sobre la cuenca del Río Acelhuate.

Abastecimiento poblacional (Mm3)	Industria (Mm3)	TOTAL Demanda (Mm3)
89.6	27.9	119.3

Fuente: Investigación Acelhuate UCA.

d) Comparación entre oferta y demanda

Estudios han considerado que la demanda será suplida totalmente por aguas subterráneas, ya que la pésima calidad de sus aguas superficiales hace imposible su uso. En base a lo anterior, se establece que la relación entre oferta y demanda es:

$$\text{OFERTA} - \text{DEMANDA} = 156.1 - 119.3 = 36.8 \text{ Mm}^3 / \text{año}$$

1.3 RIESGOS

1.3.1 RIESGOS NATURALES ³

La capital salvadoreña, desde su fundación en abril de 1525 en la falla geológica denominada popularmente “El valle de las hamacas”, al pie del volcán de San Salvador, ha sido un sitio de destrucciones y reconstrucciones cíclicas. Imponentes terremotos, erupciones volcánicas e inundaciones acompañan la historia de la ciudad. Los capitalinos se adaptaron al espacio que habitan, y su identidad se fue forjando alrededor de los catástrofes, dispuestos a recomenzar la obra desde el principio cada vez que les toca. El Distrito Cinco posee una topografía irregular, una alta densidad poblacional y un manejo deficiente de los desechos sólidos, lo cual lo convierte en el escenario propicio para el desbordamiento de ríos y quebradas que atraviesan la zona ocasionando inundaciones desastrosas. A continuación se presenta un cuadro que muestra los diferentes riesgos en la zona:

Tabla 1.5: Diferentes tipos de riesgo.

factores	Consecuencias
Amenazas sísmicas	Derrumbes, desprendimiento de rocas y materiales de tierra escarpados.
Lluvias tropicales	Deslizamientos, desprendimiento de rocas y materiales de tierra escarpados, derrumbes y principalmente inundaciones.
Deforestación	Deslaves y derrumbes.
Basura	Interrupción del drenaje para escorrentía superficial, provocando inundaciones, dada la topografía de la zona.

Fuente: Propia

³ plataforma-temática-riesgo-urbano y recopilación de artículos.

El protagonismo de los principales ríos que cruzan el área metropolitana, a nombrar el Matalapa, el Garrobo y el Ilohuapa que se unen en la cuenca del Acelhuate, lleva un poco más de un siglo en los anales de los desastres. El historial de inundaciones inicia recientemente. La primera documentación proviene de la Prensa Grafica, del mes de junio 1922, cuando a causa del desbordamiento del río Acelhuate los barrios de Candelaria, la Vega, El Calvario y San Jacinto son destruidos, y decenas de personas son arrasadas por las aguas. Durante el siglo XX se documentan 78 inundaciones en San Salvador. El número aumenta exponencialmente en el siglo XXI: desde el año 2000 se reportan 71 inundaciones en el Área Metropolitana de San Salvador, con impactos cada vez más desastrosos para la población: pérdidas de infraestructura, pertinencias, casas, y vidas humanas. El Distrito Cinco es considerado uno de los mas vulnerables del país, según datos de la Alcaldía Municipal de San Salvador dentro de la zona existen 84 comunidades en riesgo, ya sea por deslizamientos o desbordamientos de los ríos o quebradas, entre ellas se pueden mencionar: Comunidad Peña de Oreb, San Juan Bosco y La Florida.⁴

⁴ *gransansalvador, laprensa.com.sv*

Tabla 1.6: Inundaciones más recientes ocurridas en el Distrito 5.

Fecha	Descripción	Ríos (interés en zona)
Junio 2010	La Tormenta Tropical Alex y posterior huracán Alex, primer sistema ciclónico del Atlántico tuvo su influencia en territorio nacional desde el sábado 26 de junio con acumulados máximos de hasta 163 mm. Desbordamientos en rio Arenal , Las Cañas en Ilopango, entre otros.	Acelhuate, San Antonio,
Noviembre 2009	En el período de transición de la época lluviosa-seca, El Salvador estuvo afectado por dos sistemas meteorológicos, una baja presión en el Océano Pacífico y el Huracán Ida en el Caribe lo cual ocasionó severas inundaciones en la zona Paracentral del país y en San Salvador en los siguientes sectores incluyendo barrios del distrito cinco: Barrio Candelaria, Colonia La Málaga , Barrio Santa Anita, Comunidad El Granjero, Barrio La Vega , Colonia Santa Lucía en Ilopango	Acelhuate y sus afluentes en el área urbana
Agosto 2008	Lluvias provocaron e desbordamiento de la Quebrada Arenal Monserrat a la altura de la Colonia Málaga.	Quebrada Arenal-Monserrat
Julio 2008	Tres viviendas arrasadas y una persona fallecida fue el resultado de lluvias intensas en la Comunidad Nuevo Israel al poniente de San Salvador, según las personas el caudal del río creció unos 10 metros arrastrando 10 postes de alumbrado eléctrico. La persona fallecida fue arrastrada por la quebrada Arenal-Monserrat hasta el Río Acelhuate .	Acelhuate y quebrada Arenal-Monserrat
Julio 2008	El desbordamiento del rio Acelhuate afectó viviendas de las comunidades el Granjero I y II, El Coro, Altos de Jardines, Nuevo Israel entre otros, los albergues también resultaron afectados	Acelhuate
Julio 2008	Personas mueren al transportarse en un bus por la corriente del rio Acelhuate en el sector de La Málaga.	Acelhuate

Fuente: SNET

1.3.2 RIESGOS NO NATURALES

a) Inseguridad

- b) El Distrito Cinco es una zona poco atractiva para el resto de la población; ya que se caracteriza por tener altos índices delincuenciales que en la actualidad han empeorado, dentro de la zona se identifican 60 puntos de asalto, además de que se tienen datos de lugares de venta de drogas y problemas de pandillas.

b) Basura

El Distrito Cinco tiene como uno de sus más grandes problemas el manejo de los desechos sólidos, a través del recorrido realizado en la zona se pudo corroborar que el área tiene una problemática grave de basura, se detectaron varios basureros clandestinos y parece que el área preferida por las personas para lanzar desechos es la ribera del río Acelhuate. Para tener una idea de la cantidad de desechos generados en el Distrito Cinco se muestran los datos del periodo del 02 al 31 de enero del 2006 expresados en metros cúbicos (m³):

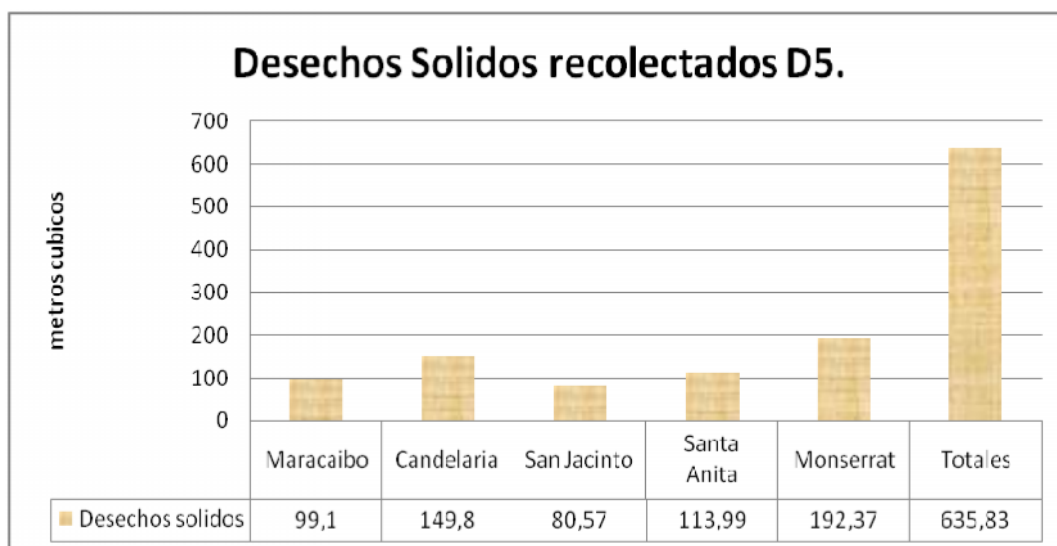


Figura 1.6: Grafico sobre la cantidad de Desechos Sólidos recolectados en el D5 (2 -31 de enero de 2006).

Puntos ubicados como botaderos de basura, identificados en quebradas dentro del distrito:

1. Quebrada Arenal, 49ª Av. Sur, Col. Luz en el puente (muy crítico).*
2. Reparto San Patricio, Col. Bella Vista III, pje. San Luis, Quebrada El Garrobo, (límite del Distrito 5 al final del Pasaje Quebrada El Garrobo).
3. Calle San Martín, en el puente rumbo a Col. Florida, Quebrada La Ceiba.
4. Col. 10 de Octubre (Comunidad) Col. Santa Marta II, al final de la Calle Ppal. (muy crítico).
5. Av. Cuscatlán y Calle Juan José Cañas, en el puente, Quebrada El Garrobo por la llantería (crítico)
6. Col. El Carmen, hoyo del Cura, al final de la Calle Principal (crítico)
7. Comunidad Dreyfus, Quebrada Arenal, final de la Calle Principal.
8. Col. Florida al final del Pje. Caracol.
9. Colonia Manzano, Calle San Francisco, final de la Quebrada de la Terranova.
10. 1ª Av. Sur y Calle Modelo, puente de la Quebrada Arenal (crítico).
11. Final Calle Paraguay y Quebrada Acelhuate.*
12. Final Av. Flor de Loto, Col. Buena Vista, entrada a Calle del Cerro San Jacinto (en la quebrada del Cerro San Jacinto que se activa en invierno).
13. Entrada a la Colonia Posada, calle Principal. en el puente.
14. Calle Arango, Quebrada de la Tenería.
15. Final calle Panamá, a orillas del río Acelhuate, bajo el puente de Candelaria frente a plaza El Trovador.*

(*): Fueron observados durante el recorrido y levantamiento de inventario, sobre la ribera del río.

1.3.3 VULNERABILIDAD

Las principales consideraciones relacionadas con la vulnerabilidad física, se centran en:

- Viviendas construídas cerca de laderas con pendiente altas donde están expuestas a deslizamientos y derrumbes.
- Incumplimiento de los artículos de la ley de urbanismo en lo relativo a lotificaciones y urbanizaciones habitacionales, donde se establece que las construcciones deben tener retiro de laderas.

- Infraestructura habitacional, comunal y vial con daños por los terremotos y en uso.⁵

Además es de considerar que existe en la zona vulnerabilidad ambiental que se centra en:

- Deforestación (debido al acelerado crecimiento urbanístico).
- Contaminación por desechos sólidos y gases que emanan de diferentes industrias aledañas y sobre el distrito, como también la proveniente del transporte que circula por la zona.
- Durante el recorrido sobre la subcuenca del Río Acelhuate se observó que la mayoría de asentamientos descargaban diferentes tipos de desechos sobre el río, contribuyendo a la contaminación y formación de focos de infección en la zona.

1.4 CARACTERIZACION DE LA CUENCA DEL RIO ACELHUATE

1.4.1 TEMPERATURA

La Temperatura es una medida física que se define como medida del movimiento molecular o el grado de calor de una sustancia. Se mide usando una escala arbitraria a partir del cero absoluto, donde las moléculas teóricamente dejan de moverse. Es también el grado de calor y de frío. En observaciones de la superficie, se refiere principalmente al aire libre o temperatura ambiental cerca a la superficie de la tierra.

a) Temperatura media

Promedio de lecturas de temperatura tomadas durante un período de tiempo determinado. Por lo general es el promedio entre las temperaturas máximas y mínimas. A través del año las temperaturas son uniformes. En las áreas inferiores de la cuenca los registros promedios mensuales son alrededor de los 29°C de marzo a mayo, antes que se inicien las lluvias; descendiendo hasta 27°C durante el resto del año. Los terrenos más altos alrededor de la ciudad de San Salvador tienen temperaturas medias mensuales de 2 a 3°C más bajas, y la cumbre del Picacho, a casi 1000 m sobre el nivel del mar, deberá ser aproximadamente más allá de los 10°C menos, usando una tasa de reducción de la temperatura debido a la elevación creciente de más o menos 1°C/100 m. Aunque las diferencias de la temperatura estacional son leves, las diferencias diurnas son considerables; especialmente en la estación seca la temperatura media máxima en San Salvador en Diciembre es de 28.8°C y la mínima 16.5°C (MAG, 2004).

⁵ Procomes:gestión, riesgo, prevención.

Tabla 1.7: Temperaturas mínimas registradas (°C), Febrero 2010.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	Años Registro	Promedio Normal	Récord	feb-16	feb-17	feb-18
PLANES DE MONTECRISTO	38	10.5	1.6	12.9	11.2	9.6
LOS NARANJOS	37	9.5	-2	13.6	10.8	10.6
LOS ANDES	48	11.6	4.1	12.8	9.2	8.7
LAS PILAS	36	11.2	5	12.2	8.3	10
NUEVA CONCEPCION	40	18.7	11.1	22	17.5	17
SANTA ANA UNICO	55	16.4	8	19.6	15.4	16.5
AEROPUERTO ILOPANGO	53	17.2	10.5	20.6	16.3	17
SAN MIGUEL UES	58	18.2	12.1	21.9	24	22
SANTIAGO DE MARIA	53	16.9	11.4	18.9	17.2	18
PERQUIN	35	17.9	9.3	17	15.5	15.5
SANTA TECLA	47	11	8	17.1	13.7	14.2

Fuente: SNET

1.5 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL RIO ACELHUATE

1.5.1 PRINCIPALES AFLUENTES

Los principales afluentes o tributarios del Rio Acelhuate se detallan en la tabla 11, así como su lugar de nacimiento y de confluencia.

Tabla 1.8: Principales afluentes del Rio Acelhuate.

AFLUENTE	NACIMIENTO	CONFLUENCIA CON EL RIO ACELHUATE	LONGITUD APROXIMADA
Tomayate	Norte de S.S	Rio abajo de Apopa	12 km
Las Cañas	Oriente de S.S	Rio abajo de la confluencia del Tomayate	17 km
San Antonio	Nejapa	Rio arriba de la confluencia de las Cañas	10
Guazapa	Sur del volcán de Guazapa	Aguilares	12
Los Limones	Norte del volcán de Guazapa	Abajo de San Diego	15

Fuente: MAG 2008

Tabla 1.9: Disponibilidad de recursos hidráulicos en la cuenca del Río Acelhuate

Características	Dimensiones
Área total (km ²)	713.00
Caudal promedio anual (m ³ /s)	11.5
Caudal promedio estación lluviosa (m ³ /s)	17.1
Caudal promedio estación seca (m ³ /s)	4.8
Agua subterránea (m ³ /s)	3.8
Agua subterránea utilizable	3.8

Fuente: SNET, 2008

La tabla 1.9 puede observarse un rasgo muy importante de los ríos de El Salvador, los caudales se reducen considerablemente en la época seca. Así el río Acelhuate pasa de un caudal de 17.1 m³/s en invierno a 4.8 m³/s en verano, presentando un caudal promedio durante todo el año de 11.3 m³/s.

1.6 CARACTERÍSTICAS DEL SUELO DE LA CUENCA DEL RIO ACELHUATE

1.6.1 GEOLOGÍA

Existen 2 regiones geológicas mayores y una menor. El área sur del límite entre San José Guayabal, Ojo de Agua, es parte de una mayor depresión (graben) en una zona de fallas que corren aproximadamente del Sureste al Noroeste, la cual ha permanecido y continúa sujeta a un arqueamiento. La depresión contiene espesos depósitos de material Pleistoceno y Holoceno reciente formación en San Salvador. Una serie de fallas de la época Terciaria, principalmente al oeste, demarcan la depresión en el Norte y Sur. El área Norte de la depresión contiene rocas del Pleistoceno de la formación del Cuscatlán. Estratos del Mio - Plioceno de la formación del Bálsamo se encuentran al extremo su de la cuenca en la cordillera del Bálsamo, la cual forma el borde inclinado sur de la depresión. Estos también sobresalen en ciertos lugares a través del material en la depresión.

1.6.2 TIPOS DE SUELO

La cuenca del río Acelhuate presenta diferentes tipos de suelos:

a) *Franco Arenoso en Planicies Aluviales*. Comprende una gran planicie aluvial, de relieve nulo y ligeramente diseccionada por algunos ríos, las pendientes son menores del 1%. Son suelos arenosos pertenecientes al gran grupo Regosol Aluvial. La capa superior de estos suelos hasta unos 30cm es de textura franco a franco arenoso de color café grisáceo oscuro y de textura ligeramente granular.

b) *Arenofrancosas*. De los 30 cm hacia abajo en profundidad los suelos mas extensivos son de texturas Arenofrancosas o Arenosas y de color que varia de café amarillento o gris pálido hasta un café grisáceo claro. En resumen son suelos profundos, permeables, friables y de baja a moderada

capacidad de retención de agua, son suelos con peligro de erosión a este grupo pertenece aproximadamente el 50% de las tierra ubicados dentro de la cuenca.

1.6.3 USO ACTUAL DE LA TIERRA

El uso de la tierra en la cuenca del río Acelhuate sobre el Distrito 5; es completamente urbano y en las riberas del Río se han identificado diferentes usos:

- Habitacional (en su mayoría).
- Carpinterías (dos).
- Basureros clandestinos.

En cuanto a la zona del asentamiento urbano que incluye a los barrios San Jacinto, Candelaria, El Modelo y La Vega el uso es altamente comercial sobre las calles y avenidas principales y en sectores menos transitables, es de uso habitacional,(ver figuras 1.2-1.5).

1.6.4 AGRICULTURA Y OTROS USOS

El uso agrícola sobre la cuenca hidrográfica del río Acelhuate no se presenta sobre el tramo de estudio; ya que ésta es catalogada como área urbana y forma parte del Área Metropolitana de San Salvador (AMSS). El D5 (sección de estudio) está presionada por otros usos, dominando entre ellos el uso habitacional (54%) y comercial (33%), que significan un 87% del uso total en dicha zona (ver figura 1.5).

1.6.4.1 USOS MISCELÁNEOS

Se han considerado las tierras estériles, que son usos misceláneos naturales; comprendiendo superficies rocosas (afloramientos del material geológico), lavas, explayamiento de fluviales arenosos y otras áreas sin algún uso definido dentro de la cuenca. En la zona se presentan estas manifestaciones al final de algunos pasajes cuyas calles convergen sobre el Río.

1.6.5 RECARGA Y DESCARGA

Durante la estación seca hay muy poca corriente natural en el curso superior del Río Tomayate, Río Acelhuate y Río Las Cañas y la corriente se compone casi totalmente de aguas negras no depuradas. Un colector principal de aguas negras descarga en el Río Acelhuate, 2 en el río Tomayate (Norte de S.S.) y uno en el Río Las Cañas (Oriente de S:S:). Además hay muchas más alcantarillas pequeñas que descargan en lo ríos y se depositan cantidades considerables de desperdicios en los lechos de los ríos. La descarga sobre este río es cuantificada por los 126,290

habitantes residentes en el D5 para el año 2008 más un porcentaje de habitantes del D4 (Flamenco y Garciaguirre, 2009), cuyas aguas siguen su curso sobre el Río Acelhuate, además esta carga contaminante también se ve influenciada por instalaciones, fábricas y otras fuentes que descargan sus aguas servidas sobre este cuerpo receptor.

1.7 CONDICIONES SOCIALES

1.7.1 CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO SOBRE EL DISTRITO 5.

Tabla 1.10. Administración del Distrito 5 de San Salvador.

DATOS	DISTRITO 5 (D5)
Población total	126,290 habitantes
Extensión territorial	18.23 Km ²
Colonias	104
Comunidades	83
Residenciales	8
Condominios	29
Barrios	5
Lotificaciones	1
Parques	49
Triangulos	13
Zonas verdes	8
Plazas	2

Fuente: Alcaldía de San Salvador 2008.

1.7.2 DISPONIBILIDAD DE SERVICIOS BÁSICOS EN LA CUENCA.

- Porcentaje de viviendas con dirección de escorrentía superficial hacia la cuenca: 54%
- Porcentaje del servicio de energía eléctrica: 100%

- Según lo observado sobre el recorrido en la zona la mayoría de la población del sitio usa gas para cocinar, seguidamente de la leña.
- El 100% disponen del servicio municipal de eliminación de basura.
- Redes de tuberías: a) Evacuación de desechos: El 100% de los asentamientos de alrededor de la cuenca cuentan con el servicio de agua potable, b) en cuanto al uso de alcantarillado la zona cuenta con redes de servicio de ANDA, el problema radica en que existen zonas demasiado bajas según la geografía del terreno lo que impide que cierta parte de la población pueda hacer uso de este servicio, (ver Mapa alcantarillado ANDA).

1.7.3 OCUPACIÓN DE LA POBLACIÓN

La zona es económicamente activa y de alta fluctuación peatonal y vehicular, posee una gran diversidad de rubros de comercio y servicios, por lo que es un punto importante de abastecimiento y satisfacción de necesidades para los diferentes barrios que lo conforman, como también para las zonas aledañas que no forman parte de la zona urbana de este Distrito. Las actividades económicas de carácter urbano son las que predominan actualmente en la zona. En cuanto a la población, los asentamientos poseen de 10 años a más (los ocupados en la proximidad al Río Acelhuate y tributarios) y en su densidad poblacional es alta.

CAPITULO II

FUNDAMENTOS BASICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES Y ESTADO ACTUAL DE LOS RECURSOS HIDRICOS DE EL SALVADOR

2.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA

Se entiende por cuenca hidrográfica la unidad territorial en la cual el agua que cae a través de la lluvia se reúne y escurre en un punto común de manera que fluye al mismo río, lago o mar; en dicha área viven seres humanos, animales y plantas conformando el ecosistema de la cuenca. Los límites de la cuenca se definen de manera natural atendiendo al relieve y topografía de la zona y en forma práctica corresponden a las partes más altas del área que encierra un río. El concepto de cuenca se relaciona a una superficie de una determinada área, de modo que cualquier punto de un país corresponde o pertenece a una determinada cuenca.

En otras palabras el termino cuenca puede entenderse como una unidad donde se reúnen o tienen afluencia una serie de ríos o quebradas provenientes de distintos puntos de un país,

La cuenca es un sistema la cual esta formada por los siguientes elementos:

- El agua
- El bosque
- El suelo
- Los estratos geológicos

El estudio del comportamiento de una cuenca es de suma importancia; ya que existe una relación entre la parte alta y baja de dicha cuenca de manera que cualquier alteración que ocurre en la parte alta directamente afectara la parte baja.

Una cuenca se divide en tres partes:

- Alta
- Media
- Baja

Las partes altas de la cuencas se distinguen porque ellas se encuentra totalmente cubiertas de bosque y generalmente son empinadas, en estas y en las partes medias generalmente ocurren los nacimientos de ríos, las partes bajas son apropiadas para que se de el desarrollo de la agricultura y los asentamientos humanos. Las cuencas pueden alterar su cauce dependiendo de la topografía de una determinada región aumentándolo o disminuyéndolo.

De acuerdo al sistema de drenaje y su conducción final las cuencas hidrográficas pueden ser clasificadas en:

- *Arréicas*: cuando no logran drenar a un río, mar o lago; sus aguas se pierden por evaporación o infiltración,

- *Criptorréicas*: cuando sus redes de drenaje superficial no tienen un sistema organizado o aparente y corren como ríos subterráneos,
- *Endorréicas*: cuando sus aguas drenan a un embalse o lago sin llegar al mar.
- *Exorréicas*: cuando las vertientes conducen las aguas a un sistema mayor de drenaje como un gran río o mar.

Por medio del balance hídrico, comparando la oferta y la demanda hídrica las cuencas también se clasifican como:

- Cuencas balanceadas: La oferta y la demanda hídrica son iguales.
- Cuencas deficitarias: Cuando la demanda excede a la oferta hídrica.
- Cuencas con exceso: La oferta hídrica excede a la demanda.

Atendiendo al grado de concentración de la red de drenaje se pueden definir unidades menores de la cuenca hidrográfica como subcuencas y microcuencas.

- Subcuenca: Es aquella área que dirige su drenaje de forma directa al curso principal de la cuenca, varias subcuencas conforman la cuenca.
- Microcuenca: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una subcuenca. Varias microcuencas pueden conformar una subcuenca.
- Quebrada: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca. Varias quebradas pueden conformar una microcuenca.⁶

2.1.2 MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

El concepto del manejo de las cuencas hidrográficas se relaciona con la acción e intervención que realiza el hombre en ellas frente a una determinada necesidad. La base del manejo de cuencas se sostiene en las actividades que el hombre realiza en cuanto a la utilización de los recursos naturales existentes en una determinada cuenca. De forma concreta se define el manejo de cuencas como “ *la gestión que el hombre realiza de forma integral para aprovechar y proteger los recursos naturales que le ofrecen, con el fin de obtener una producción óptima y sostenida*”.

El manejo de cuencas involucra los siguientes aspectos:

- El manejo de los recursos naturales de forma integral.
- El ordenamiento territorial.

2.1.3 OBJETIVOS DEL MANEJO DE CUENCAS

1. Mejoramiento de las condiciones socioeconómicas de los usuarios de los recursos naturales.
2. Conservación de los recursos naturales conforme las políticas y estrategias establecidas del país.

⁶ *TURCIOS Ángel y otros.*

3. Obtención de una mayor productividad de los recursos naturales y su mantenimiento, de acuerdo a las exigencias del país.
4. Restauración de áreas degradadas.
5. Regulación del régimen hidrológico.

Para comprender la importancia del manejo de cuencas es fundamental la comprensión del flujo de agua, o sea el ciclo hidrológico.

Este ciclo no se puede concluir si no es en función de la vegetación, la lluvia, las características físicas del suelo y los problemas del uso de suelo y del agua.

2.1.4 BENEFICIOS DEL MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS.

1. Producción de agua para el abastecimiento de poblaciones.
2. Producción para generar energía hidroeléctrica.
3. Uso múltiple de todos los recursos de la tierra.
4. Obtención de agua para riego.
5. Regularidad permanente con el fin de tener un abastecimiento normal en época seca.
6. Para producción de madera.
7. Para labores agropecuarias.
8. Para recreación.
9. Para la conservación de los recursos naturales.²

2.2 CICLO HIDROLÓGICO

El ciclo hidrológico se compone de una serie de procesos continuos e interdependientes, de movimiento y transferencia de agua en la tierra, el océano, cuerpos de agua y en la atmósfera. Como se trata de un ciclo no se puede definir un punto de partida, sin embargo, para explicar el proceso se puede comenzar por la evaporación que tiene lugar en los océanos, lagos, embalses y todo tipo de cuerpos de agua, por otro lado existe la evapotranspiración que se da en las plantas que es una combinación entre el agua que se pierde por evaporación en los suelos y la transpiración en las plantas. Ambos procesos se producen por la energía suministrada por el sol y son alterados por la influencia de las condiciones climáticas e hídricas de la temperatura, radiación, viento y humedad, de esta manera ocurre el cambio de fase del agua de líquido a gas. Cuando se encuentra en estado gaseoso llega a la atmósfera perdiendo calor y se produce la condensación creando pequeñas gotas de agua, se forman nubes y en su circulación van formándose gotas de mayor tamaño hasta que finalmente precipitan en forma de lluvia, parte de dicha precipitación es interceptada por la vegetación, otra parte cae en el suelo y dependiendo de las características de este puede quedar estancada en forma de charcos, escurrir superficialmente o infiltrarse. El agua que escurre de forma superficial drena en cuerpos superficiales o en el mar, mientras que el agua que es infiltrada una parte es retenida por el suelo y la otra parte se convierte en escorrentía superficial al saturarse la capacidad de retención del suelo. Finalmente la parte restante del agua lluvia se convierte en flujo subsuperficial y otra parte se infiltra en capas

inferiores del suelo para formar parte de las aguas subterráneas, dicha agua que se infiltra viaja de forma alimentaria para alimentar a ríos, manantiales y finalmente llegar a los océanos.⁷



Figura 2.1: Representación del ciclo hidrológico.

2.2.1 BALANCE HÍDRICO

El balance hídrico es utilizado para la cuantificación de los vectores involucrados en el ciclo hidrológico y de los factores relacionados con los consumos de agua de los diferentes usuarios en un área de una determinada cuenca hidrográfica y la relación que existe entre ambos, resultando en un diagnóstico de las condiciones reales de un determinado recurso hídrico en relación a su oferta, disponibilidad y demanda en una determinada área de estudio. Por lo tanto la realización del balance hídrico toma importancia en el sentido que permite el establecimiento de medidas y estrategias para la protección y utilización de los recursos hídricos de una forma integrada garantizando su protección y conservación de manera que siempre haya disponibilidad de dichos recursos.

El modelo para la determinación del balance hídrico está basado en la ley de la conservación de la masa:

$$\text{ENTRADAS} - \text{SALIDAS} = \text{CAMBIO DE ALMACENAMIENTO}$$

El modelo de balance hídrico del SNET considera los siguientes factores como entradas:

- Precipitación,
- Importaciones superficiales de otra cuenca,
- Retornos de la demanda.

Las salidas consideradas son las siguientes:

- Evapotranspiración real

⁷ SNET, 2005

- Evaporación de cuerpos de agua
- Evaporación en áreas urbanas
- Escurrimiento superficial
- Demanda interna en la cuenca
- Demanda externa de la cuenca
- Cambio de almacenamiento
- Recarga de acuíferos
- Variación de nivel en cuerpos de agua (lagos, lagunas, embalses).

BALANCE HIDRICO

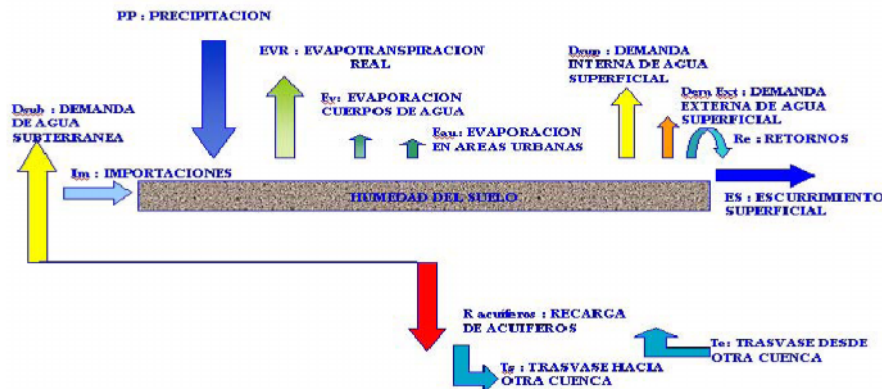


Figura 2.2: Modelo del balance hídrico utilizado por el SNET.

2.2.1.1 PARÁMETROS DEL BALANCE HÍDRICO

Precipitación, variación espacial y temporal

La precipitación es la principal entrada del ciclo hidrológico y varía de forma espacial y temporalmente en una cuenca hidrográfica, la medición se realiza a través de los pluviómetros y la información obtenida mediante dicho instrumento es utilizada en una serie de métodos por ejemplo: las curvas de doble masa que expresan valores de forma acumulada de la lluvia en dos estaciones o entre una estación y un grupo de ellas como parámetros de comparación. La variación espacial de la lluvia se analiza mediante el trazo de mapas de isoyetas de forma mensual y anual permitiendo el cálculo de precipitaciones medias reales de las cuencas.

Importaciones superficiales de otra cuenca

En el modelo del balance hídrico se toman en cuenta el aporte de aguas superficiales que son transportadas como trasvase desde otro lugar (cuenca, lago, embalse, etc.) hacia la cuenca en estudio. Es un parámetro de entrada.

Retornos de la demanda

Es el agua que es regresada al área en estudio; ya que no representa un uso práctico para los sectores tales como: la hidroelectricidad, las pérdidas de agua de los sistemas de abastecimiento de agua, la devolución que se hace en un sistema de riego entre otros, dicho parámetro constituye una entrada dentro del modelo del balance hídrico.

Evaporación y Evapotranspiración

La mayoría del agua que se pierde en una cuenca hidrográfica se debe a la evapotranspiración que es una combinación entre la pérdida de agua por evaporación en el suelo y la transpiración de la vegetación presente en la zona de la cuenca. Otra parte del agua se pierde mediante la evaporación en cuerpos de agua y en el área urbana. Dentro de la evapotranspiración se toman en cuenta otros parámetros los cuales son:

- Evapotranspiración de referencia
- Evapotranspiración de cultivo
- Evapotranspiración real

Dichos parámetros demuestran la incidencia de la cobertura vegetal en la pérdida o retención de agua y la importancia de las condiciones del suelo en relación a su porosidad y textura.

Escurrimiento superficial

Este parámetro es medido en los ríos por medio de estaciones hidrométricas las cuales miden la cantidad de caudal que pasa por un punto determinado, este factor se encuentra condicionado por el área de la cuenca, el tipo de cobertura vegetal, tipo de suelos y pendiente del terreno.

Demanda Interna y Externa

Las demandas internas se refieren al consumo de agua de parte de diferentes sectores que pueden ser: el sector poblacional, el sector agrícola, industrial, comercial, turismo, energético que se encuentran localizados dentro de la cuenca, mientras que la demanda externa se refiere a aquellos sectores ubicados en otras cuencas y se abastecen del agua de otros lugares.

Cambios de Almacenamiento

Este factor representa por una parte el volumen de agua que recarga los acuíferos y por otra parte el cambio de nivel en los cuerpos de agua.⁸

2.2.2 OFERTA HÍDRICA DE EL SALVADOR

El Salvador cuenta con 17.8 km³ de recursos hídricos de los cuales el 11.6 son aportados por los cuerpos de agua superficiales. El 84% de la escorrentía superficial se da en la estación lluviosa, mientras que el 16% restante se da en la estación seca. El Salvador es el único país de la región Centroamericana que drena totalmente al Océano Pacífico. Guatemala y Honduras dan un aporte de recursos superficiales de aproximadamente 7,5 km³/año, por lo tanto se estima un total de 25.2 km³/año.

⁸ SNET, 2005

La oferta hídrica recibida anualmente es de 1,823 mm, relacionando dicha cantidad de lluvia con el área del territorio de El Salvador se tiene un total de oferta hídrica de 38,283 millones de m³ al año. Calculando una evapotranspiración potencial del 67% traduciéndose en una oferta hídrica del 33% equivalente a 12,633 millones de m³ de agua al año en forma de aguas superficiales y subterráneas. Si se considera una población de 6.8 millones de habitantes y una dotación diaria de 250 litros por cada habitante de El Salvador se requieren 620 millones de metros cúbicos anuales representando el 4.9% de la oferta hídrica potencial, sin embargo en El Salvador el agua es escasa principalmente para fines de abastecimiento y sobre todo en las zonas rurales.(GEO,2006). A nivel de todas las cuencas hidrográficas que drenan en El Salvador se da un volumen de 56,052.31 Mm³ de agua que cae en forma de precipitaciones; del cual el 1.69% (947.37 Mm³) está representado por la evaporación de los cuerpos de agua, el 56.67% (31,762.78 Mm³) se pierde por evapotranspiración real, el 0.23% (130.29 Mm³) por evaporación en el área urbana, el 32.56% (18,251.89 Mm³) por escorrentía superficial y finalmente el 8.85%(4,959.98 Mm³) se da por cambio de almacenamiento.

El cambio de almacenamiento se refiere el flujo subsuperficial que se genera en las cuencas, la recarga a los acuíferos y las variaciones de los cuerpos de agua. Los valores representan un promedio anual en un período de 30 años es decir que pueden variar dependiendo de las condiciones climáticas, si se presenta el fenómeno del niño los datos calculados serán menores a los que se tienen actualmente.

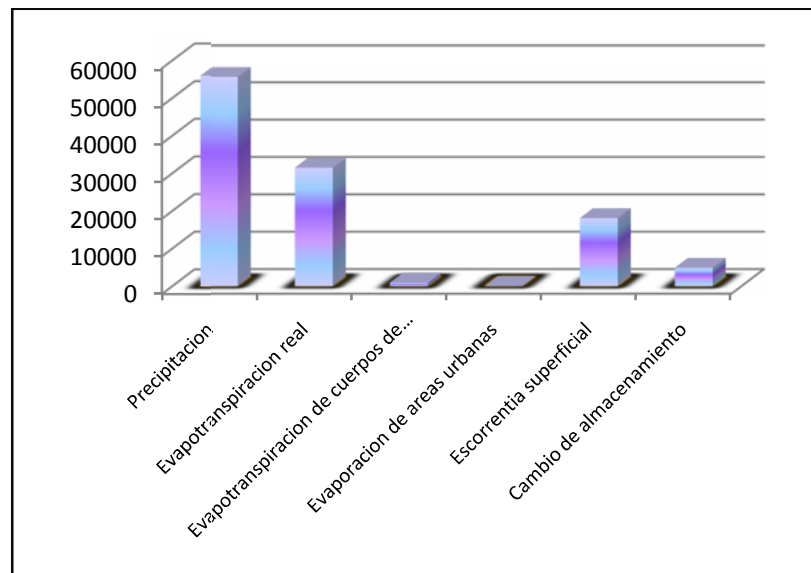


Figura 2.3: Resultados del balance hídrico total en El Salvador.

2.3 RECURSOS SUPERFICIALES

El Salvador tiene 360 ríos importantes y se encuentra dividido en diez regiones hidrográficas con características geomorfológicas similares de acuerdo a lo estipulado por el Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano, y posteriormente por el Plan Maestro de Desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos PLAMDARH en los años setenta.

Tabla 2.1: Regiones Hidrográficas de El Salvador

	Regiones Hidrográficas	Área (km²)
A	Lempa	10,167.56
B	Paz	919.93
C	Cara Sucia-San Pedro	768.85
D	Grande de Sonsonate-Banderas	778.43
E	Mandinga-Comalapa	1,294.55
F	Jibia-estero de Jaltepeque	1,638.62
G	Bahía de Jiquilisco	779.01
H	Grande de San Miguel	2,389.27
I	Siramà	1,294.55
J	Goascoran	1,044.44

Fuente: SNET,2010.

El principal río del país es El Lempa debido a su longitud, caudal y área de recogimiento seguido por el Grande de San Miguel, Paz y Goascorán. La cuenca del Río Lempa pertenece en un 56% a El Salvador y el resto a Guatemala y Honduras, sus aguas son utilizadas para generación de energía, riego y abastecimiento de agua potable. El Río Acelhuate pertenece a la región hidrográfica A y es considerado el más contaminado del país.⁹

2.3.1 FACTORES QUE AFECTAN LOS RECURSOS HÍDRICOS EN EL SALVADOR

Los recursos hídricos en El Salvador se ven seriamente amenazados, esto debido a la poca educación ambiental, a la falta de valores y compromiso de sostenibilidad que manifiestan (en su mayoría) la población salvadoreña en cuanto a la disposición final de desechos y buen uso de los recursos naturales con los que se cuenta en este país, siendo el recurso hídrico el que se encuentra altamente afectado por la presión humana, provocando que la disponibilidad de este recurso (cantidad y calidad) sea cada vez más grave.

Estos factores de presión son principalmente (SNET, 2005)

- La sobreexplotación de los acuíferos
- vertimiento de sustancias contaminantes a los cuerpos de agua

⁹ GEO, 2006

- cambios en el uso de suelos tales como la deforestación, las prácticas agrícolas inadecuadas, el incremento de urbanizaciones en zonas de producción hídrica, entre otros.

Todos estos factores, encarecen la disponibilidad del recurso hídrico aunado a un alto índice de crecimiento poblacional y económico, generando conflictos que han comenzado a sentirse y que tienden a agravarse, si no se toman las medidas necesarias, como la regulación del uso del agua a través de mecanismos de planificación, normativas y leyes que permitan su protección y su distribución en forma racional.

2.3.2 CONTAMINACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE EL SALVADOR.

Según el MARN (2000) los ríos que reportan niveles altos de contaminación son el Acelhuate, Suquiapa, Sucio, Grande de San Miguel y Acahuapa debido a que son los receptores de aguas residuales de origen doméstico e industrial de las ciudades de San Salvador, Santa Ana, Santa Tecla, San Miguel y San Vicente, respectivamente. En El Salvador más del 90% de los ríos están degradados debido a que no todas las aguas residuales de los sistemas de alcantarillado reciben tratamiento previamente a su descarga en los cauces de los ríos incrementando de esta manera los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno. Uno de los territorios más afectados por la contaminación de la mayoría de los recursos hídricos del país es el humedal Cerrón Grande, esto se debe principalmente a los vertidos de tres zonas:

- El Valle de San Andrés que contribuye con vertidos industriales, agroindustriales, aguas negras domésticas, contaminantes de granjas y establos, Agroquímicos a través del Río Sucio.
- El río Suquiapa de Santa Ana transporta vertidos provenientes de la zona urbana de Santa Ana (aguas negras), aguas mieles de los beneficios de café, peleterías, tenerías e industrias alimenticias.
- El Área Metropolitana de San Salvador descarga los vertidos domésticos e industriales al río Acelhuate, es por ello que dicho cuerpo de agua reporta altas concentraciones de nutrientes en ambas épocas del año y elevadas cargas bacterianas.

El humedal se ve afectado severamente por la contaminación de sus aguas debido a los vertidos provenientes de las zonas mencionadas anteriormente afectando de forma directa la actividad pesquera y el turismo de la zona, sin embargo es importante mencionar que la pesca se lleva a cabo sin ninguna regulación lo cual puede incidir en la salud de las personas que consuman productos provenientes del humedal. Diversos estudios realizados sobre la calidad del agua sostienen que los desechos domésticos, industriales, agroindustriales y agrícolas constituyen las fuentes principales de contaminación; algunos informes indican que en algunos tramos de los principales ríos del país presentan cantidades entre 1 y 100 millones de coniformes fecales luego de recibir los vertidos de ciudades importantes. La disminución de la calidad del agua, también se verifica en los resultados de los análisis realizados por ANDA tanto en las fuentes de producción como en la red de distribución del agua potable, en el año 2003 el 58% de los análisis

fisicoquímicos y el 31.3% de los microbiológicos realizados en las fuentes de producción de ANDA cumplieron la normativa establecida por la Organización Mundial de la Salud, y la redes de distribución solo el 22% de los análisis fisicoquímicos y el 7% de los microbiológicos cumplen con dichas normas. Otras fuentes de contaminación de los recursos hídricos identificadas son los sedimentos transportados y descargados en los cuerpos de agua en la época lluviosa así como también la erosión de los suelos, lo cual trae como consecuencia la eutrofización y azolvamiento de los ríos.¹⁰

Según el último informe presentado por el Ministerio del Medio Ambiente (2010) sobre la calidad del agua de los recursos hídricos de El Salvador señala que la calidad de las aguas está influenciada por las actividades que se desarrollan en el entorno las cuales son generadoras de fuentes posibles de contaminación mediante vertidos de tipo orgánicos, inorgánicos, metales pesados, plaguicidas, etc. La incapacidad de autodepuración de los cuerpos de agua se debe en gran medida a la presencia de altas concentraciones de contaminantes biodegradables y no biodegradables rompiendo el equilibrio, dando paso a la continua degradación del agua, limitando su aptitud para consumo humano, para actividades agrícolas y recreativas y para el desarrollo de la vida acuática. De acuerdo a la investigación realizada por científicos de la Universidad de El Salvador (2010) utilizando insectos acuáticos para medir la calidad del agua de los ríos de El Salvador revelan que el 12.5% de los ríos evaluados en 56 sitios correspondientes a 24 ríos del país tienen una calidad clasificada como “muy pobre” o más contaminados dentro de los cuales se pueden mencionar los ríos: Acelhuate, Suquiapa, San Antonio de San Salvador y Sensunapan de Sonsonete, según el ministro del Medio ambiente esto se debe a tres factores principales los cuales son: la basura, las descargas domiciliarias y los desechos industriales, por otro lado el 21.4% se clasifican como “regular”, el 26.8% como “regular-pobre”, el 33.9% pobre y el 5.4% de los sitios que fueron muestreados resultaron con una calidad “buena”, por lo tanto ningún río tuvo una calidad de agua excelente lo cual indica un estado alarmante de los recursos hídricos con los cuales cuenta El Salvador.

2.4 FUNDAMENTOS BÁSICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

El agua es uno de los recursos naturales más fundamentales, y junto con el aire, la tierra y la energía constituye los cuatro recursos básicos en que se apoya el desarrollo. La importancia de la calidad del agua ha tenido un lento desarrollo. Hasta finales del siglo XIX no se reconoció el agua como origen de numerosas enfermedades infecciosas. Hoy en día, la importancia tanto de la cantidad como de la calidad del agua está fuera de toda duda. El agua es uno de los compuestos más abundantes de la naturaleza y cubre aproximadamente las tres cuartas partes de la superficie de la tierra. Sin embargo, en contra de lo que pudiera parecer, diversos factores limitan la disponibilidad de agua para uso humano. Más del 97% del agua total del planeta se encuentra en los océanos y otras masas salinas, y no están disponibles para casi ningún propósito. Del 3% restante, por encima del 2% se encuentra en estado sólido, hielo, resultando prácticamente inaccesible. Por tanto, podemos terminar diciendo que para el hombre y sus actividades

¹⁰ GEO, 2006

industriales y agrícolas, sólo resta un 0,62 % que se encuentra en lagos, ríos y agua subterráneas. La cantidad de agua disponible es ciertamente escasa, aunque mayor problema es aún su distribución irregular en el planeta.

El uso de los recursos naturales provoca un efecto sobre los ecosistemas de donde se extraen y en los ecosistemas en donde se utilizan. El caso del agua es uno de los ejemplos más claros: un mayor suministro de agua significa una mayor carga de aguas residuales. Si se entiende por desarrollo sostenible aquel que permita compatibilizar el uso de los recursos con la conservación de los ecosistemas. Hay que considerar también que el hombre influye sobre el ciclo del agua de dos formas distintas, bien directamente mediante extracción de las mismas y posterior vertido de aguas contaminadas como se ha dicho, o bien indirectamente alterando la vegetación y la calidad de las aguas. La industrialización y el modernismo son algunos factores que ayudan a la contaminación del ambiente. Aunque nuestro planeta está formado en su mayoría por agua, de esta, solo un pequeño porcentaje es la que podemos utilizar y se está destruyendo poco a poco debido también al aumento de la población y descuido de los hombre.

De forma general las aguas residuales tienen dos componentes:

- Un efluente líquido
- Un constituyente sólido, conocido como lodos

Tradicionalmente se identifican dos formas generales de tratar las aguas residuales una de ellas es dejar que el material sólido presente en el agua se deposite en el fondo de los estanques, luego la corriente superior es tratada mediante componentes químicos para disminuir significativamente la cantidad de contaminantes dañinos.

El otro método común es utilizar una población de bacterias que sirven para degradar la materia orgánica presente en las aguas residuales, dicho método recibe el nombre de lodos activados.⁵

Las aguas residuales provienen de cuatro fuentes principales las cuales son:

- Aguas domésticas o urbanas
- Aguas residuales industriales
- Aguas de usos agrícolas
- Aguas pluviales.

El 90% de las aguas residuales provienen de las aguas de origen doméstico e industrial, mientras que el 10% restante se atribuye a la actividad agrícola y al escurrimiento superficial en el área urbana, el escurrimiento de fertilizantes y pesticidas contribuyen al envejecimiento de los lagos y pantanos conocido como proceso de eutrofización.

2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA

Actualmente, la contaminación de los cauces naturales tiene su origen en tres fuentes:

- Vertidos urbanos
- Vertidos industriales
- Contaminación difusa (lluvias, lixiviados, etc.)

Los contaminantes del agua se clasifican en tres categorías:

Contaminantes Químicos

Los contaminantes químicos pueden ser productos de tipo orgánico o inorgánico.

Contaminantes Orgánicos:

Son compuestos cuya estructura química está compuesta fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son los contaminantes mayoritarios en vertidos urbanos y vertidos generados en la industria agroalimentaria.

Los compuestos orgánicos que pueden aparecer en las aguas residuales son:

- **Proteínas:** Proceden fundamentalmente de excretas humanas o de desechos de productos alimentarios. Son biodegradables, bastante inestables y responsables de malos olores.
- **Carbohidratos:** Se incluye en este grupo azúcares, almidones y fibras celulósicas. Proceden, al igual que las proteínas, de excretas y desperdicios.
- **Aceites y Grasas:** Son compuestos altamente estables, inmiscibles con el agua, proceden de desperdicios alimentarios en su mayoría, a excepción de los aceites minerales que proceden de otras actividades.
- **Otros:** Se incluyen varios tipos de compuestos, como los tensoactivos, fenoles, organoclorados y organofosforados, etc. Su origen es muy variable y presentan elevada toxicidad.

La contaminación por productos orgánicos genera la disminución de oxígeno como resultado de la utilización de este en el proceso de degradación biológica de los mismos.

Contaminantes Inorgánicos:

Son de origen mineral y de naturaleza variada: sales, óxidos, ácidos y bases inorgánicas, metales, etc. Aparecen en cualquier tipo de agua residual, aunque son más abundantes en los vertidos generados por la industria. Los componentes inorgánicos de las aguas residuales están en función del material contaminante así como de la propia naturaleza de la fuente contaminante.

Contaminantes Físicos

Los contaminantes físicos pueden incluir los siguientes parámetros:

- Cambios térmicos: En las aguas residuales se producen fluctuaciones de temperatura que los cuerpos superficiales que en su estado natural no tendrían en el caso de las aguas provenientes de plantas industriales el agua que es descargada a un medio receptor es relativamente caliente como resultado del uso de intercambiadores de calor .
- El color: Es un parámetro que determina de forma cualitativa el tiempo de las aguas residuales, si esta es reciente presenta un color gris, pero cuando las bacterias agotan el oxígeno del agua esta se torna de color negro.
- La turbidez es originada por los sólidos en suspensión, también las espumas, detergentes y la radioactividad son considerados como contaminantes físicos.

Contaminantes Biológicos

Los contaminantes biológicos pueden ser virus, bacterias, microorganismos patógenos entre otros que son causantes de enfermedades como el cólera y la tifoidea¹¹

Tabla 2.2: Parásitos patógenos transmitidos por el agua.

Taenia solium
Taenia saginata
Ascaris lumbricoides
Trichuris trichiura
Enterobius vermicularis
Strongyloides stercoralis
Ancylostoma duodenale
Necator americanus
Toxocara canis
Dipylidium caninum
Hymenolepis nana
Hymenolepis diminuta
Schistosoma mansoni
Fasciola hepatica

Fuente: Tabla adaptada de Crites and Tchobanoglous, 1998

¹¹ MIRANDA, Jaime

Tabla 2.3: Agentes infecciosos potencialmente presentes en aguas residuales domesticas no tratadas.

Organismo	Enfermedad causada
Bacterias <i>Escherichia coli</i> (enterotoxígeno) <i>Leptospira</i> (spp.) <i>Salmonella typhi</i> <i>Salmonella</i> (2,100 serotipos) <i>Shigella</i> (4 spp.)	Gastroenteritis Leptospirosis Fiebre tifoidea Salmonelosis Shigellosis (disentería bacilar)
Protozoos <i>Balantidium coli</i> <i>Cryptosporidium parvum</i> <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i>	Balantidiasis Cryptosporidiasis Amebiasis (disentería amoébrica) Giardiasis
Helmintos <i>Ascaris lumbricoides</i> <i>T. solium</i> <i>Trichuris trichiura</i>	Ascariasis Teniasis Tricuriasis
Virus Virus entéricos (72 tipos; por ejemplo: virus <i>echo</i> y <i>coxsackie</i> del polio) Hepatitis A Agente de Norwalk Rotavirus	Gastroenteritis, anomalías del corazón y meningitis Hepatitis de tipo infeccioso Gastroenteritis Gastroenteritis

Fuente: Tabla adaptada de Crites and Tchobanoglous, 1998

2.4.1.1 CONTAMINANTES HABITUALES EN LAS AGUAS RESIDUALES.

Arenas

Se entiende como tales, a una serie de particular de tamaño apreciable y que en su mayoría son de naturaleza mineral, aunque pueden llevar adherida materia orgánica. Las arenas enturbian las masas de agua cuando están en movimiento, o bien forman depósitos de lodos si encuentran condiciones adecuadas para sedimentar.

Grasas y Aceites

Son todas aquellas sustancias de naturaleza lipídica, que al ser inmiscibles con el agua, van a permanecer en la superficie dando lugar a la aparición de natas y espumas. Estas natas y espumas

entorpecen cualquier tipo de tratamiento físico o químico, por lo que deben eliminarse en los primeros pasos del tratamiento de un agua residual.

Residuos Con Requerimiento De Oxígeno

Son compuestos tanto orgánicos como inorgánicos que sufren fácilmente y de forma natural procesos de oxidación, que se van a llevar a cabo un consumo de oxígenos del medio. Estas oxidaciones van a realizarse bien por vía química o bien por vía biológica.

Nitrógeno y Fósforo

Tienen un papel fundamental en el deterioro de las masas acuáticas. Su presencia en las aguas residuales es debida a los detergentes y fertilizantes, principalmente. El nitrógeno orgánico también es aportado a las aguas residuales a través de las excretas humanas.

Agentes Patógenos:

Son organismos que pueden ir en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que son capaces de producir o transmitir enfermedades.

Otros Contaminantes Especificos

Se incluye sustancias de naturaleza muy diversa que provienen de aportes muy concretos: metales pesados, fenoles, petróleo, pesticidas, etc.

2.4.2 COMPOSICIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Los contaminantes de las aguas residuales generalmente son una mezcla compleja de productos orgánicos e inorgánicos, normalmente no es practico ni posible la obtención de un análisis completo de la mayoría de las aguas servidas ya que todas tienen una composición diferente dependiendo de la fuente donde se originan. Es por esta razón que las aguas residuales pueden clasificarse en fuertes, medias y débiles, pero no se puede dejar de mencionar que la composición de las aguas residuales va variando con el transcurso del tiempo de manera que dicha clasificación es solo una orientación para la identificación de las aguas servidas.

La composición de las aguas residuales se define mediante parámetros físicos, químicos y biológicos, las mediciones mas comunes para el análisis de las aguas residuales incluyen: Potencial de Hidrogeno, contenido de sólidos totales, Demanda Química de Oxígeno, Demanda Bioquímica de Oxígeno y el contenido de Grasas y Aceites, entre otros.

Otra clasificación de las aguas residuales se realiza de acuerdo a su origen de procedencia:

Aguas Residuales Urbanas. Son las aguas residuales que se generan en los núcleos de población urbana como consecuencia de las actividades propias de éstos.

Los aportes que generan esta agua son:

- Aguas negras o fecales
- Aguas de lavado doméstico
- Aguas provenientes del sistema de drenaje de calles y avenidas
- Aguas de lluvia y lixiviados

Las aguas residuales urbanas presentan una cierta homogeneidad cuanto a composición y carga contaminante, ya que sus aportes van a ser siempre los mismos. Pero esta homogeneidad tiene unos márgenes muy amplios, ya que las características de cada vertido urbano van a depender del núcleo de población en el que se genere, influyendo parámetros tales como el número de habitantes, la existencia de industrias dentro del núcleo, tipo de industria, etc.

Tabla 2.4: Clasificación de las aguas residuales de acuerdo a la concentración de contaminantes.

Constituyente	Fuerte	Media	Débil
Sólidos, en total	1200	700	350
Disueltos, en total	850	500	250
Suspendidos, en total	350	250	100
Demanda Bioquímica de Oxígeno	300	200	100
Nitrógeno	85	40	20
Amoniaco Libre	50	25	12
Fósforo	20	10	6
Alcalinidad	200	100	50
Grasa	150	100	50

Fuente: Tratamiento Analítico de las aguas servidas, Jaime Miranda.

Aguas Residuales Industriales. Son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no sólo de una industria a otro, sino también dentro de un mismo tipo de industria.

A veces, las industrias no emite vertidos de forma continua, si no únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas de año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día. Estas son más contaminadas que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hace que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso.

Tabla 2.5: Componentes químicos típicos de las aguas residuales y sus efectos.

Componente	Efecto	Concentración Crítica (mg/l)
Amoniaco	- Aumenta la demanda de cloro. -Tóxico para los peces. - Puede convertirse en Nitratos.	Cualquier cantidad. 2.5 Cualquier cantidad.
Cloruro	- Imparte un sabor salado. - Interfiere en los procesos industriales.	250 75-200
Mercurio	- Tóxico para los seres humanos. - Tóxico para la vida acuática.	0.005 0.005
Sulfato	- Acción catártica.	1-3
Fosfato	- Estimula el crecimiento acuático de las algas. - Interfiere en la coagulación.	0.015 0.2-0.4
Nitrato	- Estimula el crecimiento acuático de las plantas. -Puede causar Metahemoglobina (niños azul).	0.3 10
Calcio y Magnesio	- Aumenta la dureza.	Mayor a 100

Fuente: Tratamiento Analítico de las aguas servidas, Jaime Miranda

2.4.3 CONSECUENCIAS GENERADAS POR LAS AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN MEDIO RECEPTOR

Aparición De Fangos Y Flotantes.

Existen en las aguas residuales sólidos en suspensión de gran tamaño que cuando llegan a los cauces naturales pueden dar lugar a la aparición de sedimentos de fango en el fondo de dichos cauces, alterando seriamente la vida acuática a este nivel, ya que dificultará la transmisión de gases y nutrientes hacia los organismos que viven en el fondo. Por otra parte, ciertos sólidos, dadas sus características, pueden acumularse en las orillas formando capas de flotantes que resultan desagradables a la vista y además, pueden acumular otro tipo de contaminantes que pueden llevar a efectos más graves.

Agotamiento Del Contenido En Oxígeno.

Los organismos acuáticos precisan del oxígeno disuelto en el agua para poder vivir. Cuando se vierten en las masas de agua, residuos que se oxidan fácilmente, bien por vía química o por vía biológica, se producirá la oxidación con el consiguiente consumo de oxígeno en el medio.

Si el consumo de oxígeno es excesivo, se alcanzarán niveles por debajo del necesario para que se desarrolle la vida acuática, dándose una muerte masiva de seres vivos, además, se desprenden malos olores como consecuencia de la aparición de procesos bioquímicos anaerobios, que dan lugar a la formación de compuestos volátiles y gases.

Daño A La Salud Pública.

Los vertidos de efluentes residuales a cauces públicos, pueden fomentar la propagación de virus y bacterias patógenos para el hombre.

Eutroficación.

Un aporte elevado de nitrógeno y fósforo en los sistemas acuáticos propicia un desarrollo masivo de los consumidores primarios de estos nutrientes; zoo y fitoplancton y plantas superiores. Estas poblaciones acaban superando la capacidad del ecosistema acuático, pudiendo llegar a desaparecer la masa de agua.

Otros Efectos.

Pueden ser muy variados como consecuencia de contaminantes muy específicos, con valores de PH por encima o por debajo de los límites tolerables, presencia de tóxicos que afectan directamente a los seres vivos, etc.

2.4.4. PASOS BÁSICOS PARA EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales son:

Tratamiento primario

El tratamiento primario se utiliza para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos, también se conoce esta etapa como tratamiento mecánico. En dicha etapa se pretende reducir al menos. El

20% de La DBO₅ y El 50% de los sólidos disueltos totales. A continuación se mencionan algunos de los objetivos que se pretende alcanzar en dicha etapa divididos en objetivos primarios y secundarios:

Objetivos Primarios

- Disminuir las dimensiones de los tratamientos secundarios localizados a continuación de las operaciones primarias.
- Disminuir el costo del tratamiento de las aguas residuales
- Cumplir con la ley o la normatividad ambiental.

Objetivos secundarios

- Menor tamaño del reactor biológico
- Menores requerimientos de oxígeno
- Combinación con digestión anaerobia de lodos
- Este tratamiento usualmente es suficiente para descargar al mar mediante un emisor submarino.
- Es la operación mínima requerida como tratamiento para la descarga a la red de drenajes o alcantarillado municipal.

Entre las operaciones que se realizan en dicha etapa se encuentran:

Filtración: El proceso de filtración de las aguas residuales que llegan a una planta de tratamiento generalmente es realizado mediante una cámara de rejillas donde quedan retenidos los sólidos de mayor tamaño, también existen unos colectores de arena para prevenir daños en los equipos esta etapa es conocida como escaneo o maceración y consiste de un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras formen partículas grandes para que sean separadas del agua.

Sedimentación: Dicha etapa consiste de grandes tanques circulares o rectangulares donde los sólidos fecales se depositan mientras que la grasa y los materiales plásticos ascienden hacia la superficie para desnatarse, el objetivo de dicha etapa es la obtención de un líquido homogéneo para poder ser tratado biológicamente en la etapa secundaria.

En el tratamiento primario las aguas de la red de alcantarillado público llegan a unas cámaras de dispersión donde se encuentran los equipos llamados cribas los cuales se utilizan para separar los sólidos de mayor tamaño como palos, piedras, botellas de plástico, etc, luego dichas aguas pasan a un tanque de sedimentación, donde las partículas sedimentadas pasan a un tanque digestor y luego al lecho secador que pueden ser utilizadas en tierras de cultivo como fertilizantes o pueden ser depositadas en el mar o en un relleno sanitario. De la etapa de sedimentación la fase líquida es

conducida hacia un tanque de desinfección y media vez que cumpla con los límites de depuración pueden ser arrojadas a un cuerpo superficial.¹²

Tratamiento secundario

En el tratamiento secundario se degrada el contenido biológico presente en las aguas residuales proveniente de la basura humana, basura de comida, detergentes y jabones.

Dicha etapa consiste básicamente en un tratamiento biológico se utilizan bacterias aerobias para remover alrededor del 90% de los desechos biodegradables que necesitan oxígeno, luego de la sedimentación primaria el agua es llevada a un tanque de aireación donde se degrada la materia orgánica, posteriormente pasa a un segundo tanque de sedimentación para finalmente pasar a un tanque de desinfección para ser reutilizada o descargada a un medio receptor.

Algunas de las operaciones que se realizan en el tratamiento secundario son:

Proceso de lodos activados: Las aguas residuales que provienen de la etapa primaria se pasan a un tanque de aireación donde se inyecta aire y en algunos casos se utiliza oxígeno proveniente del fondo del tanque para favorecer el crecimiento de las bacterias que requieren el oxígeno para degradar la materia orgánica, las bacterias y los sólidos suspendidos forman una especie de lodo que sedimenta para ser llevado a un tanque digestor aeróbico para ser degradado, dicho lodo puede ser utilizado en tierras de cultivo, ser incinerado o depositarse en un relleno sanitario. En esta etapa se genera bióxido de carbono y cuando empieza a desaparecer la materia orgánica las bacterias mueren y sirven de alimento para otras bacterias.

Tratamiento anaeróbico. Se promueve el crecimiento de bacterias para la degradación de la materia orgánica sin la presencia de oxígeno. Dicha técnica puede ser realizada de forma termofílica en la cual el fango se fermenta a una temperatura de 55°C o de forma mesofílica a una temperatura de 36°C. La digestión anaerobia genera biogás con elevadas concentraciones de metano que puede ser utilizados en equipos que estén funcionando dentro de una planta de tratamiento.

Sedimentación secundaria: Es el último paso del tratamiento secundario y el objetivo es separar los floculos biológicos que han sido retenidos mediante un filtro para la obtención de agua con una baja cantidad de material biológico y sólidos suspendidos.

Filtración: Otras plantas de tratamiento prefieren utilizar un filtro percolador, en donde las aguas a las cuales se les han retirado los sólidos de mayor tamaño, son llevadas a un lecho de piedras de 1.80 metros de profundidad, a medida que el agua se filtra a través de las piedras entra en contacto con las bacterias que degradan la materia orgánica las cuales son consumidas por otros organismos que están presentes en el filtro, luego el agua se pasa a un tanque de sedimentación para que se depositen los lodos activados, los cuales se pasan nuevamente a un tanque de aireación donde se mezclan con las aguas negras que se están recibiendo o puede ser separado para luego ser desechado o enterrado.

¹² monografías/tratamiento-primario

En las etapas de tratamiento primario y secundario no son eliminados ciertos componentes como los nitratos y los fosfatos los cuales contribuyen al proceso de eutrofización de los cuerpos superficiales, a través de estas dos etapas se eliminan cerca del 90% de los sólidos en suspensión y el 90% de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario se utiliza para proporcionar una mejor calidad al agua previamente a su descarga a un medio receptor. Más de un proceso terciario puede ser implementado dentro de una planta de tratamiento. En dicha etapa se pretende eliminar los contaminantes orgánicos, los nutrientes como los iones fosfatos y los iones nitratos o cualquier exceso que pueda existir de sales minerales y el objetivo que se busca es que el agua sea lo mas pura posible previa su descarga a un medio receptor. Los métodos para eliminar los nutrientes pueden ser: precipitación, sedimentación y filtración.

Algunas de las operaciones que se pueden realizar dentro de esta etapa se encuentran:

Microfiltración: En dicha operación se utiliza un tamaño de poro que oscila entre 0.1 y 10 μm reteniendo las bacterias, además los virus también pueden ser retenidos en dicha etapa ya que estos en la mayoría de casos se adhieren a las bacterias. A continuación se presenta un diagrama de los diferentes tipos de filtración atendiendo al tamaño del poro y a los microorganismos que eliminan.

Osmosis inversa: Esta técnica se aplica con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de sales disueltas en el agua y se realiza mediante la aplicación de una presión superior a la presión osmótica el fluido que tiene menor concentración que se encuentra separado por una membrana semipermeable pasa a la región de al lado donde se encuentra el fluido con una mayor concentración. La ósmosis inversa se aplica para la producción de agua ultrapura y de agua de abastecimiento de calderas. También se aplica en la industria de la alimentación (concentración de zumos de frutas, azúcar y café), en la industria de galvanizados (concentración de aguas residuales) y en la industria láctea (concentración de leche para la producción de queso).

Water Treatment & Filtration Technologies								
Micron Size	0.0001	0.001	0.01	0.1	1.0	10	100	1000
Examples	Metal Ions	Aqueous Salts	Colloids Viruses	Bacteria		Pollens	Beach Sand	
Filtration Tech						Particle Filtration		
					Microfiltration			
			Ultrafiltration					
			Nanofiltration					
			Hyperfiltration					

Figura 2.4: Tecnologías de filtración aplicadas al tratamiento del agua residual.

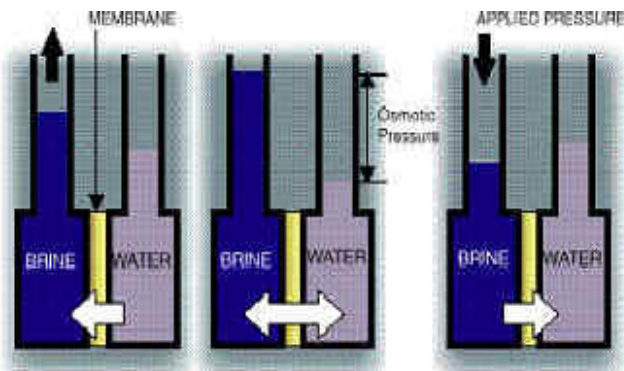


Figura 2.5: Principio de aplicación de osmosis inversa

Remoción de nutrientes: una elevada concentración de nutrientes en el agua puede ser nociva para la vida acuática favoreciendo el crecimiento de algas que conllevan a la eutrofización del recurso. Por ejemplo la remoción del nitrógeno se realiza mediante la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco a nitrato (nitrificación que implica nitrificar bacterias tales como Nitrobacter y Nitrosomonas), y entonces mediante la reducción, el nitrato es convertido al gas nitrógeno (desnitrificación), que se lanza a la atmósfera. Estas conversiones requieren condiciones

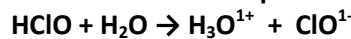
cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas. Los filtros de arena, las lagunas y las camas de lámina se pueden utilizar para reducir el nitrógeno.¹³

Cloración: El proceso de cloración puede ser aplicado a grandes cantidades de agua a un costo relativamente bajo, el cloro tiene la capacidad de eliminar olores y sabores desagradables que proporcionan otros materiales al agua. Se utilizan otros compuestos de cloro los cuales son: ácido hipocloroso, hipoclorito de sodio, hipoclorito de calcio y el peróxido de cloro. Algunas de las reacciones químicas que ocurren entre el cloro y el agua en el proceso de cloración son:

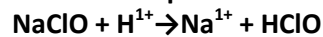
Hidrólisis del cloro:



Disociación del ácido hipocloroso:



Acidificación del hipoclorito de sodio:



El proceso de cloración es el más utilizado debido a su bajo costo, pero tiene la desventaja de que reacciona con la materia orgánica presente en las aguas residuales y produce cantidades pequeñas de hidrocarburos cancerígenos, en la actualidad ya se comienzan a incorporar otros componentes desinfectantes como el ozono, el peróxido de hidrógeno, y la luz ultravioleta pero tienen la desventaja de que son muy costosos.

Ozonización: es producido mediante la aplicación de un alto voltaje donde el O₂ del oxígeno adquiere otro átomo para formar el O₃. El ozono es un material muy inestable y reacciona con la mayoría de material orgánica con el que entra en contacto y destruye microorganismos patógenos causantes de muchas enfermedades.¹⁴

2.5 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA REGIÓN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE.

Según datos del Banco Mundial en Latinoamérica se producen alrededor de 25,000 toneladas de desechos sólidos diariamente, sin embargo solo el 5% de las aguas recolectadas en el sistema de alcantarillado reciben algún tipo de tratamiento. Debido a que las aguas negras no reciben tratamiento crean un riesgo para la salud humana y el medio ambiente al ser vertidas en cuerpos superficiales, en Latinoamérica muchas corrientes reciben descargas domésticas o industriales. En la región existe una división notable entre las personas de escasos recursos y los de ingresos altos relacionada con el acceso a servicios de saneamiento, se estima que alrededor del 18% de las personas pobres tienen agua de tubería en sus casas, por lo tanto están más propensos a adquirir

¹³ lenntech.es/procesos/desinfección

¹⁴ etapas.de.tratamiento-aguas.servidas.com

una diversidad de enfermedades por ingerir agua no segura. Es por ello que en la región se necesitan proyectos relacionados con la inversión en plantas de tratamiento de aguas residuales para disminuir el impacto negativo en la salud de la población y en el medio ambiente, no obstante se requiere un gran capital para poner en marcha dichos proyectos en toda la región. Por ejemplo en México se requiere una inversión de \$2,900 millones para poder dar a la población agua limpia y servicios de saneamiento solamente en el área urbana, por lo tanto para toda Latinoamérica se necesitan miles de millones de dólares para disminuir la contaminación de los cuerpos superficiales.

En el año de 1995 el Banco Mundial estimó que se invertirían alrededor de \$12,000 millones anuales durante un periodo de 10 años para proporcionar un tratamiento adecuado a las aguas residuales y elevar la calidad del agua potable que llega a los hogares, asimismo realizaron una estimación para una región de 1 millón de habitantes se requieren unos 100 millones de dólares para la construcción de una planta convencional dando tratamiento secundario sin tomar en cuenta costos de operación y mantenimiento, pero si se toma en cuenta que con dicha inversión se verían disminuidas las enfermedades aumentando la calidad de vida de las personas y contribuyendo a una disminución de la contaminación valdría la pena, por ejemplo en el Perú durante el primer año de la epidemia del cólera (1991) se invirtió una gran cantidad de capital en necesidades curativas y atención preventiva de la salud, además se tuvieron pérdidas entre \$180-500 millones debido a una disminución del turismo y a la prohibición de importación de productos alimenticios peruanos.

Para la implementación de una planta de tratamiento es necesario realizar una evaluación del nivel óptimo de tratamiento requerido y del presupuesto con el cual se cuenta, en aquellas regiones donde es imposible construir plantas convencionales de tratamiento pueden utilizarse métodos naturales de tratamiento. El manejo adecuado de las aguas residuales debe dar como resultado un efluente que pueda ser ya sea reciclado o reusable o pueda descargarse nuevamente al medio ambiente sin ocasionar daños. El objetivo de implementar una planta de tratamiento de aguas residuales no es producir un producto estéril sin microbios sino más bien reducir el nivel de contaminación para que pueda ser reutilizada en actividades de riego o en la industria, al seleccionar la tecnología adecuada se deben tomar en cuenta ciertos criterios que incluyen la cantidad y composición de la corriente de residuos, los estándares del efluente, opciones indicadas de uso y desecho, opciones de pretratamiento industrial y factibilidad de funcionamiento.¹⁵

2.6 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA CUENCA DEL RIO POTOMAC.

El Río Potomac forma parte de la costa Atlántica de los Estados Unidos desemboca en la Bahía Chesapeake, tiene una longitud de 665 km y una superficie de 38 km², en las riberas viven aproximadamente 5 millones de habitantes, se encuentra localizado en la frontera de Maryland y Washington y una pequeña parte del distrito de Columbia y de Virginia Occidental. Uno de los

¹⁵ Kelly, A. Reynolds. "Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica", 1995.

problemas mas representativos de dicha cuenca fue la muerte en grandes cantidades de los peces y el cambio de sexo de los mismos, en la tercera edición del informe “Estado del Rio de la Nación”, señalaron que la principal causa de la interferencia del desarrollo sexual normal de la vida acuática del rio son las hormonas de animales presentes en el estiércol provenientes del lavado de los campos de cultivo al igual que las hormonas humanas y restos de productos farmacéuticos presentes en las aguas residuales descargadas al rio. Debido a que en el pasado las ciudades de Maryland y Virginia no contaban con un sistema de tratamiento de aguas residuales el Potomac alcanzo niveles altos de contaminación. En el año de 1938 comenzó a funcionar la planta de tratamiento de aguas residuales Blue Pains que realizaba operaciones primarias de tratamiento, pero la población seguía creciendo por lo tanto el problema de la contaminación persistía, fue entonces en el año de 1960 que se destinaron fondos federales para ampliar las funciones de la planta de tratamiento. En la actualidad el agua del rio Potomac recibe una serie de tratamientos para ser utilizada como agua potable y para apagar incendios, como un ejemplo puede citarse la empresa WASA quienes extraen 180 millones de galones de agua de las cuencas de Great falls y little falls que forman parte del río Potomac para el distrito de Columbia.

Cuentan con dos plantas de tratamiento la Dalecarlia y McMillan, los principales procesos de tratamiento que realizan son:

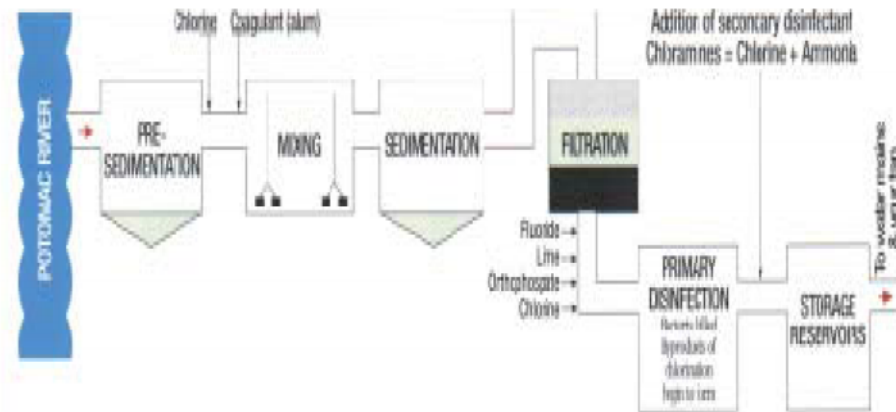


Figura 2.6: Sistema de tratamiento del agua del Río Potomac (WASA)

- Predecantación: Sirve para que las partículas de mayor tamaño se depositen en el fondo de forma natural.
- Mezcla: En dicha operación utilizan coagulantes para que las partículas mas pequeñas se unan para formar partículas mas grandes.
- Decantación: permite que las partículas más grandes se depositen.
- Filtración: En dicho proceso de retienen partículas de menor tamaño utilizando filtros de arena.

- Desinfección primaria con cloro activo, además en esta operación se añaden otros químicos los cuales son: Se añade cal para el ajuste del pH y fluoruro para proteger los dientes siguiendo recomendaciones de la Asociación Dental Americana.
- Desinfección secundaria con cloraminas luego ocurre la conversión del cloro activo a cloraminas mediante la incorporación de amoníaco, finalmente se añade ortofosfato para prevenir la corrosión de las tuberías que se encargan de transportar el agua ya potabilizada.¹⁶



Figura 2.7: Sistema de alcantarillado de Montgomery (USA)

La imagen anterior representa el sistema de alcantarillado público del condado de Montgomery, el cual comienza con la recolección de las aguas residuales generadas en los hogares o en las industrias hasta llegar a una planta de tratamiento mediante la ayuda de bombas. La mayor parte de las aguas residuales de dicha ciudad se dirigen hacia una tubería de gran tamaño que se encuentran paralelas al río Potomac llegando a una estación de bombeo de la azul llanos depuradora de aguas residuales quienes dan el tratamiento respectivo al agua a un nivel muy alto de pureza la cual es descargada nuevamente al Río Potomac cerca del extremo sur de Washintong, DC.

2.7 TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA CUENCA DEL RIO BOGOTÁ.

El Río Bogotá nace en el Alto de Calavera, municipio de Villapinzon, realiza un recorrido de 370 kilómetros en una dirección suroccidente y desemboca en el río Magdalena a unos 280 metros sobre el nivel del mar, en el municipio de Girardot, los principales tributarios son: el río San Francisco, Sisga, Siecha, Tibitó, Teusacá, Chicú, Juan Amarillo, Fucha, Tunjuelo, Balsillas, Soacha y Muña en la cuenca alta y en la cuenca baja, Calandaima y Apulo. Además el río Bogotá es el principal elemento del sistema hídrico de la Capital de Colombia y se encuentra ubicado parte en el área urbana y parte en la zona rural de la Sabana. El río constituye la principal fuente hídrica

¹⁶ WASA, "Informe sobre la calidad del agua potable", 2005

para la región de la Sabana y recibe las descargas domésticas tanto de la zona urbana como de la rural. Alrededor del 90% de la carga contaminante que llega a la cuenca es por medio de los ríos Salitre con el (Juan Amarillo). Fucha y Tunjuelo, el resto de la contaminación proviene de los ríos Torca, Conejera, Tintal y Soacha. Debido a los altos niveles de contaminación observados en el Rio y el impacto que dicha problemática tendría en la región de La Sabana que depende de dicho recurso, se ha propuesta la realización de un programa integral de control en la fuente, recolección y tratamiento de las aguas residuales, para el tratamiento de las aguas residuales de Santa Fe de Bogotá se ha determinado un periodo de 20 años para la construcción de tres plantas de tratamiento de aguas residuales en la desembocadura de los ríos Salitre, Fucha y Tunjuelo.¹⁷

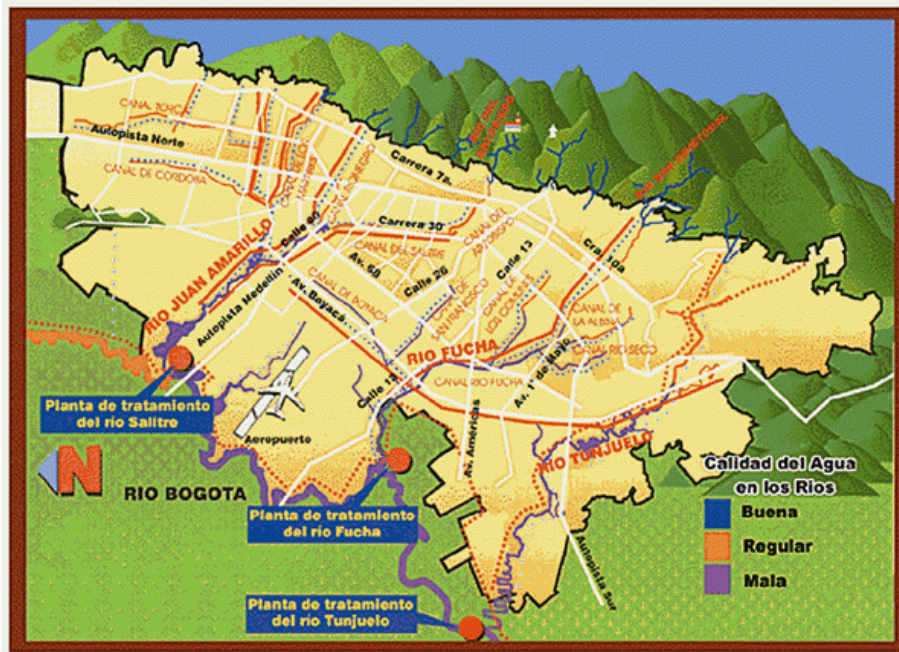


Figura 2.8: Ubicación de las plantas de tratamiento en el Rio Bogotá.

Para que la puesta en marcha de dicho programa tenga éxito se han planteado los siguientes criterios:

- Minimización de vertimientos industriales.
- Uso eficiente del agua
- Control en la fuente
- Control de vertimiento de sustancias de interés sanitario
- Programas de descontaminación de ríos y quebradas tributarios del Rio Bogotá
- Tener accesibilidad con los predios para la construcción de las plantas y para la disposición de los biosólidos generados en el tratamiento.
- Mínimos costos de tratamiento

¹⁷ encolombia.com/medioambiente.

- Mínimo impacto socioeconómico
- Aseguramiento de recursos financieros.

El tratamiento de las aguas residuales en las tres plantas de tratamientos contará con dos fases:

Fase I: Tratamiento primario: remoción del 40 % de carga orgánica y el 60% de sólidos suspendidos.

Fase II: Tratamiento secundario: calidad efluente final de menos de 20 mg/l de DBO₅ y menos de 30 mg/l de sólidos suspendidos.

Planta del Salitre o Juan Amarillo

La planta comenzó a construirse a finales de 1997 y fue programado que comenzara operaciones el 20 de septiembre del 2000 con un caudal de **4 m³/seg** de aguas residuales.



Figura 2.9: Vista Panorámica de la Planta de Tratamiento del Salitre

2.8 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL SALVADOR

Según datos del Ministerio de Medio Ambiente en El Salvador el 90% de los recursos hídricos superficiales presentan altos niveles de contaminación química y biológica. Entre los ríos que presentan mayores niveles de contaminación se menciona el Río Acelhuate. Por otro lado De las 1833 industrias y agroindustrias reportadas, el 21% no presentan vertidos, el 70% no realiza tratamientos de sus aguas residuales y solo el 9% realiza tratamientos previos antes de descargar las aguas residuales a un cuerpo receptor. Una de las soluciones planteadas por organismos

interesados en solucionar la problemática de las aguas residuales, es que en cada descarga de los alcantarillados sanitarios, se tenga un sistema de tratamiento, con unidades necesarias para depurar las aguas negras y residuales, cumpliendo así, con la normativa vigente en el país, sobre calidad de vertidos. En el año 2000, PROCOSAL formulo el tratamiento de las aguas residuales en el municipio de Suchitoto, una experiencia que dejo claro el hecho de que la problemática de las aguas debe manejarse de forma integral, es decir que no basta con plantear un diseño y luego la construcción, sino que también deben tomarse en cuenta aspectos administrativos, financieros y operativos que debe conocer el ente que administra la planta de tratamiento, asegurando la sostenibilidad a largo plazo. PROCOSAL tiene una amplia experiencia en el apoyo a municipalidades en la elaboración de planes de para la diseño, construcción y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales, además de la capacitación al personal sobre la correcta operación de la planta. Entre las municipalidades con las que han trabajado son: Suchitoto, La Unión y La Palma, en donde las municipalidades han implementado programas de manejo integrales de aguas residuales con participación ciudadana y otros actores claves. También han participado con empresas municipales administradoras de agua descentralizadas de la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA), como son EMASA de Suchitoto, EMA de Juayúa y EMA de San Julián. PROCOSAL además de los aspectos mencionados anteriormente brinda asistencia técnica, la cual comprende: la elaboración de manuales de operación y mantenimiento, planes de sostenibilidad administrativo, financiero y operativo, capacitación a operadores y personal administrativo de las municipalidades, diseño de material educativo y procesos de sensibilización ciudadana.



Figura 2.10: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del casco urbano de Suchitoto, depto. de Cuscatlán.

CAPITULO III
EVALUACION DEL INDICE DE CALIDAD DEL AGUA DE LA SUBCUENCA URBANA DEL RIO
ACELHUATE

3.1 APTITUD DE USO DEL AGUA POTABLE SEGÚN SU CALIDAD.

3.1.1 AGUA PARA CONSUMO HUMANO

En el Salvador se utiliza como referencia el Decreto No.51 para la determinación del agua proveniente de algún cuerpo superficial apta para consumo humano.

Tabla 3.1: Normativa de agua cruda para potabilizar por métodos convencionales

Norma aplicable	Parámetro	Unidades	Rango
Decreto No.51 16 de Noviembre de 1987	DBO ₅	mg/L	De 3 a 4
	Coliformes fecales	NMP/100ml	1000
	Oxígeno disuelto	mg/L	4-6.5
	pH	u de pH	6.5 a 9.2
	Cloruros	mg/L	50 a 250
	Turbidez	UNT	10 a 250
	Color aparente	Unidades de Co-Pt	20 a 150
	Fenoles	mg/L	0.005
Norma EPA	Fenoles (valor a aplicar)	mg/L	3.5

Fuente: SNET, 2005

Además se mencionan otros parámetros que deben tomarse en cuenta para la potabilización de agua cruda por métodos convencionales:

Tabla 3.2: Parámetros adicionales a tomar en cuenta para potabilizar agua cruda por métodos convencionales

Parámetro	Unidades	Rango
Sólidos Disueltos Totales (TDS)	mg/L	300-600
Nitratos	mg/L	45
Cinc	mg/L	5
Cobre	mg/L	0.1-1

Fuente: SNET, 2005

Métodos convencionales de tratamiento se refiere a los procesos de filtración, sedimentación, cloración o ebullición.

3.1.2 AGUA PARA RIEGO

En el Decreto No.51 también se mencionan las cantidades límites permisibles de ciertos parámetros para que el agua sea considerada apta para riego, también se incluye el pH ya que se considera importante tomar en cuenta para dicha actividad:

Tabla 3.3: Normativa de agua para riego.

Norma aplicable	Parámetro	Unidades	Rango
Decreto No.51	Conductividad	Siemens/cm	250 a 750
	CRS	meq/L	Menor o igual que 1.25
	RAS		0-10
	% Sodio	meq/L	30 a 60
	Cloruros	mg/L	195
	Sulfatos	mg/L	200
	pH	u de pH	6.5 a 8.4
	Coliformes fecales	NMP/100 ml	1000
Boro	mg/L	0.5 a 2	

Fuente: SNET, 2005

3.1.3 AGUA PARA CONTACTO HUMANO

Tabla 3.4: Normativa de agua para contacto humano.

Norma aplicable	Parámetro	Rango
Norma OMS para actividades recreativas	Coniformes fecales	Menor o igual a 1000 NMP/100ml
	Oxígeno disuelto	Mayor o igual a 7 mg/L
	Turbidez	Menor o igual a 10 UNT

Fuente: SNET, 2005

3.1.4 AGUA CON CALIDAD AMBIENTAL

Para determinar la aptitud del agua con calidad ambiental se hace uso del Índice de Calidad de Agua conocido como ICA dicho índice es recomendado por el Programa Ambiental de El Salvador, proyecto realizado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (1997-2000), es utilizado para determinar la calidad del agua de los ríos que se tengan en estudio y así definir la posibilidad del desarrollo de la vida acuática, para condiciones excelentes tiene un valor de 100, valor que va disminuyendo a medida que se detecte mayor contaminación en los cuerpos superficiales hasta llegar a un valor límite de cero que define una pésima condición. En dicha investigación se determinan los parámetros que definen el ICA del río Acelhuate en el tramo del zoológico- Río

Arenal Monserrat y así determinar el grado de contaminación de la subcuenca en el área urbana, por lo tanto se define la calidad ambiental de dicho tramo con la finalidad de realizar una propuesta de tratamiento que mejore la calidad de agua del Rio previo a su descarga en el Rio Lempa.

Tabla 3.5: Valores en los cuales se expresa el ICA.

Calidad del agua	Rango de Valor	Usos
Excelente	91-100	Facilita el desarrollo de vida acuática
Buena	71-90	Facilita el desarrollo de vida acuática
Mala	51-70	Restringe el desarrollo de vida acuática
Regular	26-50	Restringe el desarrollo de vida acuática
Pésima	0-25	Imposibilita el desarrollo de vida acuática

Fuente: SNET, 2005

3.2 NORMA PARA REGULAR CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL DESCARGADAS AL ALCANTARILLADO SANITARIO.PLAN HIDRO 2009, ANDA.

La norma entro en vigencia el primero de enero del año 2005 y tiene por objeto regular las descargas de las aguas residuales para proteger los sistemas de alcantarillado sanitario y evitar las interferencias con los tratamientos biológicos. El ámbito de aplicación de dicho norma es a todo tipo de descarga proveniente de efluentes líquidos de actividades comerciales, agroindustriales, industriales, hospitalarias o de cualquier otra naturaleza que pueda afectar a los sistemas de alcantarillado sanitario propiedad de ANDA.

Tabla 3.6: Límite Máximo Permisible de algunos parámetros medidos según norma de calidad de aguas residuales

Parámetro	Unidades	Limite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	mg/L	150
Cadmio (Cd)	mg/L	1
Cromo Total (Cr)	mg/L	3
DBO₅	mg/L	400
DQO	mg/L	1000
Hierro Total (Fe)	mg/L	20
Mercurio (Mg)	mg/L	0.02
PH	mg/L	5.5-9.0
Plomo (Pb)	mg/L	1.0
Temperatura	°C	20-35
Materiales flotantes		Ausentes

Fuente: ANDA, 2005

Para descargas de tipo industrial según la norma los análisis básicos que deben realizarse son los siguientes:

- DBO5
- DQO
- pH
- Aceites y Grasas
- Sólidos Sedimentables
- Sólidos Suspendidos Totales
- Temperatura

Dependiendo del tipo de industria se deben realizar análisis complementarios para determinar la calidad de las aguas residuales que serán descargadas a un medio receptor.

Tabla 3.7: Análisis complementarios para la determinación de la calidad de las aguas residuales.

Industria	Análisis
Hierro y Acero	Fenoles, cianuros, fluoruros, manganeso, Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Flúor, Hierro, Mercurio, Plomo, Níquel, Cinc
Químicos orgánicos	Fenoles, Cianuros, Arsénico, Cadmio, cromo, Flúor, Hierro, Mercurio, Plomo.
Expendios de combustibles y talleres automotrices	Hidrocarburos
Plásticos y sintéticos, pinturas, tintes, lacas, barnices, resinas sintéticas	Cadmio, Cianuro, Arsénico, Cobre, fenoles, Hidrocarburos.
Textiles	Fenoles, cromo, color.
Curtiembres y talleres de acabado, preparación y tejidos de pieles	Cromo, color.
Jabón y detergentes, preparados para limpieza	Fenoles, Detergentes
Galvanoplastia y limpieza de metales	Plata, Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio, Níquel, Cianuro Total, Flúor y Fósforo Total
Vidrio, cemento, productos de asbesto	Cromo total
Fabricación de acumuladores (baterías)	Plomo, Níquel, Cadmio y Zinc

Fuente: ANDA, 2005

Tabla 3.8: Frecuencia mínima de muestreo y análisis para aguas residuales de tipo especial

Parámetros	Caudal (m ³ / día)		
	<10	10 a 100	>100
Temperatura, pH, Sólidos Sedimentables y Caudal.	Mensual	Semanal	Diario
Otros parámetros obligatorios según norma	Anual	Semestral	Trimestral

Fuente: ANDA, 2005

3.3 REGLAMENTO ESPECIAL DE NORMAS TÉCNICAS DE CALIDAD AMBIENTAL .

Tabla 3.9: Reglamento Especial de Norma Técnicas de Calidad Ambiental.

PARAMETRO	LIMITE
Coliformes fecales	Que no excedan una densidad mayor a los 1000 UFC/100ml.
Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO ₅	No debe permitirse que el nivel de oxígeno disminuya de 5mg/L.
Oxígeno disuelto	Igual o mayor a 5 mg/L.
pH	Debe mantenerse en un rango de 6.5 a 7.5 unidades o no alterar en 0.5 unidades de pH el valor ambiental natural.
Turbidez	No deberá incrementarse mas de 5 unidades de turbiedad sobre los límites ambientales del cuerpo receptor.
Temperatura	Debe de mantenerse en un rango entre los 20 y 30°C o no alterar un nivel de 5°C la temperatura del cuerpo receptor.

Fuente: Niveles Guía del Decreto Ejecutivo n°40 (2000).

3.4 NORMA SALVADOREÑA SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES DESCARGADAS A UN CUERPO RECEPTOR (NSO 13.49.01:06).CONACYT

Dicha norma tiene como objeto establecer los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y radiactivos permisibles que deben tener las aguas residuales previamente a su descarga a un medio receptor.

Tabla 3.10: Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo ordinario, para descargar a un cuerpo receptor.

Actividad	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Sólidos Sedimentables (mg/l)	Sólidos Suspendidos Totales(mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
AGUAS RESIDUALES DE TIPO ORDINARIO	150	60	1	60	20

Fuente: NSO, CONACYT, 1996

Tabla 3.11: Parámetros Complementarios sobre Valores Permisibles para Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor.

Parámetro	Unidad	Valores Máximos Permisibles
Cadmio (Cd)	mg/l	0.1
Coliformes fecales	NMP/100ml	2,000
Cromo total (Cr)	mg/l	1
Hierro total (Fe)	mg/l	10
Mercurio (Hg)	mg/l	0.01
pH		5.5 – 9.0
Plomo (Pb)	mg/l	0.4
Temperatura	°C	20-35 °C

Fuente: NSO, CONACYT.1996

Tabla 3.12: Valores máximos de parámetros de aguas residuales de tipo especial, para descargar a un cuerpo receptor.

Actividad	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	Sólidos Sedimentables (mg/l)	Sólidos Suspendidos Totales(mg/l)	Aceites y grasas (mg/l)
Productos de molinería	400	200	15	200	50
Fabricación de productos de panaderías	250	200	15	70	100
Elaboración de productos alimenticios diversos	400	150	15	150	45
Destilación, rectificación y mezclas de bebidas espirituosas	3500	3000	15	1000	20
Industrias de bebidas no alcohólicas y aguas gaseosas	400	200	30	100	30
Fabricación de vidrio y productos de vidrio	100	60	15	40	30
Industrias básicas de hierro y acero	200	60	10	30	30
Fabricación de pinturas, barnices y lacas	300	100	15	100	30
Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos	300	100	15	100	30
Industrias de llantas y cámaras	100	60	15	60	20
Lavado de vehículos	100	40	15	60	30
Fabricación de productos plásticos	100	50	15	60	30

Fuente: NSO, CONACYT.1996

Tabla 3.13: Normativa para el almacenamiento de muestras según NSO, CONACYT.

Parámetros	Recipientes	Preservante	Tiempo máximo de almacenamiento	Vol. mínimo de muestra mL
Aceites y grasas	Vidrio	5 mL (1+1) H ₂ SO ₄ /L muestra. Enfríar a 4 °C	24 horas	1 000
Acido fenoxiacético, herbicida	Vidrio	H ₂ SO ₄ a pH < 2, inferior a 4 °C	Preferible extraer inmediatamente	1 000
Aluminio	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Arsénico	Polietileno	Enfríar 4 °C	6 meses	1 000
Bario	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Berilio	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Boro	Polietileno	Enfríar 4 °C	6 meses	1 000
Cadmio	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Carbamato (plaguicida)	Vidrio	H ₂ SO ₄ a pII < 4 y 10 g Na ₂ SO ₄ /L muestra	Preferible extraer inmediatamente	2 500
Cianuro	Polietileno	1 mL NaOH al 10 % / 100 mL muestra	24 horas	500
Cinc	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Color	Polietileno	Enfríar 4 °C	24 horas	500
Cromo	Polietileno	2 ml. Conc. HNO ₃ /L muestra	24 horas	1 000
DBO	Polietileno	Enfríar 4 °C	4 horas	1 000
DQO	Polietileno	Enfríar 4 °C	24 horas	1 000
Fenoles	Vidrio	H ₃ PO ₄ a pH < 4 y 1,0 g CuSO ₄ /L, enfríar 4 °C	24 horas	1 000
Fluoruro	Polietileno	Enfríar 4 °C	7 días	300
Fósforo disuelto inorgánico ortofosfato total	Vidrio	Filtrando in situ, usando membrana filtrante de 0,45 µm enfríar 4 °C.	24 horas	1 000
Hierro	Polietileno	2 mL. conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Litio	Polietileno	2 mL. conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000

Fuente: NSO, CONACYT, 1996.

Tabla 3.13: Continuación

Parámetros	Recipientes	Preservante	Tiempo máximo de almacenamiento	Vol. mínimo de muestra mL
Manganeso	Polietileno	2 mL conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Mercurio	Vidrio o teflón	1 mL conc. H ₂ SO ₄ y 1 mL solución K ₂ Cr ₂ O ₇ al 5% / 100 mL muestra	1 mes	1 000
Molibdeno	Polietileno	2 mL conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Níquel	Polietileno	2 mL conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Nitrógeno amoniacal por Kjeldahl nitrato+nitrato	Polietileno	Enfriar 4 °C	24 horas	1 000
Pentaclorofenol	Vidrio	H ₂ SO ₄ a pH < 4 y 0,5 g CuSO ₄ /L enfriar 4 °C	24 horas	1 000
pH	Polietileno	Ninguno	Preferible tomar de inmediato	200
Plaguicidas organoclorados	Vidrio	Enfriar 4 °C	Preferible extraer inmediatamente	2 500
Plata	Polietileno	0,4 g disódico EDTA/100 mL muestra	10 días	1 000
Plomo	Polietileno	2 mL conc. HNO ₃ /L muestra	6 meses	1 000
Selenio	Polietileno	Enfriar 4 °C	6 meses	1 000
Sulfato	Polietileno	Enfriar 4 °C	7 días	1 000

Fuente: NSO, CONACYT, 1996.

3.5 PARAMETROS DETERMINANTES DE LA CALIDAD DEL AGUA

A continuación se detallan cada uno de los indicadores medidos en la subcuenca sur del Río Acelhuate y que son de suma importancia para dicha investigación para la elaboración de la propuesta del sistema de tratamiento de las aguas residuales idóneo según las características y resultados de los parámetros medidos en la zona de estudio.

3.5.1 MEDICIONES FISICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA

CAMBIO DE TEMPERATURA

La temperatura de los cuerpos superficiales puede ser afectada por los siguientes factores:

- Latitud
- Altitud
- Variaciones climáticas
- Hora del día
- Circulación del aire
- Nubosidad
- Profundidad del cuerpo de agua

Cuando se da un incremento de temperatura del agua las reacciones químicas aumentan, paralelamente incrementan la evaporación y volatilización de sustancias. Un aumento de temperatura disminuye la solubilidad de ciertos gases como el O₂, CO₂, N₂, CH₄ entre otros, aumentándose también el consumo de oxígeno y la descomposición de la materia orgánica, se favorece con el incremento de la temperatura el crecimiento de bacterias y de fitoplancton que elevan la turbidez del agua y el crecimiento desmedido de algas por la presencia de elevadas cargas de nutrientes. La temperatura de los cuerpos superficiales generalmente se encuentra en el rango de 0 a 30°C, la cual puede sufrir variaciones dependiendo de la época del año y de la profundidad del cuerpo de agua ya que si este no es muy profundo es más sensible a los cambios de temperatura. Dicho parámetro fue medido de forma directa en los tres puntos de muestreo identificados previamente mediante la ayuda de un termómetro con una escala de (-110 a 110°C) reportándose 29°C para los tres sitios lo cual evidencia que se encuentra dentro del rango de temperatura de las aguas superficiales.

Tabla 3.14: Interpretación de la calidad del agua según la temperatura

CALIDAD DEL AGUA	PURA	POCO CONTAMINADA	CONTAMINADA	MUY CONTAMINADA	EXCESIVAMENTE CONTAMINADA
TEMPERATURA (° C)	<20	<22	<25	<30	>30

Fuente: Análisis Físicoquímico de Aguas Residuales, 2010.

En los tres puntos de muestreo: La Vega, Candelaria y Zoológico se obtuvo para la época de verano una temperatura de 29°C, por lo tanto a partir de los valores dados en la tabla anterior el valor se encuentra dentro del rango de calidad de agua clasificada como muy contaminada.

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

Dicho parámetro es de suma importancia para la determinación de la calidad tanto de aguas residuales como naturales. El agua industrial con una alta concentración de iones hidrógenos es sumamente difícil de tratar mediante métodos biológicos y si la concentración no es alterada antes de su descarga dicho efluente puede alterar la concentración en las aguas naturales. La alcalinidad en el agua residual se debe a la presencia de hidroxilo, carbonatos y bicarbonatos de elementos tales como calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco, esta alcalinidad la va adquiriendo del agua de suministro, del agua subterránea y de materias añadidas durante el uso domestico. El equilibrio natural de un cuerpo de agua puede afectarse por efluentes industriales y por la deposición atmosférica de sustancias generadoras de ácidos. Las variaciones de PH son causadas por procesos como la fotosíntesis y los ciclos respiratorios de las algas y de las aguas eutróficas.

TURBIDEZ

La transparencia del agua es importante para la elaboración de productos destinados a consumo humano y para numerosos usos industriales. La turbidez en un cuerpo de agua puede producirse por sólidos en suspensión como arcilla, cieno o materias orgánicas e inorgánicas que se encuentran finamente divididas, compuestos orgánicos solubles coloreados, plancton y otros microorganismos. La turbidez además de ser una medida “in situ” es una expresión de la propiedad óptica que origina que la luz se disperse y absorba en vez de transmitirse en línea recta a través de la muestra. La turbidez es medida mediante aparatos llamados turbidímetros los cuales proporcionan datos relativamente validos sobre la intensidad de la luz dispersada en una dirección dada, predominantemente en ángulo recto a la luz incidente.¹⁸Para la calibración del nefelómetro se exige una suspensión de referencia estándar que tenga propiedades reproducibles de dispersión luminosa, pero dado que no existe relación directa entre la intensidad de la dispersión de luz a un ángulo de 90º y la turbidez, tampoco existe un fundamento válido para calibración de nefelómetros. Para evitar interpretaciones erróneas los resultados de las medidas nefelométricas se miden en unidades nefelométricas de turbidez (UNT).



Figura 3.1: Turbidímetro portátil.

¹⁸ *análisis-físico-químico-de-aguas-y-productos-industriales*

En el turbidímetro portátil, la turbidez se mide introduciendo una cubeta de 1cm x 1 cm en el turbidímetro se cierra el aparato y luego proporciona la medida se debe tener cuidado de limpiar las paredes transparentes de la cubeta ya que si no hace se pueden obtener datos erróneos.

3.5.2 MEDICIONES QUIMICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

La determinación de sólidos totales en muestras de agua por desecación es un método muy utilizado, algunas de sus aplicaciones son: determinación de sólidos y sus fracciones fijas y volátiles en muestras sólidas y semisólidas como sedimentos de río o lagos, lodos aislados en procesos de tratamiento de aguas limpias y residuales y aglomeraciones de lodo en filtrado al vacío, de centrifugación u otros procesos de deshidratación de lodos. La determinación de estos sólidos está sujeta a error negativo debido a la pérdida de carbonato amónico y materia orgánica volátil durante la desecación. Otro error posible es que después de realizar la desecación no se tenga la precaución de guardar la muestra en un desecador y pesarla rápidamente, ya que muchos de los residuos sólidos del agua son muy higroscópicos y absorben rápidamente humedad del aire.

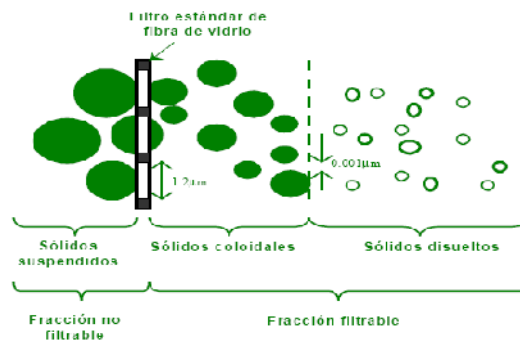


Figura 3.2: Dimensiones de los sólidos suspendidos, coloidales y disueltos.

Los efectos de los sólidos suspendidos en los cuerpos receptores están asociados al tamaño y a la naturaleza del sólido, pero desde un punto de vista puramente físico los más notables son el interferir con la penetración de la luz solar (turbiedad) y el azolve de los cuerpos de agua.

FOSFATOS

Los fosfatos son compuestos químicos formados por fósforo y oxígeno. Los fosfatos son necesarios para el crecimiento de las plantas y de los animales. Los fosfatos existen en varias formas: los ortofosfatos son producidos por procesos naturales y encontrados en aguas residuales y los polifosfatos se utilizan para tratar las calderas de agua y para hacer detergentes. Los fosfatos orgánicos son producidos por el ciclo de la vida y la inserción de pesticidas orgánicos. La suma de estas 3 formas de fosfatos se refiere como fosfatos totales. El fósforo generalmente está presente en las aguas naturales en forma de fosfatos. Los fosfatos se encuentran en los fertilizantes y los

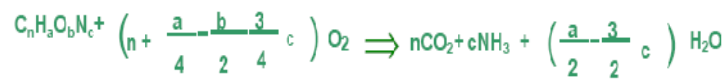
detergentes y pueden llegar al agua con el escurrimiento agrícola, los desechos industriales y las descargas de aguas negras. Los fosfatos, al igual que los nitratos, son nutrientes para las plantas. Cuando entra demasiado fosfato al agua, florece el crecimiento de las plantas. Los fosfatos también estimulan el crecimiento de las algas, lo que puede ocasionar su proliferación. Los crecimientos rápidos de las algas se pueden reconocer con facilidad como capas de limo verde y pueden llegar a cubrir la superficie del agua. Al crecer las plantas y las algas, ahogan a otros organismos. Estas grandes poblaciones de plantas producen oxígeno en las capas superiores del agua pero cuando las plantas mueren y caen al fondo, son descompuestas por las bacterias que usan gran parte del Oxígeno Disuelto (OD) en las capas inferiores.

NITRATOS

El nitrógeno es un elemento necesario para que todas las plantas y los animales vivientes produzcan proteínas. En los ecosistemas acuáticos, el nitrógeno está presente en muchas formas. Puede combinarse con el oxígeno para formar un compuesto llamado nitrato. Los nitratos pueden causar la eutrofización de lagos o pozas. La eutrofización ocurre cuando los nutrientes (tales como los nitratos y fosfatos) se añaden a la masa de agua. Estos nutrientes generalmente provienen del escurrimiento de tierras agrícolas y de pastos, aguas negras, detergentes, desechos de los animales y sistemas sépticos con fuga. Los niveles altos de nutrientes en una masa de agua pueden hacer que la vida vegetal y las algas florezcan. Conforme las plantas crecen pueden ahogar a otros organismos. El crecimiento de algas puede eventualmente cubrir la superficie del agua. Estas grandes poblaciones de plantas producen oxígeno en las capas superiores del agua, pero cuando las plantas mueren y caen al fondo, son descompuestas por bacterias que usan gran parte del oxígeno disuelto (OD) en las capas inferiores. Las masas de agua con niveles altos de nitratos generalmente tienen altos niveles de demanda biológica de oxígeno (DBO) debido a las bacterias que consumen los desechos vegetales orgánicos y a los subsiguientes bajos niveles de OD. Niveles de nitrato de entre 0 y 40 ppm son generalmente seguros para los peces. Cualquier valor superior a 80 ppm puede ser tóxico. Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas. Las concentraciones pueden alcanzar varios cientos de miligramos por litro. En algunos países, hasta un 10% de la población puede estar expuesta a niveles de nitratos en agua potable superiores a 50 mg/l. Los nitratos, así como el amonio, constituyen indicadores apropiados de aguas residuales domésticas. El primero, es típico de las aguas residuales domésticas frescas y es muy móvil y estable en condiciones aeróbicas. El segundo es también típico de aguas residuales frescas, pero se evapora con facilidad y/o se absorbe fácilmente en el subsuelo.¹⁹

¹⁹ *madrid.org*

Reacción de oxidación de la materia orgánica



Generación de nitritos



Generación de nitratos



Figura 3.3: Reacción de oxidación de la materia orgánica para formar nitratos.

CLORUROS

La mayor parte del cloro se presenta como cloruros (Cl⁻) en solución. Este componente entra a las aguas superficiales a través de la deposición atmosférica de los aerosoles oceánicos, a partir de la meteorización de las rocas sedimentarias (la mayor parte de ellas son depósitos de sal), los efluentes industriales, aguas domésticas y la escorrentía de las zonas agrícolas. En las aguas superficiales la concentración de cloruros es generalmente inferior a 10 mg/L y en algunas ocasiones menor de 2 mg/L. Concentraciones más elevadas pueden encontrarse a la salida de las aguas domésticas, en las zonas de drenaje y en las áreas costeras. Como los cloruros están asociados a las aguas domésticas, su incorporación es un indicador de posible contaminación fecal. El ión cloruro se encuentra con frecuencia en las aguas naturales y residuales, en concentraciones que varían desde unos pocos ppm hasta varios gramos por litro. Este ion ingresa al agua en forma natural, mediante el lavado que las aguas lluvias realizan sobre el suelo; sin embargo, como quiera que la superficie de contacto entre el agua y los materiales del suelo es relativamente baja en las aguas superficiales, la concentración de cloruros en estos cuerpos de agua tiende a ser también, relativamente baja, salvo que estas hallan sido afectadas por eventos antrópicos.

Sin embargo, en las aguas subterráneas, en donde la superficie de contacto entre el agua y los materiales del suelo y del subsuelo es mucho mayor, la concentración de ion cloruro suele estar directamente relacionada con la litología predominante y con el tiempo de permanencia del agua en el acuífero. Por otra parte, las excretas humanas y en general las de todos los organismos superiores, (la orina principalmente), poseen una concentración de cloruros que es aproximadamente igual a la que se ingiere en los alimentos; si se supone que cada persona consume en promedio 2,5 gramos de ión cloruro, por día, (g/persona/día), y que cada persona ingiere aproximadamente 5 litros de agua por día, entonces la concentración de cloruros en la orina vendría a ser del orden de los 500 mg/l. Por esta razón, las aguas residuales domésticas imparten a los cuerpos de agua receptores, “una huella característica que las identifica” y que, en muchos casos, puede ser rastreada mediante mediciones de ión cloruro. Las mediciones de

cloruros en el agua son útiles también, en el agua utilizada para el riego de cultivos, en el agua utilizada con fines industriales y fundamentalmente, como “indicador” o “trazador”, en las evaluaciones de contaminación de aguas. Las muestras para la determinación de cloruros no requieren preservación o un tratamiento especial y pueden ser almacenadas a temperatura ambiente. Los análisis pueden hacerse usando los métodos de titulación potenciométrica.

METALES

La procedencia de los metales pesados encontrados en las aguas residuales es variada, asociándose las fuentes de contaminación a pequeñas industrias establecidas en zonas urbanas o en polígonos industriales carentes de plantas de tratamiento, a talleres de automóviles, al pequeño y mediano comercio, a grandes infraestructuras como puertos y aeropuertos, a grandes áreas comerciales, al baldeo y limpieza de calles o a las de tipo propiamente doméstico. Los agentes y las vías de contaminación por metales pesados en las aguas residuales de origen urbano son igualmente diversos, destacando los vertidos ilegales a la red de alcantarillado de aceites lubricantes usados con altos contenidos de plomo –situación claramente en recesión, no sólo por las mejoras introducidas en la gestión de dichos residuos, sino, fundamentalmente, por la introducción de las gasolinas sin plomo–, pinturas y colorantes con ciertos niveles de plomo, vertidos de taladrinas –sustancias utilizadas en la industria metalúrgica como refrigerantes y lubricantes– con alto contenido en metales, pilas botón con elevados niveles de níquel, cadmio o mercurio procedentes del ámbito doméstico, residuos originarios de la industria del decapado, etc.. También merece la pena considerar otras vías de contaminación como la procedente de la corrosión de tuberías y depósitos metálicos, así como la proveniente del arrastre por el baldeo de calles o por las aguas pluviales, siendo un buen ejemplo de ello el Pb (Plomo) procedente de la combustión de las gasolinas o los metales provenientes de procesos de corrosión diversos, depositados en el medio urbano. La capacidad de las aguas naturales para soportar la vida acuática y su sostenibilidad para otros usos, depende de la presencia de muchos elementos traza. Algunos metales como Mn, Zn y Cu, cuando se encuentran en concentraciones traza son importantes para las funciones fisiológicas de los tejidos vivos y para la regulación de muchos procesos bioquímicos. Sin embargo, cuando estos metales se descargan en las aguas naturales incrementando su concentración, pueden tener efectos toxicológicos graves sobre los humanos y los ecosistemas acuáticos. La contaminación de las aguas por metales pesados es el resultado de actividades antrópicas, que determinan problemas ecológicos severos en muchas partes del mundo. Esta situación es agravada por la dificultad de su eliminación natural. Generalmente las cantidades traza de metales están siempre presentes en las aguas superficiales, debido a la meteorización de las rocas y los suelos. Además, en el caso de los países desarrollados las descargas industriales y mineras resultan ser las principales fuentes de trazas de metales en las aguas superficiales. La toxicidad de los metales en el agua depende del grado de oxidación del ion metálico y de las formas en las cuales se encuentra. Las fuentes habituales de aguas residuales que contienen grandes cantidades de metales como el cromo, cadmio, cobre, mercurio, plomo y zinc proceden, principalmente, de limpieza de metales, recubrimientos, curados, refinado de fosfato y bauxita, generación de cloro, fabricación de baterías y teñidos. Los efectos que provocan sobre el medio ambiente son los siguientes: mortalidad de los peces, envenenamiento de ganado,

mortalidad de plancton, acumulaciones en el sedimento de peces y moluscos. Otra serie metales como el hierro, calcio, magnesio o manganeso también están presentes en aguas residuales de las industrias de metalúrgica, fabricación de cemento, cerámicas y bombeos de gasolina. Sus efectos, menos peligrosos que los anteriores, principalmente son el cambio en las características del agua: color, dureza, salinidad e incrustaciones. En la siguiente tabla se muestran los límites de concentración de algunos metales que inhiben el tratamiento biológico:

Tabla 3.15: Cantidad limite permisible para la inhibición por tratamiento biológico.

Sustancia	Concentración de inhibición (mg/L)
Cadmio (Cd^{2+})	2-5
Bicromato (CrO_4^{2-})	3-10
Cobre (Cu^{2+})	1-5
Niquel (Ni^{2+})	2-10
Zinc (Zn^{2+})	5-20

Fuente: *Análisis Fisicoquímico de Aguas Residuales, 2010.*

Es por ello que a menudo resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de estas sustancias. Las cantidades de muchos de estos metales pueden determinarse, a concentraciones muy bajas, empleando métodos instrumentales entre los que destacan la espectroscopía de emisión de plasma con detención óptica o con detención de masas y la espectroscopía de absorción atómica.²⁰ A continuación se describen cada uno de los metales de interés para la presente investigación:

HIERRO

Es un catión muy importante desde el punto de vista de contaminación, aparece en dos formas: ión ferroso, Fe^{++} , o más oxidado como ión férrico, Fe^{+++} . La estabilidad y aparición en una forma u otra depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras, composición de la solución, etc. Afecta a la potabilidad de las aguas y es un inconveniente en los procesos industriales por provocar incrustaciones. Por todo lo anterior, las aguas subterráneas sólo contienen el ión ferroso disuelto, que suele aparecer con contenidos entre 0 y 10 ppm, pero al airear el agua se precipita el hidróxido férrico de color pardo-rojizo, y se reduce el contenido a menos de 0,5 ppm. Para que parezcan contenidos de hierro de varias docenas de ppm hacen falta que el medio sea ácido.²¹

²⁰ *madrimasd.org*

²¹ *bonsaimenorca.com*

MERCURIO

El mercurio (azogue) se ha visto siempre con fascinación y asombro porque es el único metal líquido en condiciones ambientales. El mercurio líquido no es venenoso pero sus vapores y sus compuestos son muy tóxicos, por lo que en la Edad Media se utilizaban como agentes de asesinato y de suicidio. Como el mercurio y sus compuestos son casi insolubles en agua no eran considerados, durante mucho tiempo, como contaminantes y mucho menos como contaminantes potenciales. El mercurio se utilizaba como componente de las amalgamas dentales.

Los investigadores encontraron que el mercurio y algunos compuestos inorgánicos de mercurio pueden ser metilados (formar metilmercurio, $H_3C-Hg-CH_3$, es muy venenoso) por bacterias anaerobias en el lodo del fondo de los lagos y también por los peces y los mamíferos. Por lo que, los desechos que contienen mercurio o sus derivados que se han ido acumulando en los fondos fangosos de los lagos constituyen fuentes potenciales de contaminación y por procesos bioquímicos pueden incorporarse a las diversas cadenas alimenticias. Además los compuestos de mercurio son del tipo de sustancias acumulables en los organismos y pueden llegar a alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para ser venenosos. La contaminación del agua por mercurio es producido por industrias químicas que producen cloro, fábricas de fungicidas y de pinturas contra hongos, de plásticos, por minas de cinabrio (sulfuro de mercurio, HgS), en la extracción de oro y de plata por el método de amalgamación y por las refinerías del petróleo. Se considera que la mitad del mercurio extraído es arrojado al medio ambiente, una parte en forma de vapor a la atmósfera y otra en los desechos industriales al suelo y al agua. Los compuestos de mercurio son muy tóxico a ciertas concentraciones, en los peces ocasionan alteraciones en los epitelios branquiales y dérmicos y hasta la muerte. En el hombre los compuestos de mercurio provocan alteraciones en la mucosa intestinal e inhibición de ciertas enzimas; y en las mujeres embarazadas puede provocar trastornos teratogénicos graves, también se considera que puede producir alteraciones genéticas, lesiones renales y del sistema nervioso central y hasta la muerte. Los compuestos alquilmercúricos son muy tóxicos y de larga duración, son de efectos destructivos del cerebro y del sistema nervioso central, donde tienden a acumularse. Se usaban como desinfectantes de semillas pero se prohibió el uso de todos los derivados del mercurio en la agricultura. Sólo se permite el uso del cloruro mercúrico y mercurioso para controlar hongos en el pasto.

CADMIO

La contaminación del agua por cadmio es provocada por las principales áreas de aplicación que arrojan sus desechos a las alcantarillas, como son el acabado de metales, la electrónica, la manufactura de pigmentos (pinturas y agentes colorantes), de baterías (cadmio níquel), de estabilizadores plásticos, de plaguicidas (fungicidas), la electrodeposición o la aleaciones de fierro, en la producción de fierro y zinc, y en el uso de reactores nucleares. Los alquil y aril cadmios se usan como catalizadores y sus sales de los ácidos orgánicos (laurato, estearato, palmitato, fenolato, naftenato y benzoato de cadmio) como estabilizadores térmicos y de luz en los plásticos como el cloruro de polivinilo. El uso de estabilizadores de bario-cadmio en plásticos contaminan los alimentos almacenados en ellos. El cadmio es tóxico y el envenenamiento se produce al

inhalarlo o ingerirlo, tiene gran tendencia a formar compuestos complejos acuosos en los que se une de uno a cuatro ligandos. Sus compuestos más importantes en la industria son el cianuro, la amina y varios complejos de haluros. En 1965 se informó en Japón de la muerte de más de 100 personas por contaminación por cadmio, el cual afecta principalmente a los huesos. El cadmio es tóxico para todas las formas de vida y en el hombre puede provocar daños en el aparato digestivo, en riñones y en los huesos (produce descalsificación y lesiones en la médula ósea) e inhibir algunos procesos enzimáticos. La inhalación de sus vapores produce severas lesiones en los pulmones. Además se ha observado que el cadmio tiene relación con la hipertensión arterial, la que origina enfermedades cardíacas.

PLOMO²²

Las sales solubles en agua de los metales pesados como el plomo, cadmio y mercurio son muy tóxicos y acumulables por los organismos que los absorben, los cuales a su vez son fuente de contaminación de las cadenas alimenticias al ser ingeridos por alguno de sus eslabones. Al ser ingeridos por el hombre en el agua y alimentos contaminados por los compuestos de mercurio, plomo o cadmio le provocan ceguera, amnesia, raquitismo, miastenia o hasta la muerte. El plomo es un metal escaso, se calcula en un 0.00002 % de la corteza terrestre, tiene un punto normal de fusión de 327.4 °C, un punto normal de ebullición de 1770 °C y una densidad de 11.35 g/ml. Forma compuestos con los estados de oxidación de +2 y +4, siendo los más comunes los del estado de oxidación +2. El plomo es anfótero por lo que forma sales plumbosas y plúmbicas, así como plumbitos y plumbatos. Se encuentra en minerales como la galena (sulfuro de plomo, PbS) que se utiliza como fuente de obtención del plomo, la anglosita (sulfato de plomo II, PbSO₄) y la cerusita (carbonato de plomo, PbCO₃). Gran parte del plomo se obtiene por reciclado de chatarras como las placas de baterías y de las escorias industriales como soldaduras, metal para cojinetes, recubrimientos de cables, etc.

a contaminación del agua por plomo no se origina directamente por el plomo sino por sus sales solubles en agua que son generadas por las fábricas de pinturas, de acumuladores, por alfarerías con esmaltado, en fototermografía, en pirotécnia, en la coloración a vidrios o por industrias químicas productoras de tetraetilo de plomo (se usa como antidetonante en gasolinas) y por algunas actividades mineras, etc. Las dos principales vías de acceso de los compuestos de plomo al organismo son el tracto gastrointestinal y los pulmones. Cerca del 10 % del plomo ingerido es excretado en la orina y en menor cantidad en el sudor, en el pelo y en las uñas. El 90 % del plomo que se encuentra en el cuerpo humano se deposita en el esqueleto óseo y es relativamente inerte, y el que pasa a través del torrente sanguíneo puede depositarse en los tejidos.

Desde hace mucho tiempo se sabe que el plomo es venenoso, tiene efectos tóxicos para las plantas, el plancton y demás organismos acuáticos. Los compuestos de plomo en los peces les origina la formación de una película coagulante y les provoca alteraciones hematológicas. En el hombre provoca saturnismo, enfermedad que engloba trastornos nerviosos, digestivos y renales. La Organización Mundial de la Salud recomienda que para los niños el nivel de plomo en sangre no

²² *Contaminación por metales: sagan-gea.org*

debe rebasar los 30 mg/100 ml de sangre y tomar medidas drásticas cuando el nivel de plomo en la sangre de los adultos alcanza los 40 mg/100 ml de sangre. Limitan la exposición a compuestos inorgánicos de plomo a 50 mg/m³ de aire durante un tiempo promedio de 8 horas para un trabajador sin mascarilla para respirar. Las medidas sanitarias para controlar la exposición a compuestos de plomo recomiendan el uso de ventilación, de mascarillas para respirar y ropa apropiada.

CROMO

El cromo es sumamente importante en los cuerpos de agua, en su forma iónica Cr (III) poco soluble y muy estable por ser un elemento traza esencial y como Cr (VI) menos estable pero más soluble, por ser un contaminante ambiental tóxico, cancerígeno. Es esencial para mantener los niveles correctos del metabolismo de la glucosa, lípidos y proteínas, entre 50 y 200 µg Cr (III) /día. Los problemas ecológicos con el Cr (VI) están relacionados con el desarrollo industrial en general y con la industria de cromo en particular. Esta forma del cromo, puede alterar seriamente el equilibrio biológico causando efectos tóxicos tanto en plantas como en animales, ya que es rápidamente absorbido por las membranas biológicas. Las industrias relacionadas con el cromo (curtiembres, galvanoplastías, metalúrgicas, producción de pigmentos, fertilizantes e incineración de productos industriales como aceites y cueros) son consideradas contaminantes para el suelo y las aguas superficiales. Los problemas de contaminación de aguas y suelos por acción del cromo han llevado a los países de América Latina a encarar proyectos de evaluación y tratamientos de los recursos deteriorados y a desarrollar políticas para su recuperación. Se deberían implementar sistemas de control y tratamientos de emisiones gaseosas y de efluentes industriales a fin de disminuir la contaminación debida al cromo y otros metales pesados.

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO).

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 de tratamiento de aguas residuales. El proceso de oxidación de la materia orgánica es dependiente del tiempo y puede ser descrito mediante la siguiente ecuación:

$$dC/dt = -KC \quad (1)$$

que significa: variación de la concentración de materia orgánica respecto al tiempo dc/dt es igual a una constante k por la concentración de la materia orgánica a un tiempo dado.

Al integrar la ec. 1 se tiene:

$$C = C_0 e^{-kt},$$

donde:

C₀: concentración inicial de materia orgánica biodegradable mg/L.

K: tasa de degradación de la materia orgánica día⁻¹.

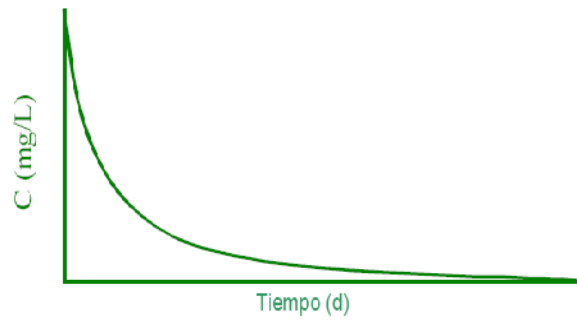


Figura 3.4: Degradación de la materia orgánica en el agua.

La figura 3.4, representa gráficamente el consumo de materia orgánica. El parámetro de interés es el consumo de oxígeno, por tanto se suele expresar la DBO en términos de la última demanda L, sustituyendo en la ec. (1) la concentración por L se tiene la siguiente expresión:

$$Y = L(1 - e^{-kt})$$

Donde:

Y: es la DBO a cualquier tiempo t.

L: es la DBO última.

Comportamiento de la DBO:

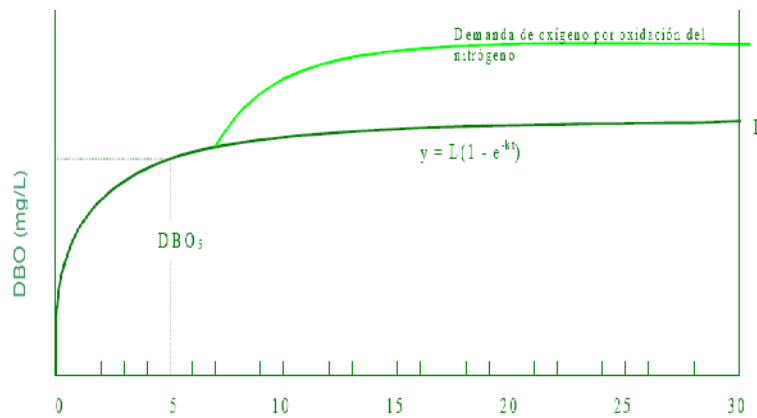


Figura 3.5: Curva de la DBO.

La prueba de la DBO es un procedimiento experimental, tipo bioensayo, que mide el oxígeno requerido por los organismos en sus procesos metabólicos al consumir la materia orgánica presente en las aguas residuales o naturales. Las condiciones estándar del ensayo incluyen incubación en la oscuridad a 20°C por un tiempo determinado, generalmente cinco días. Las condiciones naturales de temperatura, población biológica, movimiento del agua, luz solar y la concentración de oxígeno no pueden ser reproducidas en el laboratorio. Los resultados obtenidos deben tomar en cuenta los factores anteriores para lograr una adecuada interpretación. Existen numerosos factores que afectan la prueba de la DBO, entre ellos la relación de la materia orgánica soluble a la materia orgánica suspendida, los sólidos sedimentables, los flotables, la presencia de hierro en su forma oxidada o reducida, la presencia de compuestos azufrados y las aguas no bien mezcladas. Al momento no existe una forma de corregir o ajustar los efectos de estos factores.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)

La DQO es una medida aproximada del contenido de materia orgánica presente en una muestra de agua. En condiciones naturales, dicha materia orgánica puede ser biodegradada lentamente, (oxidada), a Dióxido de Carbono (CO₂) y Agua (H₂O), mediante un proceso lento que puede tardar, desde unas pocas semanas hasta unas cuantas décadas de años, dependiendo del tipo de materia orgánica presente. En las pruebas de DQO se acelera artificialmente la biodegradación que realizan los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada. La DQO así determinada, se expresa como "el oxígeno equivalente al contenido de materia orgánica", en miligramos por litro. El valor obtenido es siempre superior a la demanda biológica de oxígeno (aproximadamente el doble), ya que se oxidan por este método también las sustancias no biodegradables. La relación entre los dos parámetros es indicativa de la calidad del agua. En las aguas industriales puede haber una mayor concentración de compuestos no biodegradables. Es un método aplicable en aguas continentales (ríos, lagos o acuíferos), aguas negras, aguas pluviales o agua de cualquier otra procedencia que pueda contener una cantidad apreciable de materia orgánica. El método DQO se usa a menudo para medir los contaminantes en las aguas naturales y residuales y para evaluar la fuerza de desechos tales como aguas residuales municipales e industriales. El método DQO se usa también en aplicaciones en centrales eléctricas, industria química, industria papelera, lavanderías, estudios medioambientales y educación general. En las plantas potabilizadoras de agua, los valores DQO deberán ser inferiores a 10 mg/l al final del ciclo de tratamiento.²³ Esta determinación es muy útil para la apreciación del funcionamiento de las estaciones depuradoras. No es aplicable, sin embargo, a las aguas potables, ya que al tener un contenido tan bajo de materia oxidable la precisión del método no sería adecuada. En este caso se utiliza el método de oxidabilidad con permanganato potásico. La DQO varía en función de las características de las materias presentes, de sus proporciones respectivas, de sus posibilidades de oxidación y de otras variables.

OXIGENO DISUELTO

El oxígeno disuelto proviene de la mezcla del agua con el aire ocasionada por el viento y, en la mayoría de los casos, principalmente del oxígeno que liberan las plantas acuáticas en sus procesos

²³ hannainst.es/biblioteca

de fotosíntesis. La solubilidad del oxígeno como la de cualquier gas en el agua, depende de la presión imperante en cada punto, de la temperatura media del cuerpo de aguas y de su contenido en sales disueltas. En términos generales la solubilidad del O₂ es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura y a la salinidad del agua. El oxígeno es un elemento crítico para la supervivencia de las plantas y animales acuáticos y la falta de oxígeno disuelto, además de ser un indicador de polución, es dañino para los peces. Algunas especies acuáticas son más sensibles que otras a la falta de oxígeno pero se puede dar algunas pautas generales a tener en cuenta al analizar los resultados de los ensayos:

Tabla 3.16: Efecto de la concentración de oxígeno disuelto en los cuerpos superficiales.

CONCENTRACION DE OXIGENO	EFEECTO
5 – 6 ppm	Suficiente para la mayor parte de las especies
< 3 ppm	Dañino para la mayor parte de las especies acuáticas
<2 ppm	Fatal a la mayor parte de las especies

Fuente: Análisis Físicoquímico de Aguas Residuales, 2010.

Debido a su importancia en la supervivencia de los peces, los dueños de acuarios, ó criadores de peces”, usan el ensayo de oxígeno disuelto como un indicador importante de la capacidad del sistema para mantener la vida de los peces. Cuando el agua contaminada con materia orgánica es descargada en el agua receptora, el nivel de oxígeno baja, alterando toda la estructura de la comunidad acuática y se altera también toda la masa de agua. Para muchos fines industriales el O₂ en el agua suele ser inadecuado, debido a los problemas de corrosión asociados, que afectan las tuberías, calderas y demás partes metálicas.

Tabla 3.17: Solubilidad del oxígeno a diferentes temperaturas.

TEMPERATURA (°C)	OXIGENO DISUELTO (mg/L)
10	11.3
20	9.2
30	7.6

Fuente: Análisis Físicoquímico de Aguas Residuales, 2010.

3.5.3 MEDICIONES MICROBIOLÓGICAS DE LA CALIDAD DEL AGUA.

Existe una diversidad de microorganismos y virus presentes en las aguas residuales las cuales pueden causar efectos nocivos a la salud de las personas que entran en contacto con las mismas, afectando también los ecosistemas de las aguas superficiales.

A continuación se describe el parámetro microbiológico de interés para la presente investigación:

COLIFORMES FECALES

El crecimiento de la población a nivel mundial y el aumento del uso del agua para diferentes actividades, ha incrementado los niveles de contaminación. Esta contaminación está relacionada con los vertidos de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población. El control de la calidad microbiológica del agua de consumo y de vertido, requiere una serie de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos. El diagnóstico de estos microorganismos, requiere laboratorios especializados y representa varios días de análisis y costos elevados.

Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características:

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas (su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal).
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana por los siguientes factores:

1. Son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente.
2. Están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades.
3. Permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas.
4. Se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Los coliformes fecales y *E. coli* en particular, se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su relación con el grupo tifoide-paratifoide y a su alta concentración en diferentes tipos de muestras. Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella*. Ya que los coliformes fecales se encuentran casi exclusivamente en las heces de animales de sangre caliente, se considera que reflejan mejor la presencia de contaminación fecal. Otro de los aspectos negativos del uso de los coliformes totales como indicador es el hecho de que algunos coliformes son capaces de multiplicarse en el agua. Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por

su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Algunos géneros son autóctonos de aguas con residuos vegetales, como hojas en descomposición. También pueden reproducirse en las biopelículas que se forman en las tuberías de distribución de agua potable. Su uso se ha restringido para aguas tratadas y aguas minerales, para aguas superficiales o para evaluar la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales deben usarse los coliformes fecales. Solamente deberá recurrirse a los coliformes totales si no hay condiciones para cuantificar los coliformes fecales. La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de estar presentes, su número no puede ser superior a 2-3 coliformes. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectas en días consecutivos. En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias. Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución.²⁴

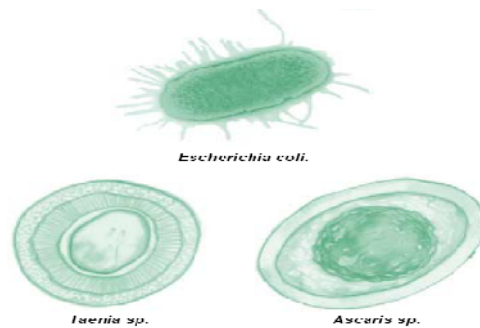


Figura 3.6: Microorganismos indicadores: Coliformes fecales y huevos helminto.

²⁴ bvsde.paho.org

3.6 METODOLOGIA DE MUESTREO

1. Se Definieron y ubicaron de forma correcta los puntos de muestreo según la dirección en que se desplaza la escorrentía superficial en la zona de estudio.
2. Se verificaron las horas de muestreo apropiadas de acuerdo a la actividad industrial, según el estudio y diagnóstico de la zona.
3. Se realizó la recolección de las muestras en recipientes adecuados, limpios y secos.(proporcionados por el laboratorio). Para la determinación de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos se utilizaron recipientes plásticos, siendo para el último tipo de análisis previamente esterilizados, mientras que para el análisis de grasas y aceites se utilizaron recipientes de vidrio.
4. Se contó con la indumentaria y equipo necesario para la realización del muestreo: guantes, botas, mascarilla, termómetro, viñetas, hielera y recipientes adecuados según análisis
5. Se homogenizaron 2 veces los recipientes de recolección de muestras con el agua del Río Acelhuate.
6. Se Recolecto la muestra de la siguiente forma:
 - Los recipientes fueron sumergidos a cierta profundidad en contracorriente evitando espacios donde pueda existir entrada de oxígeno del ambiente ya que ello podía interferir con los resultados de los parámetros medidos.
 - Además se tomó en cuenta que la profundidad a la cual fueron sumergidos los recipientes fuera tal que no hiciera contacto con el suelo del Río para evitar contaminación del agua muestreada, también fue tomada la temperatura en cada punto de muestreo mediante la ayuda de un termómetro de mercurio.
 - Se excluyeron las partículas grandes; es decir, mayores de 6 milímetros (un cuarto de pulgada) y cualquier tipo de material flotante, ya que se relacionan con el volumen del recipiente.
 - Luego de tomadas las muestras fueron cerrados dentro del río, y luego fueron colocadas dentro de una hielera con su respectiva identificación hasta llegar al laboratorio encargado de realizar los análisis.
7. Los resultados de la calidad de las aguas residuales fueron comparados para ambas épocas del año.

3.7 PUNTOS DE MUESTREO

En base a la dirección en que corre la escorrentía superficial se identificaron tres puntos donde se considera que se reciben mayores aportes de cargas contaminantes de la zona en estudio, además no se puede dejar de mencionar que en dos de los puntos seleccionados se tienen severos problemas de inundación durante la época de invierno; se utilizó dicho parámetro ya que no se pudo contar con planos de la red de tuberías y alcantarillado del Distrito Cinco.


3.8 FRECUENCIA DEL MUESTREO

Se muestrearon los tres puntos seleccionados en ambas épocas del año, en total fueron 6 muestras para la época seca y 6 muestras para la época lluviosa proporcionando un total de 12, muestreándose dos veces para cada punto de muestreo.

3.9 TIPO DE MUESTRA

El tipo de muestra utilizada se clasifica como simple ya que fue tomada de forma inmediata del Río y luego almacenada en depósitos plásticos los cuales fueron proporcionados por el Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES.

Tabla 3.18: Ubicación de los puntos de muestreo.

PUNTO	UBICACION	FOTOGRAFIA DE PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS
<p>1. Barrio La Vega (M1, M4)</p>	<p>Confluencia aguas abajo de los Ríos Arenal Monserrat y Rio Acelhuate.</p>		<p>13.693498, -89.182554</p>
<p>2. Barrio Candelaria (M2, M5)</p>	<p>Rio Acelhuate en las proximidades de la Plaza El Trovador y fabrica Tecumsal.</p>		<p>13.687708, -89.192982</p>
<p>3. Zoológico (M3, M4)</p>	<p>Confluencia aguas arriba del Rio Ilohuapa y Rio Acelhuate</p>		<p>13.683179, -89.194828</p>

Fuente: propia.

3.10 PARAMETROS MEDIDOS

Tabla 3.19: Parámetros de calidad de agua medidos.

Tipo de Análisis	Parámetro
Fisicoquímicos	PH Fosfatos Nitratos Sólidos disueltos Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Oxígeno Disuelto (OD) Hierro Mercurio Plomo Cadmio Cromo Cloro residual Turbidez Grasas y Aceites
Microbiológicos	Coliformes fecales

Fuente: Propia

3.11 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA GENERAL “ICA”²⁵

El Índice de calidad de agua propuesto por Brown es una versión modificada del “WQI” que fue desarrollada por La Fundación de Sanidad Nacional de EE.UU. (NSF), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA). Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de comparar lo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no.

Para la determinación del “ICA” intervienen 9 parámetros, los cuales son:

²⁵ SNET

- Coliformes Fecales (en NMP/100 mL).
- pH (en unidades de pH).
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/ L).
- Nitratos (NO3 en mg/L).
- Fosfatos (PO4 en mg/L).
- Cambio de la Temperatura (en °C).
- Turbidez (en FAU).
- Sólidos disueltos totales (en mg/ L).
- Oxígeno disuelto (OD en % saturación).

3.11.1 ESTIMACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA GENERAL “ICA”

El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio. Posteriormente al calculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla:

Tabla 3.20: Clasificación del “ICA” propuesto por Brown.

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Fuente: SNET,2005.

Las aguas con “ICA” mayor que 90 son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella. Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas. Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación. Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

El valor del ICA se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i})$$

Donde:

w_i = Pesos relativos asignados a cada parámetro cuya sumatoria es igual a 1.

sub_i = Subíndice del parámetro i

Tabla 3.21: Parámetros utilizados para la definición del ICA.

Parámetro	Unidades	Wi
Oxígeno disuelto	% saturación	0.17
Coliformes fecales	NMP/100ml	0.15
Ph	unidades de pH	0.12
DBO ₅	mg/L	0.10
Nitratos	mg/L	0.10
Fosfatos	mg/L	0.10
Cambio de temperatura	°C	0.10
Turbidez	UNT	0.08
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	0.08

Fuente: SNET, 2005

Tabla 3.22: Resultados de los parámetros de calidad analizados por FUSADES.

Parámetro	Método	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
pH	Electrométrico	-----	7.83	7.70	7.60	7.54	7.77	7.72
Fosfatos	Acido Ascórbico	mg/l	13.08	4.05	4.47	17.08	5.66	5.89
Nitratos	Espectrofotometría UV	mg/l	7.67	2.46	1.80	3.69	0.66	0.98
Sólidos disueltos	Secado a 180°C	mg/l	702.00	381.50	357.00	633.5	304.00	324.50
DBO	Prueba de 5 días	mg/l	291.54	106.51	80.64	279.00	48.00	37.47
DQO	Reflujo cerrado	mg/l	507.87	122.05	94.49	385.72	60.03	54.56
Oxígeno Disuelto	Electromembrana	mg/l	0.60	271.00	1.20	0.23	1.55	0.49
Turbidez	Nefelometrico	UNT	126	136.00	120.00	380.00	37.10	34.10
Hierro	Espectrofotometría de absorción atómica	mg/l	0.59	0.50	0.26	0.77	0.19	0.24
Mercurio	Espectrofotometría de absorción atómica	mg/l	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cadmio	Espectrofotometría de absorción atómica	mg/l	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.00
Cromo	Espectrofotometría de absorción atómica	mg/l	0.00	ND	ND	0.03	0.00	0.00
Plomo	Espectrofotometría de absorción atómica	mg/l	0.00	0.00	0.00	ND	ND	ND
Cloro residual libre	DPD	mg/l	0.01	ND	ND	ND	ND	ND
Coliformes fecales (Termolerantes)	Tubos de fermentación múltiple	UFC/ml	90,000,000	90,000,000	30,000,000	2,400,000	3,000,000	2,400,000

Primer muestreo : Marzo/ 2010
M1: La Vega
M2: Candelaria
M3: Zoológico

Segundo muestreo: Abril/2010
M4: La Vega
M5: Candelaria
M6: Zoológico

Tabla 3.23: Valores máximos permisibles de descargas de metales en aguas residuales.

PARAMETRO	UNIDADES	VALOR MAXIMO PERMISIBLE (CONACYT)	VALOR MAXIMO PERMISIBLE (ANDA)	PRIMER MUESTREO, MARZO 2010			SEGUNDO MUESTREO, ABRIL 2010		
				M1	M2	M3	M4	M5	M6
Hierro	mg/l	10	20	0.59	0.50	0.26	0.77	0.19	0.24
Mercurio	mg/l	0.01	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Cadmio	mg/l	0.1	1.0	0.00	ND	0.00	0.00	0.00	0.00
Cromo	mg/l	1	3	0.00	ND	ND	0.03	0.00	0.00
Plomo	mg/l	0.4	1.0	0.00	0.00	0.00	ND	ND	ND

Fuente: Propia

CONACYT: Valores máximos de metales para aguas residuales de tipo ordinario, descargadas a un cuerpo receptor.

ANDA: *NORMA PARA REGULAR CALIDAD DE AGUAS RESIDUALES DE TIPO ESPECIAL DESCARGADAS AL ALCANTARILLADO SANITARIO*. Los niveles máximos permisibles de los parámetros de ésta Norma deben ser alcanzados por medio de los tratamientos respectivos o adecuación de procesos. Vigencia de la Norma será a partir del 1° de enero del 2005.

A partir de los resultados obtenidos se concluye que todas las muestras se encuentran dentro de los valores máximos permisibles, por lo tanto no existe una elevada contaminación causada por metales pesados.

Primer muestreo : Marzo/ 2010
M1: La Vega
M2: Candelaria
M3: Zoológico

Segundo muestreo: Abril/2010
M4: La Vega
M5: Candelaria
M6: Zoológico

Tabla 3.24: Comparación de los parámetros analizados con la normativa Salvadoreña.

Parámetro	ANDA potable	ANDA vertidos	CONACYT	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6
pH	8,5	5,5-9,0	5,5-9,5	-----	7.83	7.70	7.60	7.54	7.77	7.72
Fosfatos (fosforo total)	-----	45	15	mg/l	13.08	4.05	4.47	17.08	5.66	5.89
Nitratos (nitrogeno total)	-----	100	50	mg/l	7.67	2.46	1.80	3.69	0.66	0.98
Solidos disueltos	1000	-----	-----	mg/l	702.00	381.50	357.00	633.5	304.00	324.50
DBO	-----	400	60	mg/l	291.54	106.51	80.64	279.00	48.00	37.47
DQO	-----	1000	150	mg/l	507.87	122.05	94.49	385.72	60.03	54.56
Oxigeno Disuelto	-----	-----	-----	mg/l	0.60	271.00	1.20	0.23	1.55	0.49

Primer muestreo : Marzo/ 2010

M1: La Vega
M2: Candelaria
M3: Zoológico

Segundo muestreo: Abril/2010

M4: La Vega
M5: Candelaria
M6: Zoológico

3.11.2 DETERMINACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA DEL RÍO ACELHUATE EN LA ZONA URBANA DEL DISTRITO 5, TRAMO ZOOLOGICO- ARENAL MONSERRAT (SUBCUENCA SUR).

Tabla 3.25: Valoración de la calidad del agua del Rio Acelhuate según ICA.

VALORES ICA						
Puntos de muestreo	Punto 1	Calidad	Punto 2	Calidad	Punto 3	Calidad
Época seca, Marzo 2010						
Muestreo 1	16	PESIMA	21	PESIMA	26	MALA
Época seca, Abril 2010						
Muestreo 2	14	PESIMA	24	PESIMA	27	MALA

Fuente: Propia

**ICA, EPOCA SECA
PRIMER MUESTREO**

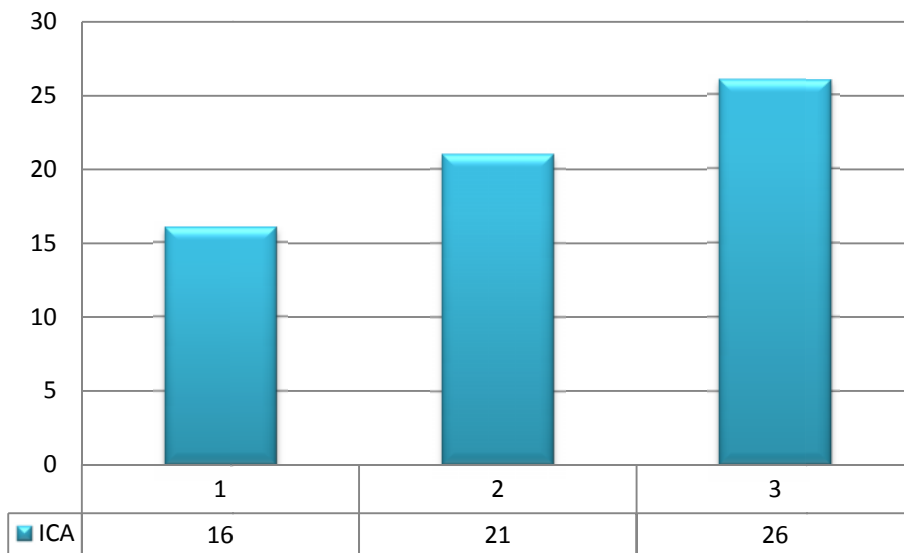


Figura 3.7: Grafico del Índice de Calidad del Agua, primer muestreo Marzo 2010.

ICA, EPOCA SECA SEGUNDO MUESTREO

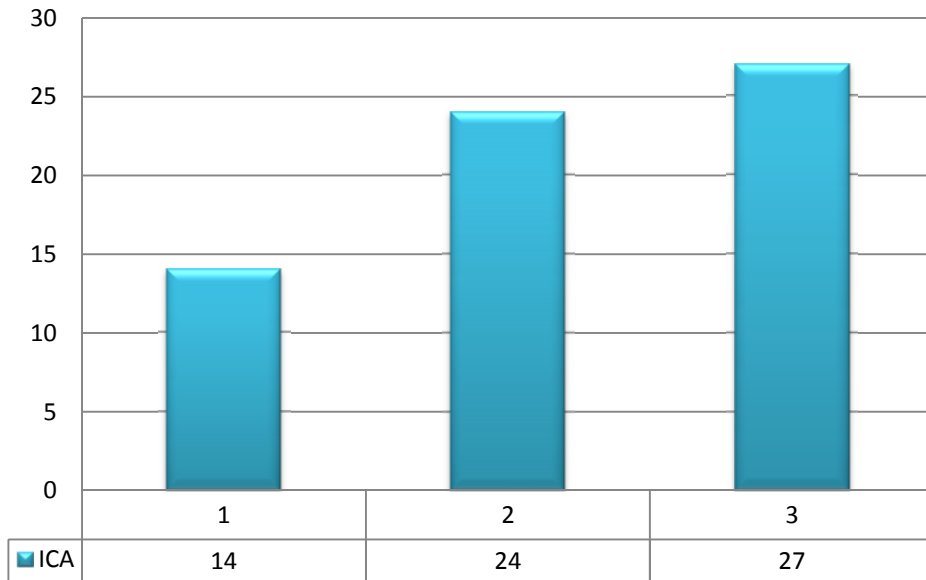


Figura 3.8: Grafico del Índice de Calidad del Agua, segundo muestreo Abril 2010.

3.11.3 INTERPRETACION DE RESULTADOS ICA.

Los valores encontrados mediante el calculo del Indice de Calidad de Agua (ICA), manifiestan una condición PESIMA para las aguas del rio Acelhuate en las zonas correspondientes a los puntos 1 y 2, representando respectivamente a los barrios La Vega y Candelaria, por lo que se establece lo siguiente para este tipo de calidad:²⁶

“Las aguas con ICA que caen en la categoría PESIMA, pueden solamente apoyar un numero limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no son consideradas aceptables para ningún tipo de actividad.”

Para el punto 3 que representa la zona del Parque Zoológico, la calidad del agua encontrada esta comprendida en el rango de MALA calidad, aunque cabe destacar que sus valores se encuentran cerca del limite de las calidades pésima y mala.

Para las aguas consideradas de mala calidad el SNET establece que:

“Solamente pueden apoyar una diversidad baja de vida acuática y se encuentran experimentando graves problemas de contaminación.”

²⁶ SNET, 2010

3.11.4 INTERPRETACION DE PARAMETROS ANALIZADOS

POTENCIAL DE HIDROGENO (pH)

pH de muestreo vrs. Normativas Salvadoreñas

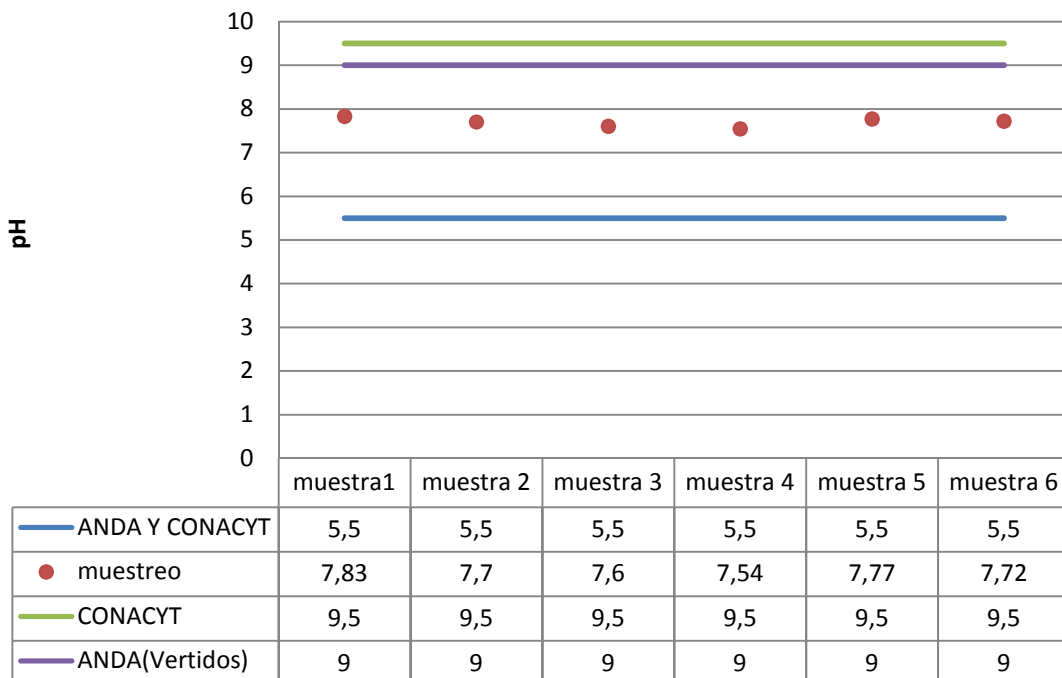


Figura 3.9: Grafica de pH analizado en muestras.

De acuerdo a lo establecido en la normativa de ANDA y la del CONACYT el límite inferior de pH que pueden tener las aguas de origen residual es de 5,5, mientras que el valor establecido por ANDA como máximo es de 9 y el establecido por la NSO es de 9,5. En la grafica puede observarse que todas las muestras cumplen con la normativa vigente ya que los valores oscilan entre 7 y 8. Los valores mas altos de pH los tienen las muestras 1 (Barrio La Vega) y muestra 5 (Barrio Candelaria).

FOSFATOS

Fosfatos en muestreo vrs. Normativa Salvadoreña

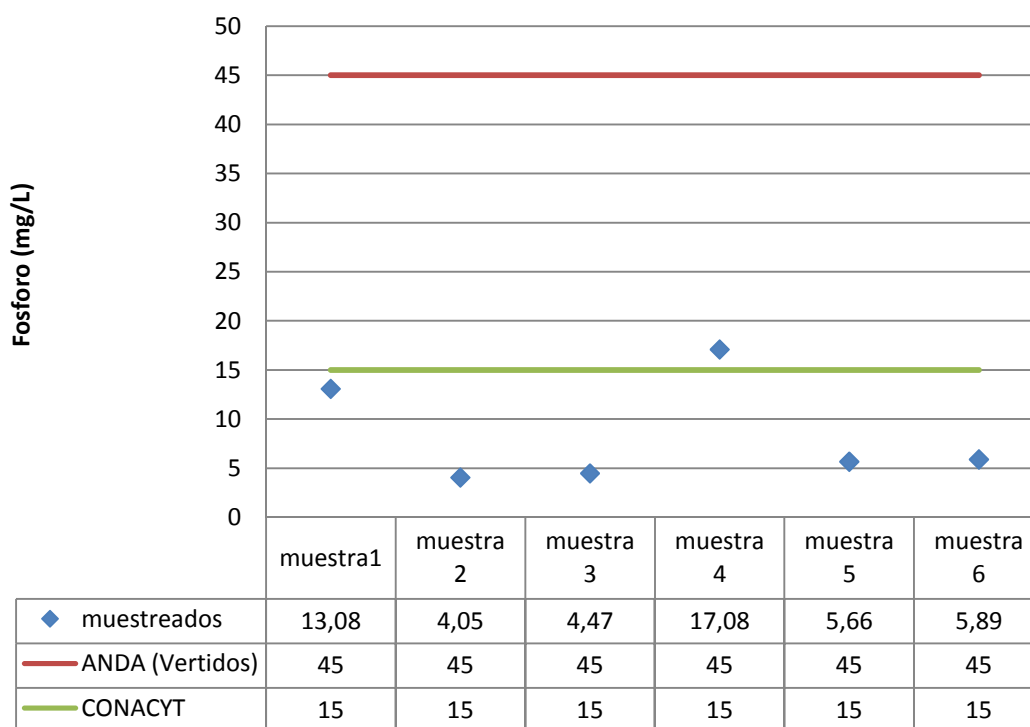


Figura 3.10: Grafico de Fosfatos analizados en muestras.

A partir de la grafica se observa que solo la muestra 4 tomada en el Barrio Candelaria excede al limite máximo permisible establecida en la normativa del CONACYT, mientras que todas las muestras están dentro del rango permitido de acuerdo a lo establecido por ANDA. Los fosfatos provienen principalmente de escurrimientos agrícolas, desechos industriales y descargas de origen domestico, además favorecen el crecimiento de algas que ocasionan una disminución del Oxígeno Disuelto en el cuerpo de agua.

SOLIDOS DISUELTOS TOTALES

Sólidos disueltos de muestreo vrs. Normativa Salvadoreña

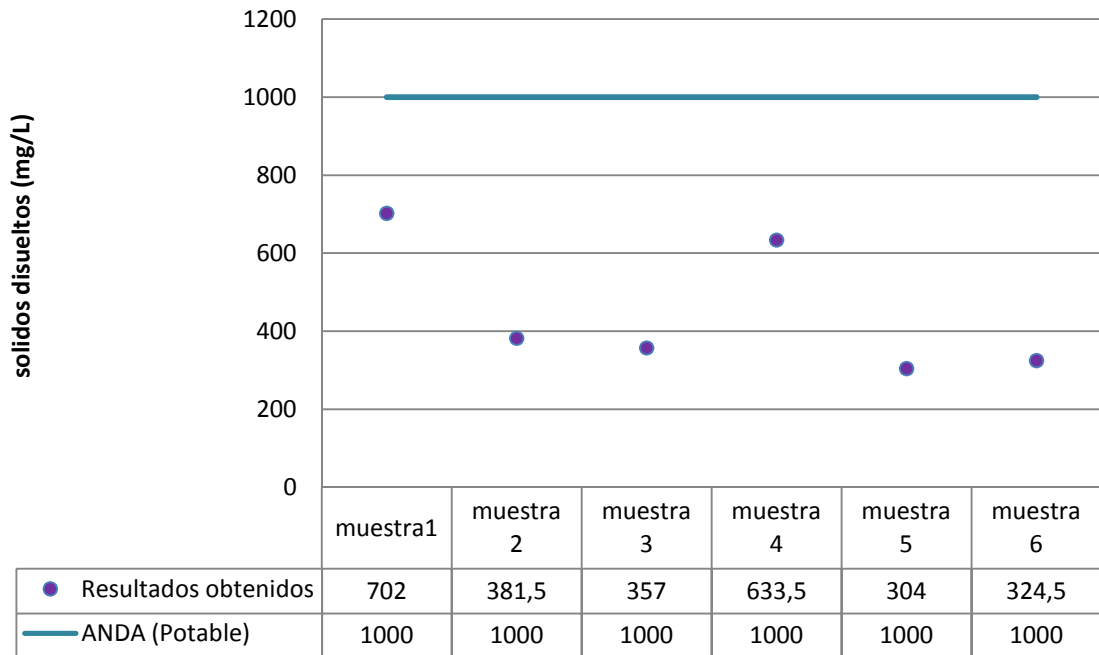


Figura 3.11: Grafico de Sólidos Disueltos Totales en muestras.

Con respecto a los Sólidos Disueltos Totales se observa a través de la grafica que todas las muestras cumplen con respecto a la normativa de agua potable de ANDA. Las muestras 1 y 4 son las que tienen elevados valores de Sólidos Disueltos totales ambas tomadas en el Barrio La Vega. Se registran valores máximos de sólidos disueltos totales en el primer muestreo (Época Seca) en comparación con el segundo muestreo (transición seca-lluviosa)

DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO

DBO en muestreo vrs. Normativa Salvadoreña

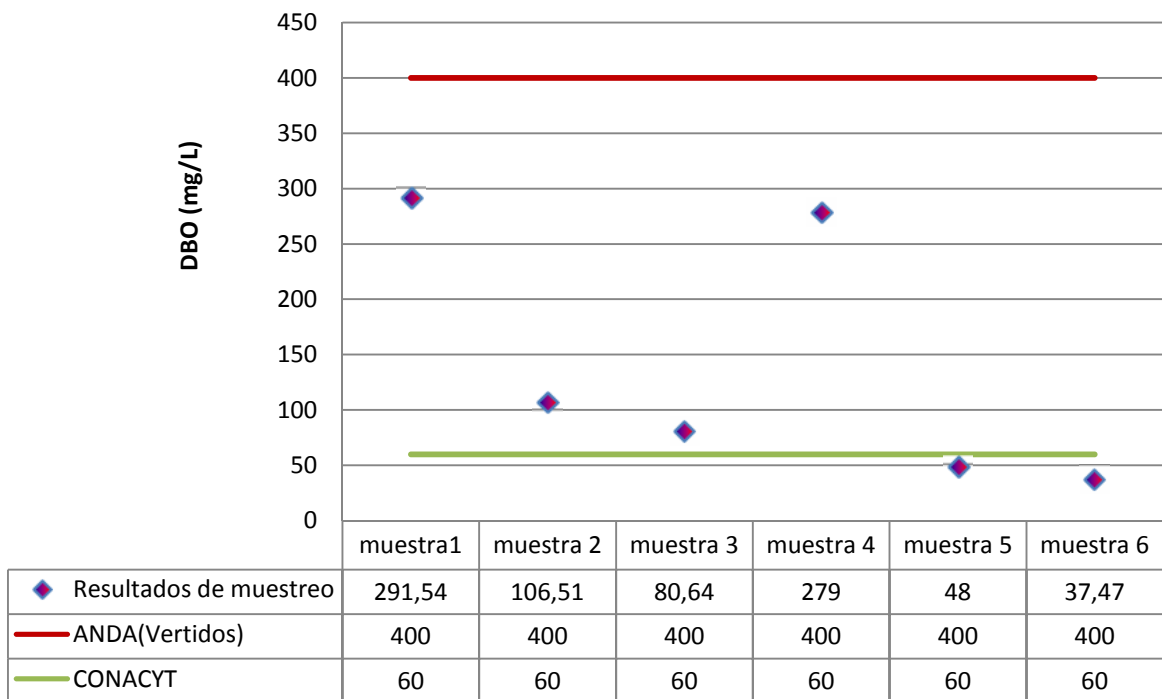


Figura 3.12: Grafico de DBO presente en muestras analizadas.

Con respecto a la normativa del CONACYT todos los parámetros están dentro del límite mínimo establecido a excepción de las muestras 5 y 6, mientras que de acuerdo a lo establecido por ANDA todas las muestras analizadas cumplen con el valor establecido como máximo. Es importante mencionar que la DBO expresa la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias para estabilizar u oxidar la materia orgánica, por lo tanto se establece una relación directamente proporcional entre dicho parámetro y el grado de contaminación que posea un determinado cuerpo superficial es decir que entre mayor contaminación mayor cantidad de DBO disponible en el agua, impidiendo o disminuyendo su capacidad de autodepuración. Las muestras 1 y 4 registran los valores más altos de DBO, tomadas en Barrio La Vega.

DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO

DQO en muestreo vrs. Normativa Salvadoreña

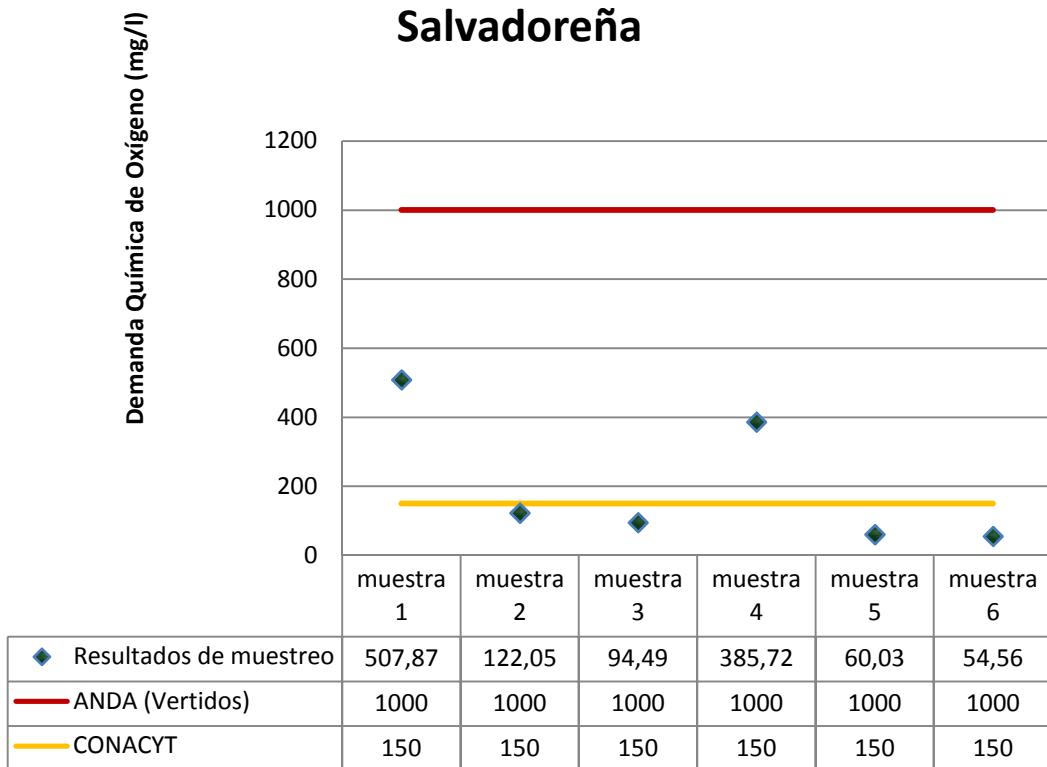


Figura 3.13: Grafico de DQO presente en muestras analizadas.

De acuerdo a lo establecido por el CONACYT las muestras 1 y 4 están fuera de los límites máximos permisibles (ambos puntos localizados en el punto 1 Barrio La Vega), mientras que al establecer una comparación con el valor máximo establecido por ANDA todas las muestras cumplen con dicha normativa. Comparando los valores del primer y segundo muestreo se observa que en las tres primeras muestras tienen valores mayores de DBO con respecto a las muestras 4,5 y 6 correspondientes al segundo muestreo, debido a que el primer muestreo fue realizado en época seca, mientras que el segundo muestreo fue realizado en época de transición seca-lluviosa, ya que se estaban registrando las primeras precipitaciones.

NITRATOS

Nitratos en muestreo vrs. Normativa Salvadoreña

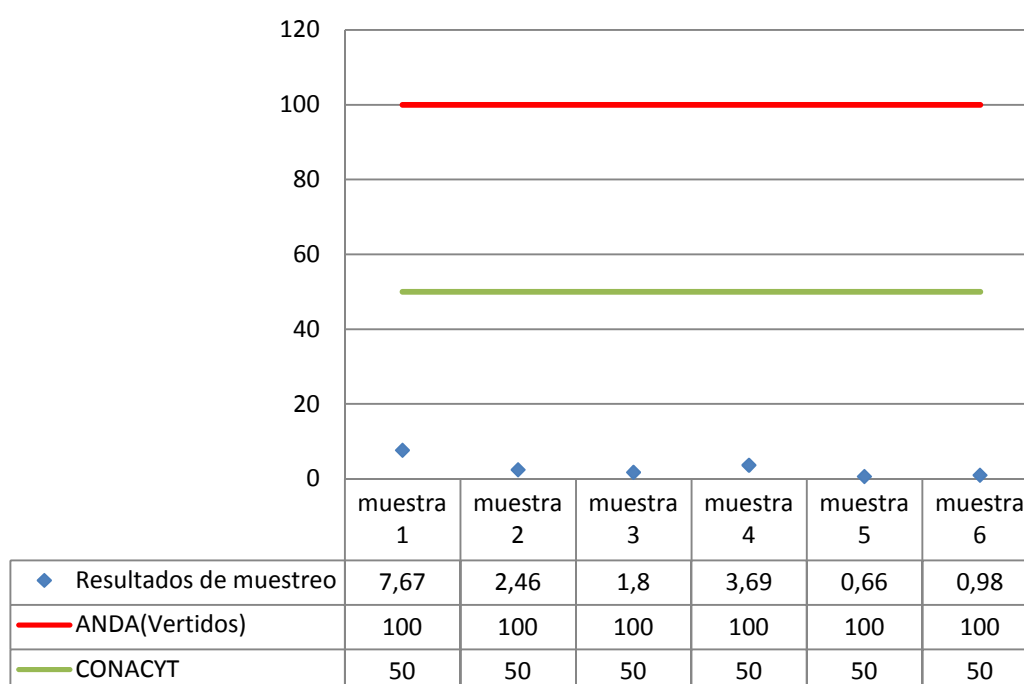


Figura 3.14: Grafico de Nitratos presentes en muestras analizadas.

Todas las muestras analizadas se encuentran dentro de los límites máximos permisibles establecidos tanto por ANDA como por el CONACYT. Se observan valores mayores de nitratos en las muestras 1 y 4 ambas correspondientes al punto 1 de muestreo (Barrio La Vega). Además no se puede dejar de mencionar que la concentración de nitratos mayor fue registrada en el primer muestreo (muestras 1,2 y 3), mientras que el segundo muestreo los valores disminuyen notablemente esto se debe a que el segundo muestreo fue realizado en época de transición de época seca a época lluviosa. Este tipo de contaminantes están presentes en los vertidos agrícolas, en las aguas negras, en detergentes, desechos animales entre otros. También al igual que los fosfatos contribuyen al envejecimiento de los cuerpos de agua o eutrofización lo cual tiene como principal consecuencia la disminución del OD presente afectando a todo el ecosistema del medio receptor.

TURBIDEZ

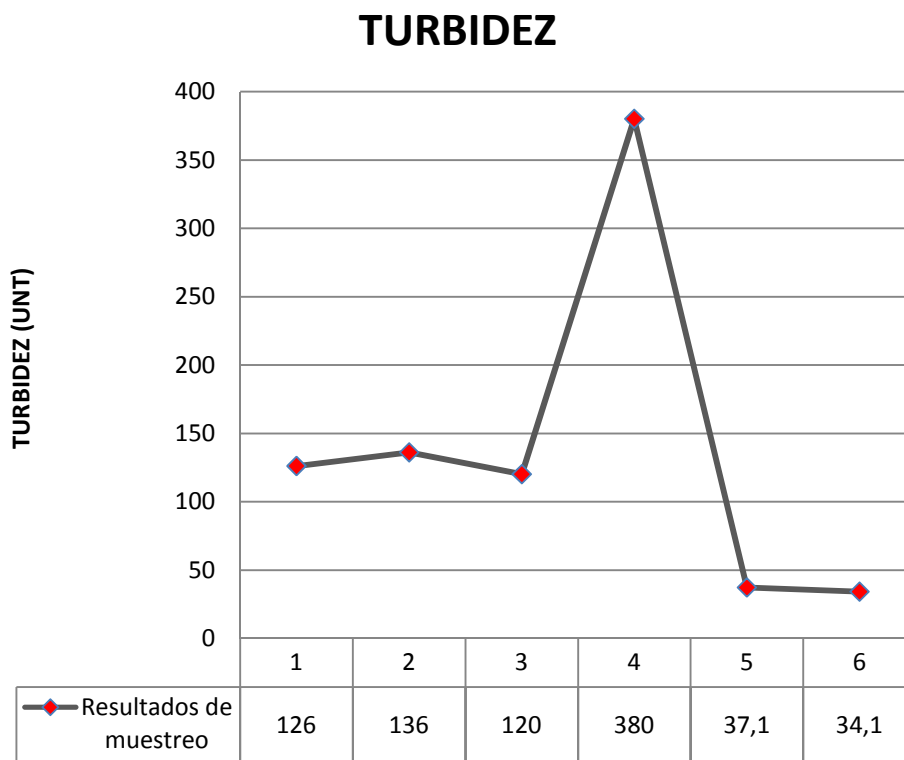


Figura 3.15: Grafico de Turbidez en muestras.

La turbidez es una medida de la opacidad del agua, es importante para la utilización de dicho recurso en cualquier actividad que esta sea lo mas transparente posible, en cada una de las mediciones como se observa en el grafico esta fuera de los limites máximos permisibles, es decir que la turbidez presente en las descargas realizadas a un cuerpo receptor menos la turbidez natural del cuerpo de agua no debe exceder en 5 unidades de acuerdo a lo establecido por el CONACYT. Mientras que de acuerdo al SNET ninguna muestra se encuentra dentro del límite permisible de 10 UNT. Los valores de turbidez disminuyen notablemente en el segundo muestreo correspondiente a época de transición de seca a lluviosa. La turbidez puede ocasionarse debido a la presencia de sólidos en suspensión como arcilla, materia orgánica e inorgánica ya sean solubles o no.

METALES PESADOS

Hierro total analizado vrs. Normativa Salvadoreña

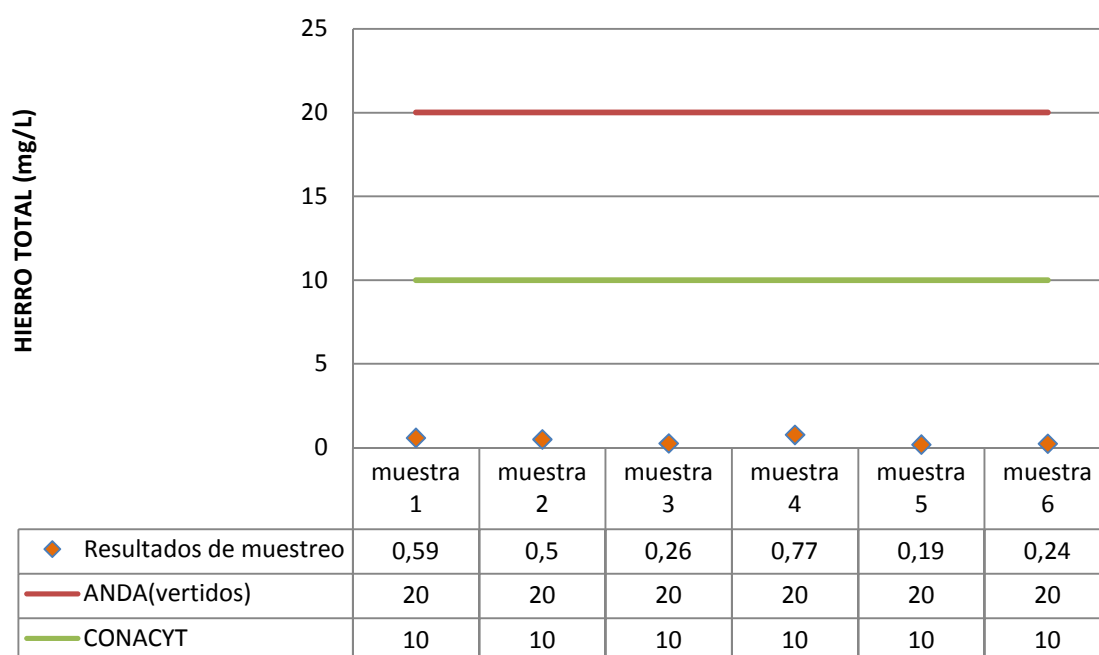


Figura 3.16: Grafico de Hierro total.

A partir de los resultados obtenidos en los puntos de muestreo con respecto a la presencia de metales pesados donde se incluyen además del hierro total, plomo, cromo, cadmio y mercurio solo fue detectada la presencia de hierro teniendo una variación entre los 0.59 y 0.19 mg/L los cuales son valores aceptables de acuerdo a la Norma Salvadoreña Obligatoria y la normativa de ANDA en materia de aguas residuales, mientras que los demás elementos no fueron sensibles a los equipos de medición utilizados en el Laboratorio de Calidad Integral de FUSADES por lo tanto todos los metales pesados analizados cumplen con los límites máximos permisibles establecidos. La contaminación por metales pesados procede de diversas actividades entre las cuales se tienen: Industria Metalúrgica, Industria de cemento, baterías, la industria de pinturas, de galvanoplastia, curtiembres entre otras.

COLIFORMES FECALES

Coliformes Fecales en muestreo vrs. Normativa Salvadoreña

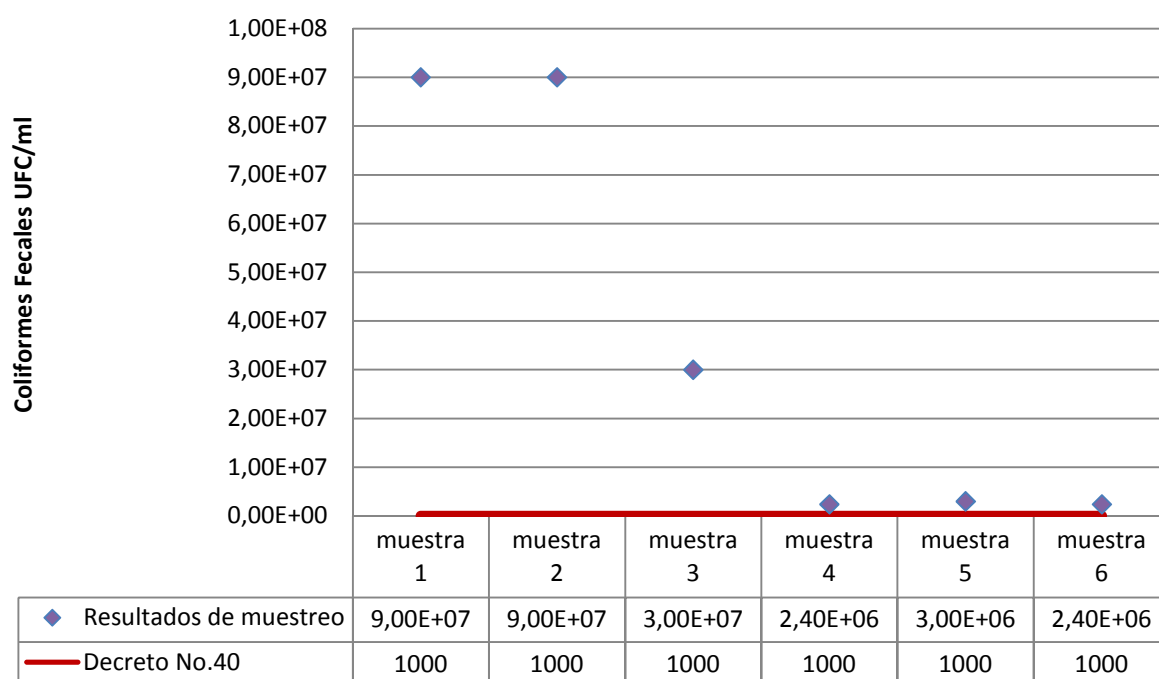


Figura 3.17: Grafico de Coliformes detectados en cada una de las muestras.

A partir del grafico se observa que en todos los puntos de muestreo se registran elevadas cantidades de coliformes fecales mayores a los limites máximos permisibles de acuerdo a la normativa establecida en el Decreto No.40 donde la cantidad de este tipo de contaminante microbiológico no debe exceder los 1000 UFC/ml. La contaminación de las aguas residuales por coliformes fecales proviene principalmente de los desechos domésticos principalmente de la excreta humana, y es un hecho alarmante pues se detecto en cada uno de los tres puntos muestreadas que las tuberías de aguas negras descargan sus vertidos directamente al rio sin recibir ningún tratamiento previo.

COLORO RESIDUAL

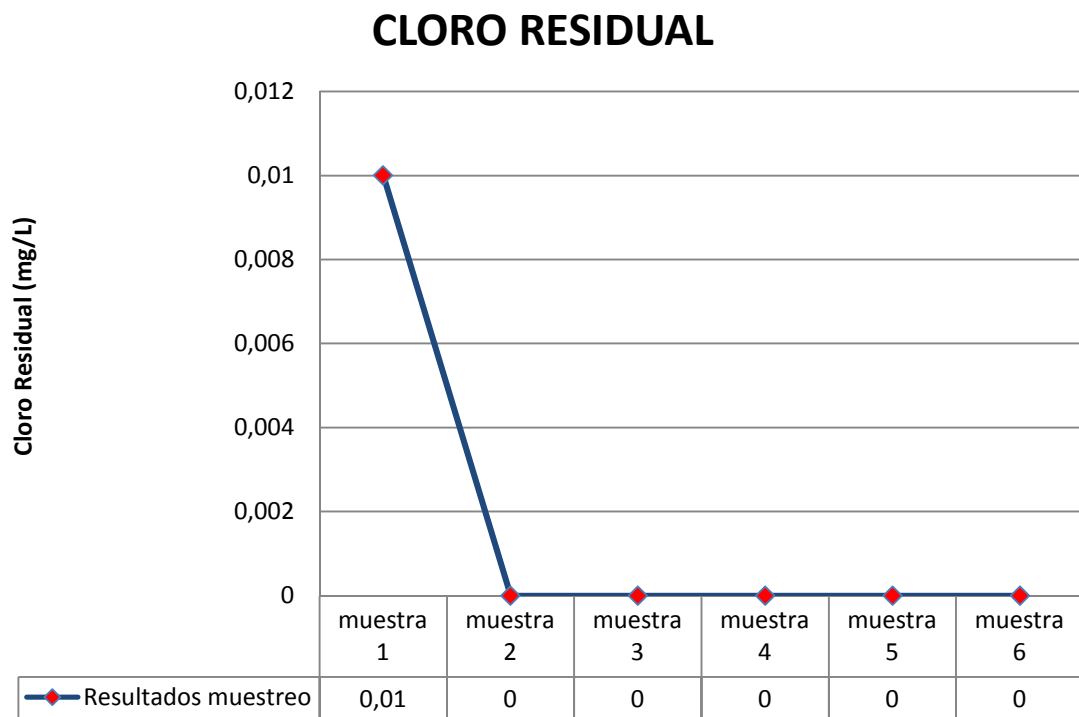


Figura 3.18: Grafico de Cloro Residual en muestras.

A partir del grafico se observa que en todas las muestras a excepción de la muestra 1 (tomada en Barrio La Vega) no se detecto la presencia de cloro residual, la presencia de altas concentraciones de dicho componente en el agua puede inducir a la intoxicación de los organismos acuáticos que habitan en un determinado cuerpo de agua.

OXIGENO DISUELTO

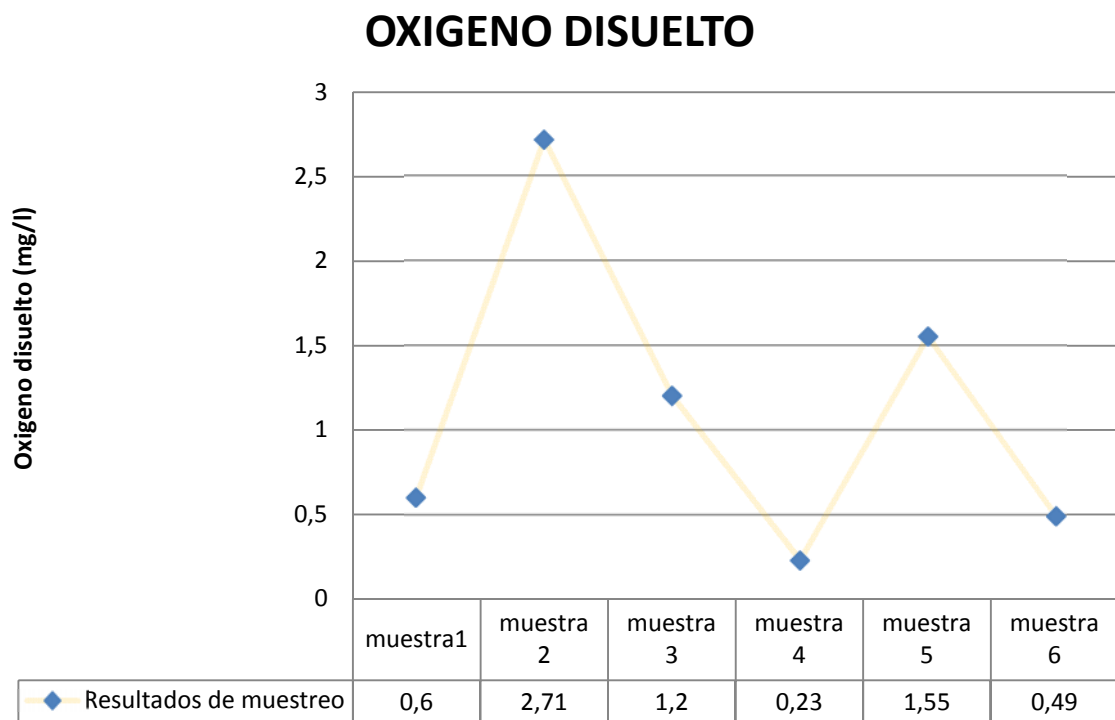


Grafico 3.19: Grafico de Oxigeno Disuelto en muestras analizadas.

Se registran los valores mas altos de oxigeno disuelto en las muestras 2 y 5 ambas tomadas en el punto 2 ubicado en Barrio Candelaria, en cambio los valores mas bajos de oxigeno disuelto fueron detectados en las muestras 1 y 4 ambas tomadas en el Barrio La Vega, lo cual imposibilita la vida acuática.

Observación:

Recordar que el Punto 1: La Vega (muestras 1 y 4), Punto 2: Candelaria(muestras 2 y 5) , Punto 3: Zoológico (muestras 3 y 6).

Primer Muestreo: Época Seca (Muestras 1, 2 y 3)

Segundo Muestreo: Transición Seca-Lluviosa (Muestras 4,5 y 6).

3.12 EVALUACION DE LA APTITUD DE USO DE LAS AGUAS DE LA SUBCUENCA URBANA DEL RIO ACELHUATE.²⁷

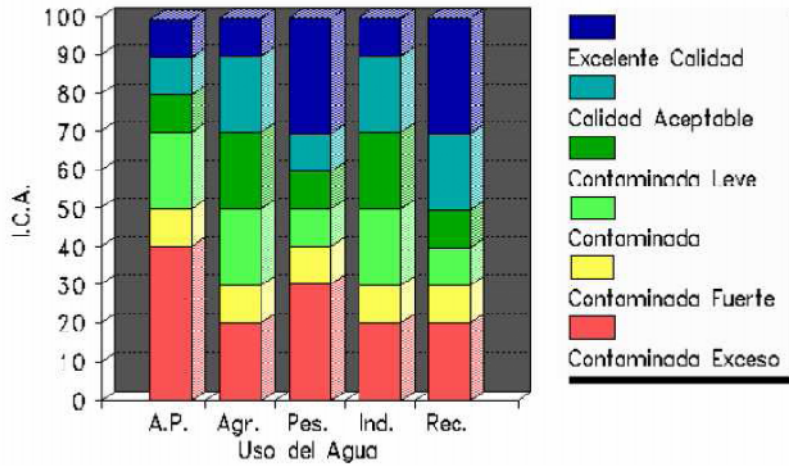


Figura 3.20: Aptitud de uso del agua según IC

Tabla 3.26: Valoración de la aptitud de uso del agua en función del ICA. Época Seca.

Actividad	Clasificación	Uso recomendado
Agua potable	EXCESIVAMENTE CONTAMINADA	Inaceptable para consumo humano
Agricultura	FUERTEMENTE CONTAMINADA(2,3) y EXCESIVAMENTE CONTAMINADA(1)	Uso solo en cultivos resistentes para los puntos de muestreo 2 y 3, mientras que el punto 1, el agua es inaceptable para riego.
Pesca y vida acuática	EXCESIVAMENTE CONTAMINADA	Este tipo de aguas son consideradas inaceptables para la vida acuática.
Industria	FUERTEMENTE CONTAMINADA	Uso restringido en actividades burdas para el caso de los puntos 2 y 3, mientras que el agua del punto 1 de muestreo es inaceptable para cualquier industria clasificándose como Excesivamente Contaminada.
Recreación	EXCESIVAMENTE CONTAMINADA (1); FUERTEMENTE CONTAMINADA (2,3)	Inaceptable para actividades de recreación en el caso del punto 1, mientras que las aguas de los puntos 2 y 3 se recomienda evitar cualquier tipo de cercanía con el cuerpo de agua.

Fuente: Samayoa, 2009

²⁷ Samayoa, 2009.

CAPITULO IV

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA SUBCUENCA URBANA DEL RÍO ACELHUATE BASADA EN LOS PRINCIPIOS DE INGENIERÍA QUÍMICA.

En el presente capítulo se detalla el esquema de una planta de tratamiento de tipo convencional, la cual tiene una alta eficiencia para el tratamiento de aguas residuales urbanas y partiendo de los resultados obtenidos de la calidad del agua en los tres puntos de muestreo se considera que los equipos propuestos disminuirían los altos niveles de contaminación del Río Acelhuate.

4.1 SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En los sistemas de tratamiento de aguas residuales se busca la depuración del agua donde se eliminan en la mayor cantidad posible la contaminación que lleva un vertido antes de que éste incida sobre un cauce receptor, de forma que los niveles de contaminación que queden en el efluente ya tratado puedan ser asimilados de forma natural. Los tratamientos de aguas residuales se dividen en: Tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario.

4.1.2 DISPOSICIONES ESPECÍFICAS PARA DISEÑOS DEFINITIVOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO.²⁸

- Si la ciudad donde se pretende implementar una planta de tratamiento cuenta con una red de alcantarillado combinado, el diseño del sistema de tratamiento debe ser sujeto de un cuidadoso análisis que justifique el dimensionamiento de los procesos de la planta para condiciones por encima del promedio. El caudal de diseño de las obras de llegada y tratamientos preliminares debe ser el máximo horario calculado sin el aporte pluvial.
- Para el diseño definitivo de la planta de tratamiento se deben tomar en cuenta los siguientes factores: levantamiento topográfico detallado de la zona donde se ubicarán las unidades de tratamiento y de la zona de descarga de los efluentes; estudios de desarrollo urbano o agrícola que puedan existir en la zona escogida para el tratamiento; datos geológicos y geotécnicos necesarios para el diseño estructural de las unidades, incluido el nivel freático; datos hidrológicos del cuerpo receptor, incluido el nivel máximo de inundación para posibles obras de protección; datos climáticos de la zona; y disponibilidad y confiabilidad del servicio de energía eléctrica.
- Además de los factores mencionados en el literal anterior deben realizarse un expediente técnico y un estudio de impacto ambiental. El expediente técnico debe incluir los siguientes aspectos: planimetría general de la obra, ubicación de las unidades de tratamiento; diseños hidráulicos y sanitarios de los procesos e interconexiones entre procesos, los cuales comprenden planos de planta, cortes, perfiles hidráulicos y demás detalles constructivos; planos estructurales, mecánicos, eléctricos y arquitectónicos; planos de obras generales como obras de protección, caminos, arreglos interiores laboratorios, vivienda del operador, caseta de guardianía,

²⁸ NSO, CONACYT. ANEXO E, 1996.

cercos perimétricos, etc.; memoria descriptiva.; Especificaciones técnicas; análisis de costos unitarios; metrados y presupuestos; fórmulas de reajustes de precios; documentos relacionados con los procesos de licitación, adjudicación, supervisión, recepción de obra y otros que el organismo competente considere de importancia.

- Los sistemas de tratamiento deben ubicarse en un área suficientemente extensa y deben estar fuera de la influencia de cauces sujetos a torrentes y avenidas, y si no es posible, deben proyectarse obras de protección. El área deber estar lo más alejada posible de los centros poblados, considerando las siguientes distancias:
 - 500 m como mínimo para tratamientos anaerobios;
 - 200 m como mínimo para lagunas facultativas;
 - 100 m como mínimo para sistemas con lagunas airadas; y
 - 100 m como mínimo para lodos activados y filtros percoladores.

4.1.3 TRATAMIENTO PRELIMINAR

Esta etapa no afecta la materia orgánica contenida en el agua residual. Se pretende con el pretratamiento la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente puede afectar el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las maquinas, equipos e instalaciones de la planta depuradora. Las unidades de tratamiento preliminar que se pueden utilizar en el tratamiento de aguas residuales son las cribas y los desarenadores.

4.1.3.1 CRIBAS

Las cribas también se conocen comúnmente como mallas o barreras las cuales tienen la función de remover la materia flotante que trae consigo el agua, los cuales pueden ser troncos de madera, materiales plásticos grandes, papel, etc. Dichas mallas deben ser diseñadas con un material anticorrosivo para evitar desgaste debido a la fricción por el paso del agua. Las cribas son fabricadas dejando una abertura entre sus mallas dependiendo del tamaño de los sólidos que se pretenden retener, por ejemplo pueden tener una abertura de 10 cm. La localización de las cribas debe ser en un depósito que tenga su base a mayor profundidad de la parte inferior de la tubería, con una pequeña inclinación con el objetivo de disminuir la presión del agua y de esta manera tener una mayor superficie de contacto con la rejilla, el agua continua su curso al otro lado de las rejas por medio de ductos o bombas que se encargan de subir el agua.



Figura 4.1: Esquema de una rejilla de limpieza manual.

4.1.3.2 DESARENADORES

La misión de los desarenadores es separar las arenas, la grasa, las cenizas y cualquier otro material pesado que tenga velocidad de sedimentación o peso específico superior a la de los sólidos orgánicos putrescibles del agua residual.

En el pasado, se usaban tanques de deposición, largos y estrechos, en forma de canales, para eliminar materia inorgánica o mineral como arena, sedimentos y grava. Estas cámaras estaban diseñadas de modo que permitieran que las partículas inorgánicas de 0,2 mm o más se depositaran en el fondo, mientras que las partículas más pequeñas y la mayoría de los sólidos orgánicos que permanecen en suspensión continuaban su recorrido. Hoy en día las más usadas son las cámaras aireadas de flujo en espiral con fondo en tolva, o clarificadores, provistos de brazos mecánicos encargados de raspar. Se elimina el residuo mineral y se vierte en vertederos sanitarios. La acumulación de estos residuos puede ir de los 0,08 a los 0,23 m³ por cada 3,8 millones de litros de aguas residuales. El diseño del desarenador se realiza en base al análisis de los fenómenos de sedimentación de partículas granuladas no floculantes las cuales sedimentan independientemente unas de otras, no existiendo interacción significativa entre las más próximas. El estudio de las velocidades de sedimentación se puede realizar utilizando las fórmulas de Stokes (en régimen laminar), de Newton (en régimen turbulento) de Allen (en régimen transitorio). Deben aplicarse algunas correcciones para tener en cuenta:

- La forma de las partículas (factor esfericidad)
- La concentración de sólidos en suspensión
- La velocidad de flujo horizontal
- La temperatura del agua residual



Figura 4.2: Esquema de un desarenador de sección horizontal.

El diseño del desarenador será efectivo si además de lograr la extracción de las arenas descritas con suficiente rendimiento, consigue que éstas sean realmente elementos minerales, cuyo contenido en materia orgánica sea ínfimo. Para evitar que la materia orgánica de granulometría similar a la de las arenas sedimente con ellas se diseñan los desarenadores de forma que se asegure en ellos un "barrido o limpieza de fondo". Este fenómeno, se explica por el hecho de que existe una velocidad crítica del flujo a través de la sección, por encima de la cual las partículas de un tamaño y una densidad determinadas, una vez sedimentadas, pueden de nuevo ser puestas en movimiento y reintroducidas en la corriente. Para partículas de 0,200 mm de diámetro y peso específico de 2,65 la velocidad crítica de barrido es 0,25 m/s, adoptándose en la práctica a efectos de diseño una velocidad de 0,30 m/s. Manteniendo esta velocidad, se consigue que las arenas extraídas tengan un contenido en materia orgánica menor del 5%.

Dos técnicas son la base de los procedimientos utilizados en la separación de arenas: La separación natural por decantación en canales o depósitos apropiados y la separación dinámica por procesos utilizando inyección de aire o efectos de separación centrífuga. La separación natural requiere una constancia absoluta en el paso del agua.

La inclusión de desarenadores es obligatoria en las plantas que tienen sedimentadores y Digestores. Para sistemas de lagunas de estabilización el uso de desarenadores es opcional. Los desarenadores serán preferentemente de limpieza manual, sin incorporar mecanismos, excepto en el caso de desarenadores para instalaciones grandes. Según el mecanismo de remoción, los desarenadores pueden ser a gravedad de flujo horizontal o helicoidal. Los primeros pueden ser diseñados como canales de forma alargada y de sección rectangular. Los desarenadores de flujo horizontal serán diseñados para remover partículas de diámetro medio igual o superior a 0,20 mm.²⁹

²⁹ cidta.usal.es/residuales/libros.

4.1.4 TRATAMIENTO PRIMARIO

El objetivo del tratamiento primario es la remoción de sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para disminuir la carga en el tratamiento biológico. Los sólidos removidos en el proceso tienen que ser procesados antes de su disposición final. El tratamiento primario de las plantas depuradoras de aguas residuales se utiliza para separar sólidos gruesos, coloidales precipitables, flotantes y grasas. El primer tratamiento importante que sufren las aguas residuales después de las precedentes fases preliminares es, generalmente, la sedimentación de los sólidos suspendidos en un tanque adecuado en el que se mantienen las aguas por un lapso de 0.5 a 3 horas o más, que es suficiente para permitir que el 40 a 65% de los sólidos finamente divididos, se deposite en el fondo del tanque, del cual se extraen por medio de colectores mecánicos, en forma de lodos. La sedimentación primaria es una operación unitaria diseñada para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual.

Tabla 4.1: Criterios de diseño para desarenadores

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Valor
No aireados		
Carga hidráulica		<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})
Velocidad horizontal	0,24-0,40	0,3 m/s
Tiempo de retención	45-90s	60s
Longitud	20-25 veces la altura de la lámina de agua	
Circulares		
Carga hidráulica	<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})	
Velocidad periférica media	0,3 - 0,4 m/s	
Tiempo de retención	0,5 -1 min (a Q _{máx})	
Aireados		
Carga hidráulica		<70 m ³ /m ² /hora (a Q _{máx})
Velocidad horizontal		<0,15 m/seg
Tiempo de retención a caudal punta	2 - 5 min	3
Relación longitud anchura	3:1 a 5:1	4:1
Profundidad	2 - 5 m	
Relación anchura-profundidad	1:1 a 5:1	1,5:1
Longitud	7,5 a 20 m	
Anchura	2,5 a 7 m	
Suministro de aire	0,20-0,60 m ³ /min	0,5

Fuente: Tratamiento Primario de Aguas Residuales, 2010.

4.1.4.1 TANQUES DE SEDIMENTACIÓN.

La función básica de la sedimentación es separar las partículas suspendidas del agua. En el proceso de sedimentación se pueden reducir de un 20 a un 40% la DBO5 y de un 40 a un 60% los sólidos en suspensión. La tasa de sedimentación se incrementa en algunas plantas de tratamiento industrial incorporando procesos llamados coagulación y floculación químicas al tanque de sedimentación. La coagulación es un proceso que consiste en añadir productos químicos como el sulfato de aluminio, el cloruro férrico o polielectrolitos a las aguas residuales; esto altera las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieren los unos a los otros y precipitan. La floculación provoca la aglutinación de los sólidos en suspensión. Ambos procesos eliminan más del 80% de los sólidos en suspensión. Las operaciones de sedimentación primaria son esencialmente del Tipo 2 sin la adición de coagulantes químicos ni operaciones de mezclado mecánico y floculación. El material orgánico es ligeramente más pesado que el agua y se sedimenta lentamente, normalmente en el intervalo de 1 a 2.5 m/h. Los materiales orgánicos más ligeros, principalmente grasas y aceites, flotan en la superficie y se deben desnatar.

Tabla 4.2: Tipos de sedimentación.

La sedimentación puede clasificarse en varios tipos dependiendo de las características y concentración de los materiales suspendidos:		
SEDIMENTACIÓN DEL TIPO 1	SEDIMENTACIÓN DEL TIPO 2	SEDIMENTACIÓN DEL TIPO 3
Una <i>suspensión diluida</i> es aquella en la que la concentración de partículas no es suficiente para provocar un desplazamiento significativo del agua conforme aquellas se sedimentan, o en las que las partículas no están lo suficientemente cercanas entre sí para que ocurra alguna interferencia en sus respectivos campos de velocidades.	Una <i>suspensión concentrada</i> es aquella en la que las partículas están tan cercanas entre sí, que sus campos de velocidades se traslapan con los de las partículas vecinas y se produce un desplazamiento significativo del agua hacia arriba conforme las partículas se sedimentan.	
Es el tipo de sedimentación de partículas discretas en suspensiones diluidas. Las partículas <i>discretas</i> son aquellas cuyo tamaño, forma y densidad específica no cambian con el tiempo.	Es el tipo de sedimentación que incluye a las partículas floculentas en suspensiones diluidas. Las partículas <i>floculentas</i> ¹ son aquellas cuya superficie tiene propiedades tales que se agregan (<i>coalescen</i> ²), con otras partículas con las que entran en contacto.	

Fuente: Tratamiento Primario de Aguas Residuales, 2010.

Los tanques de sedimentación pueden variar en forma y tamaño dependiendo de la demanda de agua que se tiene que decantar, el tipo de flujo que se este manejando y de los mecanismos de autolimpieza que se apliquen.

DESCRIPCIÓN DE LOS TANQUES DE SEDIMENTACIÓN.³⁰

La sedimentación primaria puede llevarse a cabo en tanques rectangulares alargados o en tanques circulares. En los tanques rectangulares, la espuma se retira utilizando unas rastras de lodo que, de manera alternada, después de recorrer el tanque por el fondo, regresan a su punto de partida recorriendo la superficie del agua, lo que se aprovecha para remover la espuma. El material flotante se desplaza de esta manera hasta un sitio donde se colecta, ubicado a cierta distancia hacia atrás del vertedor del efluente, y allí es retirado al pasar sobre un vertedor de espuma o por medio de una rastra transversal.

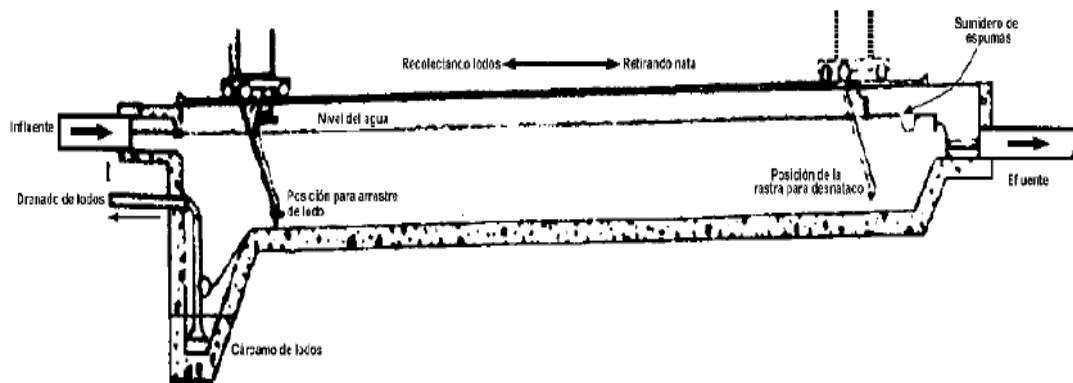


Figura 4.3: Tanque rectangular alargado con rastra para lodo.

Por su parte, los tanques circulares cuentan con un brazo desnatador que está unido a la rastra de lodos, como se observa en las figuras 4.4 y 4.5.

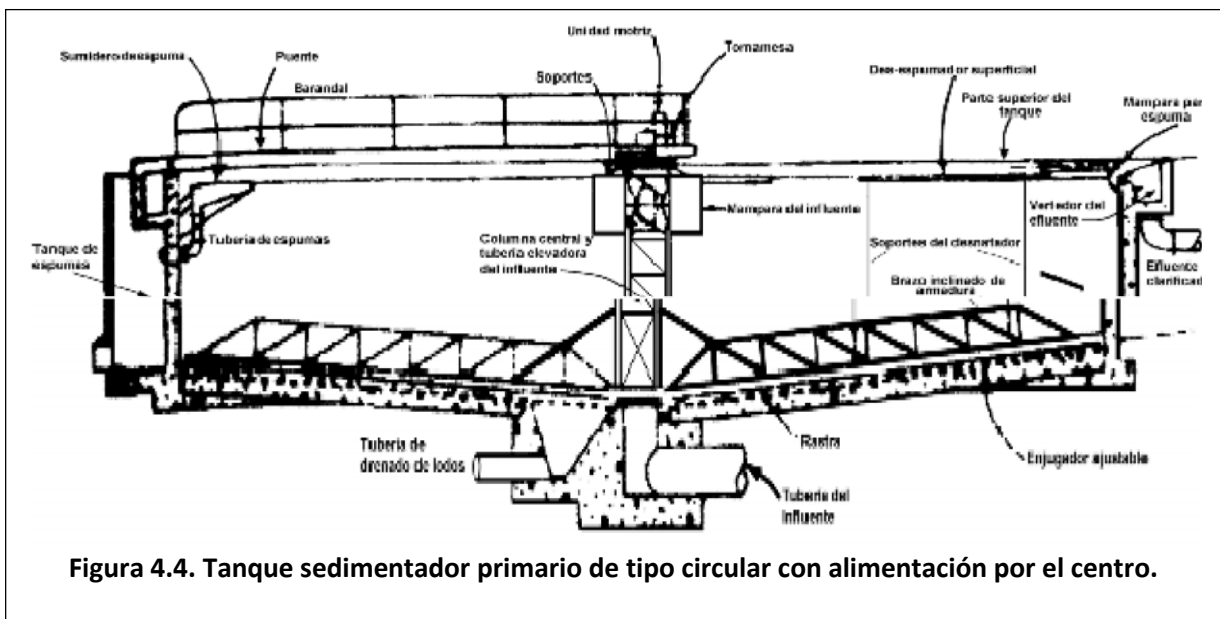


Figura 4.4. Tanque sedimentador primario de tipo circular con alimentación por el centro.

³⁰ capac.org

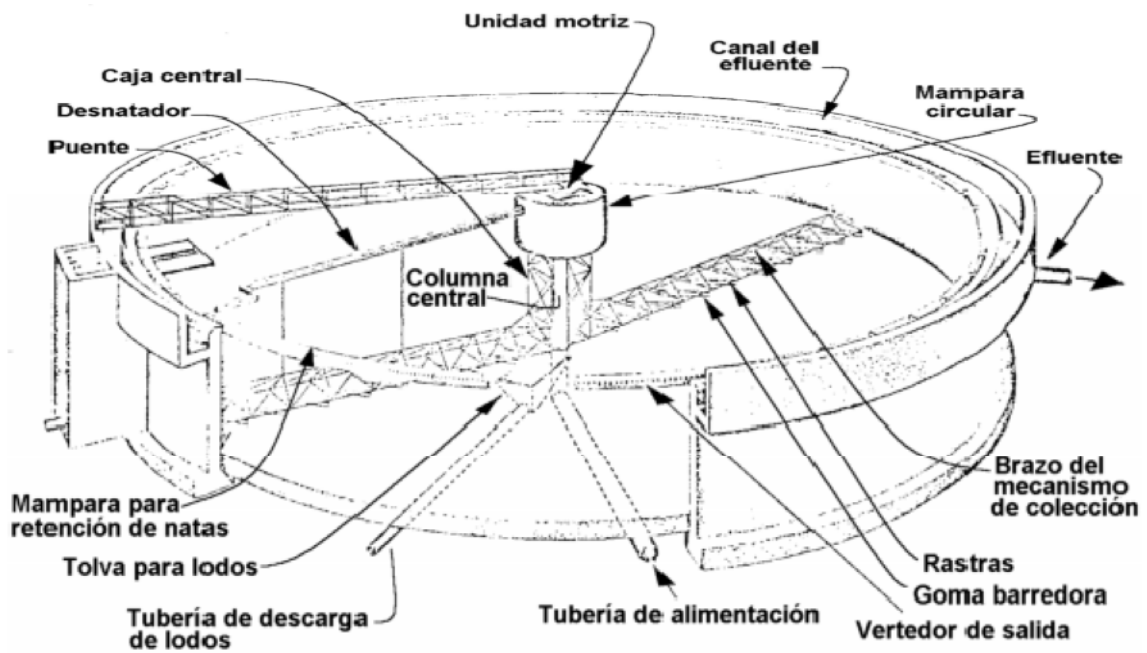


Figura 4.5: Sedimentador circular, alimentación central con rastras para recolección de lodos.

A diferencia de los tanques rectangulares, cuyo flujo es horizontal, en los tanques circulares es de tipo radial. El agua a tratar se introduce por el centro o por la periferia del tanque, como se muestra en la Figura 4.4 y 4.5. El sistema de alimentación central es el más usado; no obstante, ambas configuraciones producen buenos resultados.

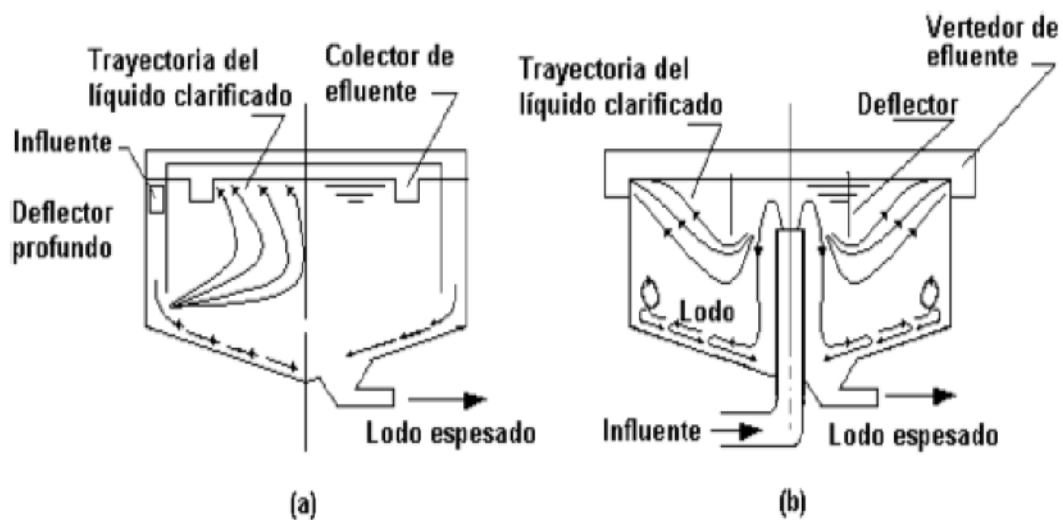


Figura 4.6: Trayectoria del efluente y lodos en tanques circulares de sedimentación con: (a) alimentación perimetral y (b) alimentación central.

Tanto en los tanques rectangulares como en los circulares se requiere la construcción de una mampara entre el dispositivo de remoción de espuma y el vertedor del efluente. Los acondicionamientos necesarios para la remoción de espuma se muestran en la Figura 4.7.

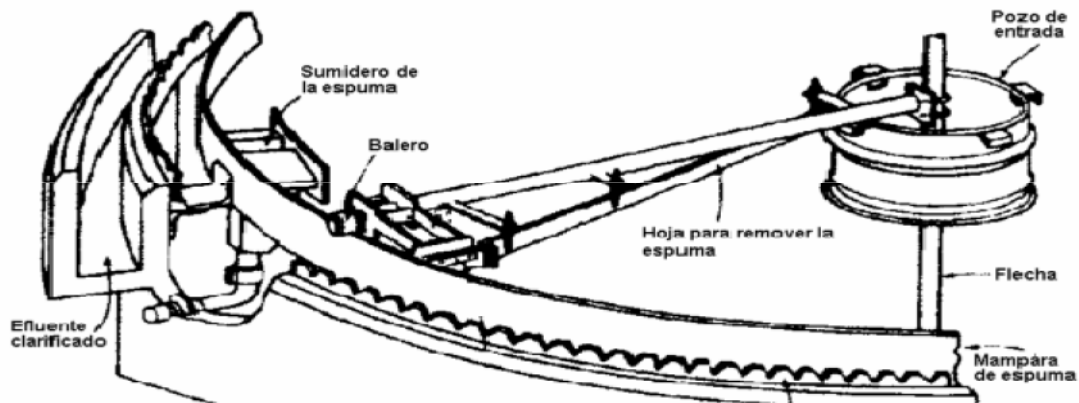


Figura 4.7: Dispositivo de remoción de espumas de un tanque sedimentador primario de tipo circular.

La espuma así separada se dispone junto con el material retenido en el cribado, la arena y el lodo digerido.

FUNDAMENTOS DE DISEÑO.

Los criterios de diseño de los tanques de sedimentación primaria se presentan en la tabla 4.3. Cuando se trata de plantas grandes en las que se requiere de varios tanques rectangulares, se acostumbra diseñarlos con paredes comunes con el fin de reducir los costos de construcción y para aprovechar mejor el espacio. En el caso de plantas pequeñas es común diseñar tanques de tipo circular debido a la sencillez del dispositivo requerido para remover los lodos. Los lodos deben retirarse del tanque de sedimentación antes de que se desarrollen en él condiciones anaerobias. Si los lodos comenzaran a descomponerse, se producirían burbujas de gas que se adherirían a las partículas de sólidos que, en vez de sedimentarse, se elevarían hasta la superficie. De presentarse este caso se reduciría la compactación del lodo, lo que haría a su remoción menos eficiente. Los sistemas de remoción de lodo deben diseñarse para que puedan moverlo desde el sitio más alejado del tanque con respecto al cárcamo de lodos en un lapso de 30 minutos a una hora después de haber sedimentado. Una vez dentro de él, la conducción de lodos desde el cárcamo hacia el digestor debe hacerse con frecuencia. La cantidad de lodo removido en la sedimentación primaria depende de variables tales como la composición del agua residual, la eficiencia del sedimentador (también llamado clarificador) y las características propias del lodo como son su densidad específica, contenido de agua, etcétera. En la tabla 4.4 se presentan valores usuales de la gravedad específica y de la concentración de sólidos removidos en sedimentadores primarios.

Tabla 4.3: Criterios de diseño para tanques de sedimentación primaria.

Parámetro	Intervalo	Valor Típico
Tiempo de retención, en h.	1.5-2.5	2.0
Carga superficial en m³/m²d		
Gasto medio	32-48	
Gasto máximo ext.	80-120	100
Carga sobre el vertedor m ³ /m d	125-500	250
Dimensiones, en m		
Rectangular		
Profundidad	3-5	3.6
Longitud	15-90	25-40
Ancho	3-24	6-10
Velocidad de la rastra	0.6-1.2 m/min	1.0
Circular		
Profundidad	3-5	4.5
Diámetro	3.6-60	12-45
Pendiente del fondo	60-160 mm/m	80
Velocidad de la rastra	0.02-0.05 rpm	0.03

Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, 2010.

Tabla 4.4: Valores usuales de gravedad específica y concentración de sólidos en lodos provenientes de sedimentadores primarios.

Clase de lodo	Gravedad específica	Concentración de sólidos, %	
		Intervalo	Valor Usual
Únicamente lodo primario: O Agua residual de concentración media O Agua residual de alcantarillado combinado Lodo activo de purga y primario Lodo primario y filtro percolador	1.03	4-12	6
	1.05	2-12	6.5
	1.03	2-6	3
	1.03	4-10	5

Fuente: Tratamiento de Aguas Residuales, 2010.

Las eficiencias de remoción de tanques de sedimentación primaria dependen de la carga superficial, como se muestra en la Figura 4.8. La remoción media de sólidos suspendidos de sistemas bien operados debe estar alrededor del 50 al 60%. La remoción de la DBO se refiere únicamente a la DBO de los sólidos removidos, dado que no se remueven orgánicos disueltos. La eficiencia de los tanques de sedimentación para remover Sólidos Suspendidos Totales y DBO puede verse afectada por las siguientes causas: corrientes arremolinadas en la entrada debidas a la inercia del fluido; corrientes inducidas por la acción del viento; corrientes de convección térmica; corrientes de densidad originadas por el acceso de aguas calientes o frías que promueven el movimiento de las capas de aguas calientes desde el fondo hacia la superficie del tanque; y estratificación térmica propias de climas calientes y áridos. Los efectos ocasionados por acción de la temperatura pueden tener consecuencias importantes en tanques de sedimentación. Se ha observado que 1°C de diferencia entre la temperatura del influente de agua residual y la del agua contenida en el tanque, ocasiona la formación de corrientes de densidad. Los impactos por efecto de la temperatura dependerán del material que se desea remover y de sus características. La elección de una tasa adecuada de carga superficial en metros cúbicos por metro cuadrado de área superficial por día, $m^3/m^2 d$, depende del tipo de material en suspensión a sedimentar. Cuando el área del tanque se ha determinado, el tiempo de retención de éste depende de la profundidad del agua. Las tasas de carga superficial recomendadas proporcionan tiempos de retención entre 2.0 y 2.5 horas, con base en el gasto medio de diseño. El efecto que la tasa de carga superficial y el tiempo de retención ejercen sobre la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos varía ampliamente dependiendo de las características del agua residual, fracción de sólidos sedimentables, concentración de sólidos y de otros factores. Es necesario enfatizar que las tasas de carga superficial deben ser lo suficientemente bajas como para asegurar su desempeño satisfactorio bajo condiciones de gasto máximo extraordinario.

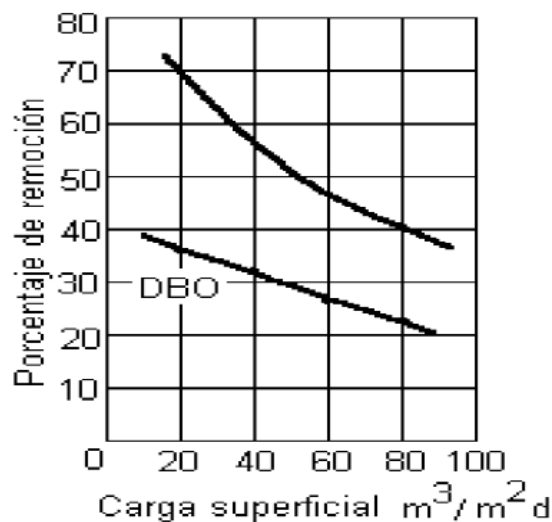


Figura 4.8: Remoción de demanda bioquímica de oxígeno y sólidos suspendidos en función de la carga superficial.

4.1.4.2 BALANCE DE MATERIAS PARA UNA CLARIFICADOR PRIMARIO

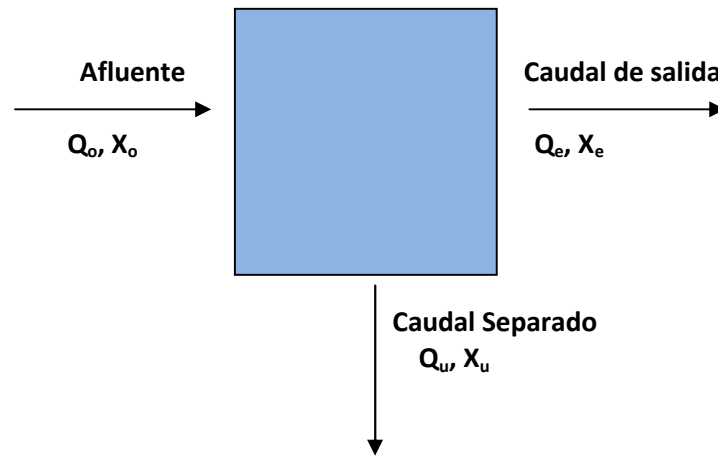


Fig. 4.9 Balance de materia para clarificadores primarios.

Los clarificadores primarios se diseñan para una separación determinada (normalmente 40 - 60%) de los sólidos en suspensión en el vertido de entrada. En la figura 4.9 deben considerarse:

Q_o = m_3/d del afluente.

X_o = mg/l de sólidos en suspensión en el afluente.

Q_e = m_3/d del efluente (rebosadero del clarificador).

X_e = mg/l de sólidos en suspensión que permanecen en el líquido clarificado.

Q_u = m_3/d del caudal que sale del clarificador.

X_u = mg/l de sólidos en suspensión del caudal separado.

Un balance total de los líquidos en circulación da como resultado:

$$Q_o = Q_e + Q_u \quad (1)$$

Un balance material para sólidos en suspensión nos daría:

$$Q_o X_o = Q_e X_e + Q_u X_u \quad (2)$$

Combinando las ecuaciones (2) y (3) se obtiene:

$$Q_e = Q_o (X_u - X_o) / X_u - X_e \quad (5) \quad \text{y} \quad Q_u = Q_o - Q_e \quad (6)$$

4.1.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica. En el caso de:

- Agua residual domestica, el principal objetivo es disminuir el contenido orgánico.
- Agua que ha de ser usada para fines agrícolas se pretende eliminar los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo, que son capaces de estimular el crecimiento de plantas acuáticas.
- Aguas residuales industriales, la finalidad es reducir la concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos.

Los procesos biológicos se clasifican según la dependencia del oxígeno por parte de los microorganismos fundamentalmente responsables del tratamiento de los residuos.

4.1.5.1 TRATAMIENTO CON LODOS ACTIVADOS³¹

El tratamiento secundario con lodos activos es el proceso más eficiente para separar materias orgánicas disueltas de las aguas residuales urbanas. Consiste en que una comunidad de microorganismos, asentados en flóculos, partículas que constituyen los lodos activos, asimilan aeróbicamente la materia orgánica del influente, produciéndose nuevos microorganismos, compuestos inorgánicos y agotando la materia orgánica de las aguas; los lodos activos se separan aparte por sedimentación, retornando al reactor aerobio la mayor parte de los lodos sedimentados, para metabolizar nueva materia orgánica influente.

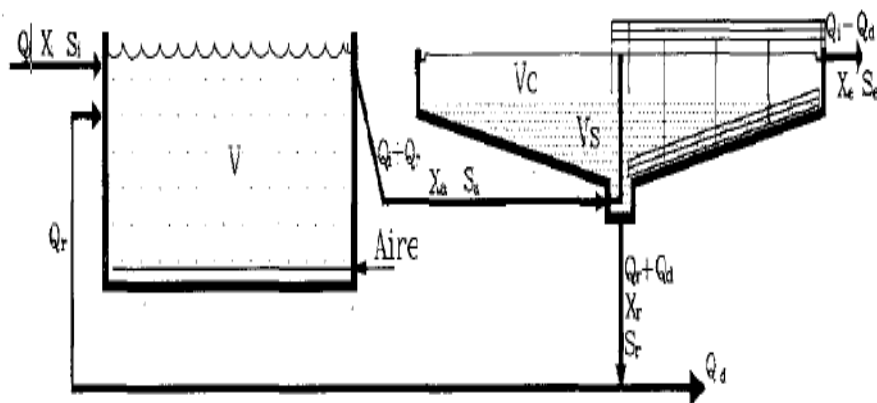
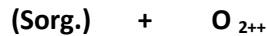


Figura 4.10: Esquema del proceso de lodos activos.

³¹ capac.org

La reacción de biodegradación aeróbica se expresa como



Orgánicas Biomasa (X)

Siendo Sorg el sustrato orgánico biodegradable (mg/L de DBO) y X los lodos activos (mg/L de SS). La concentración del sustrato orgánico se determina, por medida de la Demanda Bioquímica de Oxígeno y los lodos activos por la determinación de Sólidos en Suspensión. La reacción (A) es autocatalítica, siendo los lodos activos el catalizador que facilita la oxidación del sustrato orgánico generado en la propia reacción. Sin lodos activos la oxidación bioquímica del sustrato orgánico no podría transcurrir. La reacción (A) es una reacción lenta, condicionada por el estado del sistema, las concentraciones de las sustancias implicadas, la forma de ponerse en contacto las sustancias reaccionantes y la temperatura. La velocidad de la reacción (A), como variación relativa de poblaciones de seres vivos está dada por la contribución de las tasas de crecimiento menos la de degradación

$$\frac{dX}{X \cdot dt} = \mu - K_d \quad \text{(B)}$$

Donde:

- d :** Es el operador derivado
- t :** El tiempo (h)
- u :** La tasa de crecimiento.
- Kd:** La constante de degradación.

En condiciones de ausencia de factores limitantes, u y Kd serían constantes, la ecuación B conduce a un crecimiento exponencial de los lodos activos.

$$X = X_0 e^{(\mu - K_d) \cdot t} \quad \text{(C)}$$

Las plantas depuradoras se diseñan para agotar el sustrato orgánico en el reactor biológico, que se encontrará en un valor lo suficiente bajo para que su vertido a esa concentración en los cauces naturales no los altere, tendencia al vertido de nula perturbación, en esas condiciones la baja concentración del sustrato limita la progresión de la reacción (A). El reactor biológico se considera reactor continuo de mezcla perfecta, caracterizado por homogeneidad de composición química en todos sus puntos, lo que implica que la corriente de entrada y la corriente de recirculación, al entrar al reactor se mezclen perfectamente con el contenido del reactor instantáneamente, por lo que la salida del reactor biológico al estar perfectamente mezclado, tendrá exactamente la misma composición que el contenido del reactor. La reducción de la DBO y sólidos en suspensión en el proceso convencional del lodo activado que incluye predecantación y sedimentación final, puede variar desde 80 a 95% y la reducción de las bacterias coliformes de 90 a 95%. Además, el costo de construcción de una planta de lodo activado puede ser competitivo con otros tipos de plantas de tratamiento que producen

resultados comparables. Sin embargo, los costos unitarios de operación son relativamente altos. En una planta convencional de lodo activado, las aguas de desecho que entran pasan primero por un tanque de sedimentación primaria. Se añade lodo activado al efluente del tanque, generalmente en la relación **de 1 parte de lodo por 3 o 4 partes de aguas negras decantadas**, en volumen, y la mezcla pasa a un tanque de aireación.

En el tanque, el aire atmosférico se mezcla por el líquido por agitación mecánica o se difunde aire comprimido dentro del fluido mediante diversos dispositivos; placas filtrantes, tubos de filtro, eyectores y chorros. Con cualquiera de los métodos, se pone a las aguas negras en íntimo contacto con los microorganismos contenidos en el lodo. En los primeros 15 a 45 minutos, el lodo absorbe los sólidos en suspensión y los coloides. Según se absorbe la materia orgánica, tiene lugar la oxidación biológica. Los organismos presentes en el lodo descomponen los compuestos de nitrógeno orgánico y destruyen los carbohidratos. El proceso avanza rápidamente al principio y luego decae gradualmente en las próximas 2 a 5 horas. Después continúa con un ritmo casi uniforme durante varias horas. En general el periodo de aeración dura de 6 a 8 horas más. El efluente del tanque de aireación pasa a un tanque de sedimentación secundaria, donde se retiene el fluido, en general de 1.5 a 2 horas para decantar el lodo. El efluente de este tanque está completamente tratado, y después de la floración puede descargarse sin peligro. Cerca de un 25 a 35% del lodo del tanque de sedimentación final se regresa para la recirculación con las aguas negras de entrada. No debe retenerse el lodo en el tanque, es necesaria la remoción parcial (a intervalos de menos de 1 hora) o la remoción continua para evitar la desaeración. Las cantidades de rebose para la sedimentación final van, normalmente, desde unos 800 galones por pie cuadrado por día, para las plantas pequeñas, hasta 1,000 para plantas con capacidades mayores de 2 millones de galones por día. Es preferible que las cargas sobre el vertedero no excedan de 10,000 galones por pie lineal por día. Cuando el volumen requerido de tanque sobrepase los 2,500 pies, son convenientes tanques múltiples de sedimentación. Se requieren tanques múltiples de aireación cuando el volumen total del tanque excede los 5,000 pies cúbicos. Los tanques de aireación en que se use aire comprimido son, por lo general, largos y estrechos. Para conservar espacio, el canal puede hacerse girar varias veces 180°, con una pared común que separe el flujo en dirección opuesta. Se tiende en general, una tubería maestra de aire, a lo largo de la parte superior del tanque, para alimentar los difusores o placas porosas a lo largo de toda su longitud. El aire establece un movimiento espiral dentro del líquido según fluye por los tanques. Esta agitación reduce los requisitos de aire. El ancho del canal va de los 15 a los 30 pies. La profundidad es de unos 15 pies. El oxígeno disuelto debe mantenerse a una concentración de 2 partes por millón (miligramos por litro) o más. Los requisitos de aire varían normalmente de 0.2 a 1.5 pies cúbicos por galón de aguas tratadas. La mayoría de las plantas de tratamiento requieren el uso de un mínimo de 1,000 pies cúbicos de aire por libra de la DBO aplicada por día. La aireación mecánica puede efectuarse en tanques cuadrados, rectangulares o circulares, según sea el mecanismo empleado para la agitación. En algunas plantas, el fluido puede hacerse subir por tubos verticales y descargarlo en láminas, mientras en la parte superior o el líquido puede hacerse bajar por tubos aspirantes, mientras el aire burbujea a través del fluido. En ambos métodos, la agitación en la superficie producida por el movimiento del líquido, aumenta la aeración. Los periodos de detención son, generalmente, más largos, 8 horas o más, que para los tanques con difusión de aire.

Se usan diversas modificaciones para el método de lodo activado, para mejorar el funcionamiento o disminuir los costos. Entre éstos se incluyen la aireación modificada, activada, en punta y por pasos o fases, y los procesos de Kraus, bioadsorción y bioactivados.

La aireación modificada

Disminuye el periodo de aireación a tres horas o menos, y mantienen el lodo retornado a una baja proporción. Los resultados son intermedios entre la sedimentación primaria y un tratamiento secundario completo.

La aireación activada.

Los tanques de aireación se colocan en paralelo. El lodo activado, procedente de un tanque de sedimentación final o grupo de dichos tanques, se añade al influente de los tanques de aireación. El resto del lodo se concentra y se quita. Los resultados son mejores que con la aeración modificada y con menos aire.

La aireación en punta.

Este tipo de aireación difiere de la aireación normal en que los difusores de aire no están uniformemente espaciados. En su lugar, se colocan más difusores cerca del extremo de entrada de los tanques de aireación que cerca de la salida. La teoría pretende que la demanda de oxígeno es mayor cerca de la entrada y, por tanto, la eficiencia del tratamiento debe mejorar si se suministra allí más aire. Sin embargo, los resultados dependen del grado de mezclado longitudinal, proporción del retorno de lodo y las características de la materia recirculada, por ejemplo, el contenido de aire del lodo o del licor mezclado.

La aireación por pasos o fases.

Se añaden las aguas negras en cuatro o más sitios del tanque de aireación. Cada incremento reacciona con el lodo que ya se encuentra en el tanque. Por consiguiente, los requisitos de aire casi son uniformes en todo el tanque. La aeración por mezcla completa obtiene mejores resultados dispersando el influente del agua de desecho tan uniformemente como sea posible, a lo largo de la longitud total del tanque de aeración, de manera que se produzca una demanda uniforme de oxígeno. La aeración extendida es similar, pero el agua de desecho se aérea por 24 h en vez de las 6 a 8 h convencionales.

El proceso Kraus

En este proceso se agregan a las aguas negras una mezcla aireada activada y materia de los tanques digestores de Lodos.

El proceso de biosorción

En dicho proceso se mezclan aguas negras con lodo preaireado en un tanque separado.

El proceso de bioactivación

En este proceso se utiliza sedimentación primaria, un filtro rociador y una corta sedimentación secundaria, agregando después lodo activado, y pasa la mezcla a tanques de aireación y sedimentación. Se han obtenido excelentes resultados sustituyendo oxígeno por aire en el proceso de Lodos Activados; para el eficiente uso del oxígeno, pueden cubrirse los tanques de aireación; el oxígeno se hace recircular en varios pasos, entrando a la primera etapa del proceso y de ahí a través del tanque de oxigenación con el agua de desecho en tratamiento. La

presión bajo la cubierta del tanque es cercana a la atmosférica y suficiente para mantener el control y evitar el retromezclado de los siguientes pasos. En cada paso puede lograrse la mezcla con aireadores superficiales o un aspersor rotatorio sumergido: el oxígeno puro permite el uso de tanques más pequeños y el tiempo de oxigenación puede ser de 1.5 a 2 h en lugar del convencional de 6 a 8 h. El lodo activado producido se sedimenta, con menos dificultad y es más fácil de drenar que el de los procesos convencionales.

4.1.5.2 IMPORTANCIA DE LOS MICROORGANISMOS Y BACTERIAS.

Para proyectar correctamente el sistema de lodos activados es ver la importancia de los microorganismos dentro del sistema. En la naturaleza, el papel clave de las bacterias es el de descomponer la materia orgánica producida por otros organismos vivientes. En el proceso de lodos activados, las bacterias son los microorganismos más importantes, ya que estos son la causa de descomposición de la materia orgánica del efluente. En el reactor parte de la materia orgánica del agua residual es utilizada por las bacterias aeróbicas con el fin de obtener energía para la síntesis del resto de la materia orgánica en nuevas células. Otro tipo de microorganismos igualmente de importantes son los protozoos y rotíferos que actúan como depurificadores de los efluentes. Los protozoos consumen las bacterias dispersas que no han floculado y los rotíferos consumen partículas biológicas que no hallan sedimentado. En realidad solo parte del residuo original es verdaderamente oxidado a compuestos de bajo contenido energético tales como el NO_3^{-2} , SO_4^{-2} y CO_2 ; el resto es sintetizado en materia celular. Además de la materia orgánica, existen también compuestos inorgánicos que producen DBO. El compuesto mas importante es el amoníaco, ya que su presencia en el efluente de la planta puede estimular el descenso del oxígeno disuelto en la corriente receptora través del proceso biológico de nitrificación. El amoníaco se oxida biológicamente a nitrito y este es seguidamente oxidado por otro grupo de microorganismos a nitrato, que es el estado de oxidación final de los compuestos de nitrógeno y como tal representa su producto estabilizado. La dependencia de la temperatura en la constante de la velocidad de la reacción biológica es muy importante a la hora de evaluar la eficacia total del tratamiento biológico. La temperatura no solo influye en las actividades metabólicas sino que tiene un profundo efecto en factores tales como las tasas de transferencias de gases y características de sedimentación de sólidos biológicos.

4.1.5.3 BALANCE DE MATERIA PARA TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Para el cálculo de la concentración de sustrato del reactor biológico se procede por aplicación de un balance de materia al reactor global, Levenspiel, por considerarlo de mezcla homogénea.

El sustrato que entra al reactor en un diferencial de tiempo dt es:

$$\text{Entrada} = (Q_i \cdot S_i + Q_r \cdot S_r) \cdot dt \quad (1)$$

La salida de sustrato del reactor en el mismo diferencial de tiempo es

$$\text{Salida} = (Q_r + Q_i) \cdot S_a \cdot dt \quad (2)$$

La desaparición de materia biodegradable por reacción bioquímica en el reactor biológico de volumen V en el mismo dt es

$$\text{Desaparición} = \frac{\mu_M \cdot \phi^{T-20}}{Y} \cdot \frac{S_a}{S_a + K_s} \cdot X_A \cdot V \cdot dt \quad (3)$$

La acumulación de sustrato orgánico en el reactor por cambio de concentración en el mismo intervalo de tiempo es

$$\text{Acumulación} = V \cdot dS_a \quad (4)$$

La acumulación del sustrato orgánico en el reactor aerobio es la suma del sustrato contenido en las entradas menos el que sale del reactor y menos el que desaparece por la reacción de biodegradación. De las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) se obtiene:

$$\frac{dS_a}{dt} = \frac{Q_i \cdot (S_i - S_a) + Q_r \cdot (S_r - S_a)}{V} - \frac{\mu_M \cdot \phi^{T-20}}{Y} \cdot \frac{S_a}{S_a + K_s} \cdot X_a \quad (5)$$

Procediendo del mismo modo con relación a los lodos generados en el reactor biológico se llega a:

$$\frac{dX_a}{dt} = \frac{Q_i \cdot (X_i - X_a) + Q_r \cdot (X_r - X_a)}{V} + \left(\mu_M \cdot \phi^{T-20} \cdot \frac{S_a}{S_a + K_s} - K_d \right) \cdot X_a \quad (6)$$

Las ecuaciones (5) y (6) constituyen el modelo matemático del reactor biológico.

4.1.6 DESHIDRATACION DE LODOS GENERADOS EN LAS ETAPAS PRIMARIA Y SECUNDARIA DEL TRATAMIENTO.

Tal como su nombre lo indica, la deshidratación tiene como propósito reducir el contenido de agua en el lodo. Los procesos de deshidratación requieren que se lleve a cabo un acondicionamiento previo de los lodos. El acondicionamiento implica generalmente la adición de sustancias químicas tales como Cloruro Férrico (utilizado en lodos biológicos), Cal (utilizada en lodos primarios), o polielectrolitos orgánicos. Los polielectrolitos son coagulantes orgánicos y pueden tener características aniónicas, catiónicas o no iónicas. Los dos primeros pueden ser utilizados con coagulantes inorgánicos. Se utilizan cada vez más los coagulantes orgánicos porque requieren de poco espacio para su almacenamiento, por su alta efectividad y facilidad de manejo. Por otro lado, los inorgánicos, aunque son más baratos y accesibles, requieren de mayor espacio y por sus características corrosivas son difíciles de manipular y además aumentan el peso del lodo.

Existen métodos estáticos y mecánicos para el desecado de lodos. Los procesos estáticos incluyen los lechos de secado y las lagunas. En ambos casos los lodos, si son orgánicos, deben ser predigeridos para evitar malos olores. En el caso de los lechos de secado, los lodos se colocan sobre lechos de arena para que drenen y sequen. La remoción de las tortas de lodos puede ser mecánica o manual. Por otro lado, en el caso de las lagunas de secado, los lodos se depositan dentro de la laguna para que sequen naturalmente. Es de primordial importancia tomar en cuenta la posible infiltración de líquidos de las lagunas y la consecuente contaminación de las aguas subterráneas. Entre los sistemas mecánicos de desecado se encuentran la filtración al vacío, la centrifugación y los filtro prensa de correas o placas. Todos éstos requieren que se lleve a cabo la floculación de los lodos previa a su aplicación. Estos sistemas son más eficientes que los lechos y lagunas de secado, sin embargo son más costosos ya que implican inversión de capital y también costos mayores de operación (principalmente por consumo de energía) y mantenimiento.

Métodos de tratamiento de lodos.

Estabilización. Se puede realizar de forma aeróbica donde los lodos, tanto primarios como secundarios, son continuamente aireados durante largos periodos de tiempo. En la digestión aeróbica los microorganismos están en fase respiratoria donde los materiales contenidos en las células son oxidados, teniendo como resultado una reducción de la materia orgánica degradada biológicamente. De esta manera, la estabilización aeróbica del exceso de lodo (incluyendo lodos primarios) genera un consumo de energía. Adicionalmente, esta fase necesita un volumen extra en el reactor.

Digestión. La digestión del lodo se lleva a cabo por los organismos anaeróbicos en ausencia de oxígeno libre. Los organismos anaeróbicos y facultativos rompen la estructura molecular compleja de estos sólidos liberando las "uniones" del agua y dando lugar a oxígeno y nutrientes para el crecimiento. Los procesos de estabilización anaeróbica trabajan a temperaturas normales (< 40°C) o dentro de un rango de bacterias termófilas, donde se puede alcanzar 50-65°C, debido a la generación del calor de los procesos bioquímicos. La estabilización química de los lodos es la oxidación húmeda y estabilización termal bajo altas condiciones de temperatura y presión, son aplicadas con menor frecuencia.



Figura 4.11: Esquema de un tanque de digestión anaerobia.

Espesamiento. Mediante el espesamiento de los lodos se consigue una reducción del volumen de aproximadamente un 30 – 80 % antes de cualquier otro tratamiento. En plantas de tratamiento de menor tamaño, con alimentación regular de lodo, el espesamiento tiene lugar generalmente directamente en el tanque de almacenamiento de los lodos. El lodo es comprimido en la base del tanque mediante gravedad, mientras en la parte superior se produce una capa de agua que se extrae y recircula nuevamente. En las plantas de tratamiento de mayor tamaño, existen tanques especiales de espesamiento de lodos. Estos tanques están equipados con rodillos de rotación vertical, que crea micro canales en el lodo para un mejor escurrido. La importancia de las máquinas de espesamiento tiene lugar en aquellos lodos no estabilizados, que pueden pudrirse durante el almacenamiento.

Métodos mecánicos. Una mayor reducción del lodo es necesaria antes del espesamiento de los mismos. El líquido de los lodos tiene que drenarse consiguiendo un lodo seco y poroso. La deshidratación puede producirse de manera natural (mediante camas secas, secado solar), durante un largo periodo de tiempo. Mas rápidamente, aunque en mas pequeñas cantidades (y también mas costoso) son las máquinas de proceso como las prensas (filtros de prensa) y centrifugación. Para una buena deshidratación, el tamaño y firmeza de los aglomerados del lodo son un factor importante, de manera que el lodo permanezca poroso durante la compresión. Se suele utilizar floculantes para alcanzar mayores niveles de materia seca en las máquinas de deshidratación y deben ser especialmente coordinado con el lodo.³²

4.1.7 SISTEMA DE COLECTORES DE AGUAS RESIDUALES

Se denomina colector o alcantarilla colectora al tramo del alcantarillado público que colecta diversos ramales de alcantarilla. Se construye bajo tierra, a menudo al medio de las calles importantes, de manera que cada una de las viviendas de esa vía puedan conectarse para la evacuación apropiada de las aguas residuales. Cada conexión perteneciente a una vivienda se llama acometida o toma domiciliaria. Tanto los colectores como las uniones domiciliarias deben ser proyectadas con cierto grado de pendiente para permitir el flujo de las aguas por gravedad, pero nunca excesiva, para evitar velocidades excesivas y riesgo de erosión. Asimismo, sus juntas deben ser herméticas para evitar filtraciones de aguas residuales al terreno y para impedir el ingreso del agua de lluvia, las infiltraciones del terreno circundante o la introducción de raíces. Por otra parte, deben ser lisas a fin de que no se produzcan obstrucciones por acumulación de pelos, telas, pañales y otros elementos habitualmente arrojados al alcantarillado, a pesar de estar prohibido. El libre flujo del agua dentro de las uniones domiciliarias y colectores se verifica habitualmente por medio de la prueba de la bola, artefacto que debe discurrir sin inconvenientes desde el sitio en que se introdujo hasta donde se está efectuando el examen.. Para el Distrito cinco se recomienda la incorporación de dichos colectores ya que ello contribuiría a un adecuado manejo de las aguas residuales evitando descargas directas al Río, además los colectores transportarían el agua hasta el sitio seleccionado para la construcción de una planta de tratamiento a largo plazo.

³² lenntech.es/tratamiento-lodos

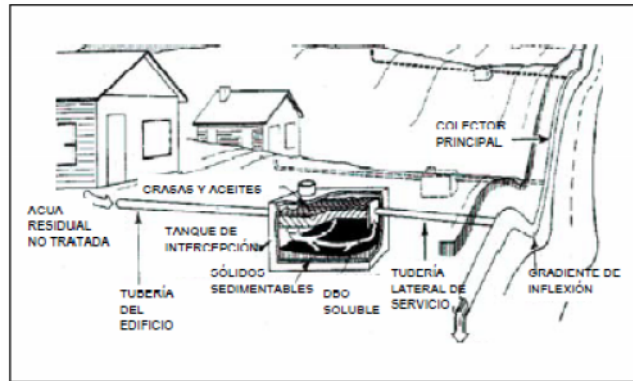


Figura 4.12: Ejemplo de una red de colectores en un área urbana.

4.2 SANEAMIENTO ECOLOGICO (ECOSAN)

Es un proceso de saneamiento de aguas negras donde se recuperan nutrientes contenidos en las heces y la orina humana que resultan beneficiosos para las actividades agrícolas, contribuyendo a la conservación de la fertilidad del suelo y a la seguridad alimentaria para generaciones futuras disminuyendo en buena medida la contaminación de los cuerpos superficiales recuperando la bioenergía contenida en ellos, además este tipo de proceso asegura que el agua se utiliza económicamente y se recicla de manera segura para actividades de riego y recarga de acuíferos. Según Esrey (2003) saneamiento ecológico puede definirse como un sistema que:

- Previene enfermedades y promueve la salud.
- Protege el medio ambiente y conserva el agua.
- Recupera y recicla los nutrientes y materia orgánica.

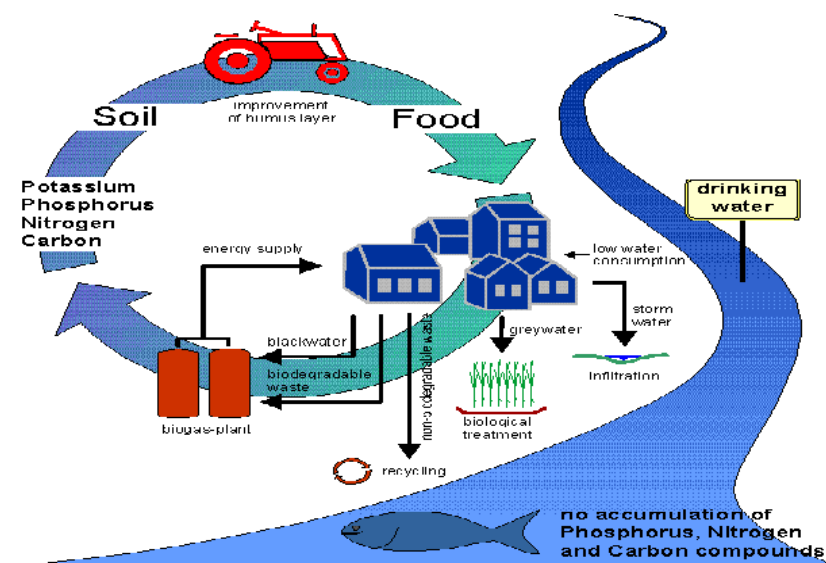


Figura 4.13: Principios del ECOSAN.

4.2.1 OBJETIVOS DEL SANEAMIENTO ECOLOGICO.

- Reducir los riesgos para la salud relacionados las aguas contaminadas y los residuos.
- Evitar la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas.
- Evitar la degradación de la fertilidad del suelo.
- Optimización de la gestión de los nutrientes y recursos hídricos.

4.2.2 VENTAJAS DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL SANEAMIENTO ECOLÓGICO.

- Mejoramiento de la salud de las personas, reduciendo al mínimo la introducción de patógenos de la excreta humana en el ciclo del agua.
- Preservación de la fertilidad del suelo.
- Contribución a la conservación de los recursos a través de menor consumo de agua, la sustitución de fertilizantes minerales y la minimización de la contaminación del agua.
- Mejora de la productividad agrícola y la seguridad alimentaria.

4.2.3 TECNOLOGÍAS DE LOS SISTEMAS DE ECOSAN

El concepto está basado en una colección de excretas y aguas grises separadas. Si bien la orina y las heces se recogen a través de inodoros de vacío y una red de alcantarillado al vacío utilizando mucho menos agua para el lavado, las aguas grises de lavado de manos y la cocina es recogida y tratada por separado en un reactor de lodos activados compacto combinado con filtración de membrana. Las aguas grises tratadas posteriormente se reutilizan para actividades de aseo.

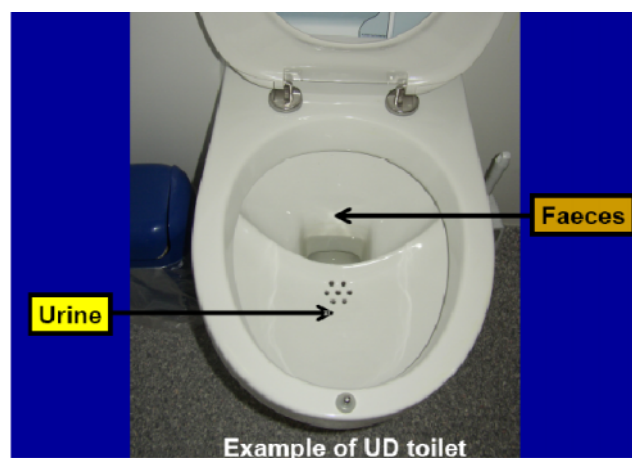


Figura 4.14: Ejemplo de inodoro basado en los conceptos de ECOSAN.

En la siguiente tabla se presenta el tipo de tratamiento que debe realizarse a las heces, la orina y las aguas grises y su utilización luego de ser tratadas:

Tabla 4.5: Tratamiento y reuso de las heces, orina y aguas grises.

Sustancia	Tratamiento	Utilización
Orina	Limpieza por almacenamiento o secado	Fertilizante líquido o seco
Heces	Digestión anaeróbica, secado o compostaje	Puede utilizarse como biogás o para la mejora de la tierra
Aguas grises	Tratamiento biológico, tecnología de membranas	En actividades de irrigación

Fuente: Global Water, Sanitation and Hygiene. Mark D. Sobsey, 2009

4.3 APLICACION DE BIOSOLIDOS AL TERRENO³³

4.3.1 DESCRIPCIÓN

Los biosólidos son principalmente materiales orgánicos producidos durante el tratamiento de aguas residuales, los cuales pueden ser utilizados en diversos usos beneficiosos. Un ejemplo de tales usos es la incorporación de biosólidos al terreno para abastecerlo de nutrientes y para renovar la materia orgánica del terreno. Esta actividad se conoce como aplicación al terreno. Los biosólidos se pueden utilizar en terrenos agrícolas, bosques, campos de pastoreo, o en terrenos alterados que necesitan recuperación. El reciclaje de los biosólidos a través de la aplicación al terreno tiene varios propósitos. Estos mejoran las características del suelo, tales como la textura y la capacidad de absorción de agua, las cuales brindan condiciones más favorables para el crecimiento de las raíces e incrementan la tolerancia de la vegetación a la sequía. La aplicación de biosólidos también provee nutrientes esenciales para el crecimiento vegetal, incluyendo el nitrógeno y el fósforo, así como algunos micronutrientes esenciales, tales como el níquel, el zinc y el cobre. Los biosólidos pueden servir también como una alternativa o sustituto de los costosos fertilizantes químicos. Los nutrientes contenidos en los biosólidos ofrecen diversas ventajas en comparación con los fertilizantes inorgánicos debido a que son orgánicos y pueden ser incorporados lentamente por las plantas en crecimiento. Estas formas orgánicas de nutrientes son menos solubles en agua y, por lo tanto, tienen una menor probabilidad de lixiviarse al agua subterránea o ser arrastradas a las aguas superficiales. Existen diversos métodos para la aplicación de biosólidos al terreno. La selección del método depende del tipo de terreno y de la consistencia de los biosólidos. Los biosólidos líquidos contienen esencialmente del 94 al 97 por ciento de agua y cantidades de sólidos relativamente bajas (del 3 al 6 por ciento). Éstos se pueden inyectar al suelo, o pueden ser aplicados a la superficie del terreno.

³³ epa.gov/safewater



Figura 4.15: Equipo de inyección de biosólidos.

Para la inyección de biosólidos al suelo se utilizan vehículos especializados, los cuales tienen mangueras que salen del tanque de almacenamiento hacia las toberas de inyección, desde donde se liberan los biosólidos. Para la aplicación superficial de biosólidos se utilizan vehículos especializados modificados.



Figura 4.16: Vehículo especializado para la aplicación de biosólidos.

Los biosólidos aplicados a la superficie del terreno generalmente se incorporan dentro del terreno utilizando equipos agrícolas convencionales. A menudo resulta económico reducir el volumen de los biosólidos previamente a su transporte o almacenamiento. La cantidad de agua contenida en los biosólidos se puede reducir mediante procesos mecánicos, tales como el drenado, la deshidratación por prensa, o la centrifugación, dando como resultado un material compuesto hasta en un 30 por ciento de sólidos secos. Este material tiene la consistencia del suelo húmedo. Los biosólidos deshidratados no requieren de ningún tipo de equipo especializado y se pueden aplicar con la ayuda de los equipos agrícolas convencionales, tales como los esparcidores de estiércol. La Figura 4.17 muestra el rocío de los biosólidos, un método de aplicación utilizado principalmente en zonas de bosques o en zonas que requieren de actividades de recuperación. Los biosólidos líquidos se rocían desde un tanque remolcado por un camión u otro vehículo.



Figura 4.17: Aplicación de biosólidos líquidos en bosques.

Es un requisito indispensable que los sólidos de las aguas residuales sean procesados antes de ser aplicados o incorporados al terreno. Este proceso, denominado “estabilización”, ayuda a minimizar la generación de olores, destruir los agentes patógenos (organismos causantes de diversas enfermedades), y reducir las probabilidades de atracción de vectores. Como se menciona en la sección de tanques sépticos existen diversos métodos para la estabilización de los sólidos de las aguas residuales, los cuales son:

Estabilización alcalina (cal)

La cal viva u otro material alcalino son agregados al líquido de los residuos para incrementar el pH a 12.0 por un período mínimo de 30 minutos. Aunque existe una gran variación en las características de los sólidos y los requerimientos de uso de la cal, la actividad de mezclado no es muy difícil; se utilizan aproximadamente de 20 a 25 libras de cal por cada 1,000 galones de residuos sépticos. Las tres metodologías principales de estabilización previas a la aplicación al terreno son el agregar la mezcla de cal: 1) al camión de bombeo antes de que se bombeen los residuos ; 2) al camión de bombeo mientras se bombean los residuos sépticos, o 3) a un tanque que almacena los residuos que son descargados de un camión de bombeo. Muchas veces, los residuos y la cal se pueden mezclar por medio de un sistema difusor o de dispersión de burbuja gruesa ubicado en el tanque o en el camión. Se requiere de un tanque de almacenamiento separado para la mezcla de la cal y los residuos generados en la depuración. Esto es benéfico porque un tanque de retención separado permite que la mezcla sea más uniforme y que las actividades de muestreo, supervisión, y control sean más fáciles de realizar.

Digestión aerobia

Los residuos son aireados de 15 a 20 días en un tanque abierto para lograr la reducción biológica de los sólidos orgánicos y una reducción significativa de los olores. Los requerimientos del tiempo aumentan con las temperaturas más bajas. Normalmente, esto no es una opción rentable.

Digestión anaerobia

Los residuos se retienen de 15 a 30 días en un recipiente cerrado para alcanzar la reducción biológica de los sólidos orgánicos. Sin embargo, una ventaja es que la digestión anaerobia genera el gas metano, el cual se puede utilizar para el calentamiento del tanque digestor o para otros propósitos.

Compostaje

Los líquidos de los residuos o los sólidos son mezclados con un agente de abultamiento (por ejemplo, las virutas de madera, el aserrín) y son aireados mecánicamente o por volteo. La actividad biológica genera temperaturas que son lo suficientemente altas para destruir los agentes patógenos. El proceso de compostaje convierte los residuos sépticos en un material estable o material húmico que puede ser utilizado como acondicionador del terreno. Este proceso tiende a crear olores que pueden ser un problema si no son manejados correctamente. Una vez que los residuos sépticos son estabilizados, éstos son enviados a las instalaciones para tratamiento adicional o su disposición.

Tabla 4.6: Concentración Máxima de Metales para aplicación de biosólidos.

Metal	Concentración Limite (mg/kg)	Tasas acumulativas de carga contaminante (mg/kg)	Concentración del contaminante (mg/kg)
Arsénico	75	41	41
Cadmio	85	39	39
Cobre	4,300	1,500	1,500
Plomo	840	300	300
Mercurio	57	17	17
Molibdeno	75	NL	NL
Níquel	420	420	420
Selenio	100	100	100
Zinc	7,500	2,800	2,800

NL: No tiene límite establecido

Fuente: EPA, Septiembre 2000.

La Norma 503 de la EPA define dos tipos de biosólidos con respecto a la reducción de agentes patógenos, Clase A y Clase B, dependiendo del grado de tratamiento que los sólidos hayan recibido. Los dos tipos son adecuados para la aplicación al terreno, pero se imponen requisitos adicionales en la Clase B, como el acceso restringido del público al terreno de aplicación, la limitación de consumo por el ganado, y el control de los periodos de cosecha. Los biosólidos de la Clase A (biosólidos tratados de tal manera que no contengan agentes patógenos a niveles detectables) no están sujetos a estas restricciones. Además de la estabilización, la Norma 503 de la EPA establece las concentraciones máximas de metales que no pueden sobrepasarse en los biosólidos que van a ser aplicados al terreno, además del límite máximo de agentes patógenos, virus y bacterias.

4.3.2 APLICABILIDAD

Las actividades de aplicación al terreno son muy convenientes para el manejo de los sólidos en instalaciones de tratamiento de aguas residuales de cualquier tamaño. Este es el método de preferencia para instalaciones pequeñas al ofrecer ventajas económicas y beneficios al medio ambiente y a las comunidades agrícolas. Sin embargo, los biosólidos producidos por muchas áreas metropolitanas principales en todo el país son también aplicados al terreno. Por ejemplo, los biosólidos de la instalación de tratamiento de aguas residuales Blue Plains, que presta servicio al Distrito de Columbia y a comunidades circundantes en Virginia y Maryland, se han aplicado al terreno desde que se iniciaron las operaciones de la planta en 1930. Por lo menos una parte de la producción de biosólidos de instalaciones ubicadas en las ciudades de Philadelphia, Chicago, Denver, Nueva York, Seattle y Los Ángeles es aplicada al terreno. La aplicación al terreno es mucho más fácil de implementar en lugares en donde se dispone de terrenos agrícolas cercanos a la producción de biosólidos; sin embargo, los avances en las actividades de transporte han hecho que la aplicación de biosólidos al terreno sea viable incluso en distancias de transporte mayores a 1,000 millas. Por ejemplo, Philadelphia transporta los biosólidos deshidratados por 250 millas para convertir los terrenos al oeste de Pennsylvania en terrenos utilizables, y New York City envía algunos de sus biosólidos a más de 2,000 millas a Texas y Colorado.

4.3.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

VENTAJAS

La aplicación al terreno es una forma excelente de reciclar los sólidos contenidos en las aguas residuales siempre y cuando se controle la calidad del material. Estos biosólidos retornan nutrientes valiosos al terreno y mejoran las condiciones para el crecimiento de la vegetación. La aplicación al terreno es una opción relativamente económica, y la inversión de capital es generalmente menor comparada con otros métodos de manejo de biosólidos. Los contratistas pueden proporcionar el equipo necesario para el transporte y para la aplicación al terreno. Además, las necesidades de espacio en la planta de tratamiento pueden ser relativamente menores dependiendo del método de estabilización seleccionado.

DESVENTAJAS

Aún cuando la aplicación al terreno requiere un capital relativamente menor, se puede necesitar un extenso esfuerzo laboral. Incluso si se utilizan contratistas para la aplicación, la supervisión de dichas actividades es esencial para el éxito del programa. La aplicación al terreno está también limitada a ciertas épocas del año, especialmente en los climas más fríos. Los biosólidos no deben ser aplicados en terrenos congelados o cubiertos de nieve, y a veces los campos de cultivo no son accesibles durante la estación de crecimiento. Por lo tanto, es necesario proporcionar una capacidad de almacenamiento junto con programas de aplicación al terreno. Incluso cuando se logra una sincronización adecuada (por ejemplo, antes de plantar las cosechas en usos agrícolas), el estado del tiempo puede interferir con la aplicación. Las lluvias pueden hacer imposible que el equipo de aplicación llegue a los campos agrícolas, haciendo necesario el almacenaje de los biosólidos hasta que mejoren las condiciones climatológicas. Otra desventaja de la aplicación al terreno es la posible oposición pública, la

cual se desarrolla principalmente cuando el sitio de uso se ubica cerca de las áreas residenciales. Una de las principales causas de la oposición pública es el olor. Sin embargo, muchos programas exitosos han ganado el apoyo público a través de una comunicación efectiva, un componente absolutamente esencial en la aplicación benéfica de los biosólidos.

4.3.4 IMPACTOS AMBIENTALES

A pesar de tener diversos efectos positivos en el ambiente, la aplicación al terreno puede tener impactos negativos en el agua, el suelo y el aire si dicha aplicación no se realiza correctamente. Los impactos negativos en el agua resultan por la aplicación de biosólidos utilizando tasas que exceden los requerimientos nutritivos de la vegetación. El exceso de nutrientes en los biosólidos (principalmente los compuestos de nitrógeno) pueden lixiviarse del suelo y llegar al agua subterránea. La escorrentía pluvial puede también transportar un exceso de nutrientes al agua superficial. Sin embargo, debido a que los biosólidos son un fertilizante de liberación lenta, la probabilidad de que los compuestos de nitrógeno sean lixiviados de suelos mejorados con biosólidos, es menor a la del uso de fertilizantes químicos. En las áreas fertilizadas por medio de biosólidos o de productos químicos, la probabilidad de estos impactos es mitigada mediante prácticas de manejo apropiadas, las cuales incluyen la aplicación de biosólidos utilizando tasas agronómicas (las tasas a las cuales los nutrientes son utilizados por la vegetación). El mantenimiento de zonas de separación entre las áreas de aplicación y los cuerpos de agua superficiales, y las prácticas de conservación del suelo minimizan los impactos en el agua superficial. Los olores producidos por la aplicación de biosólidos representan el principal impacto negativo al aire. La mayoría de los olores asociados con la aplicación al terreno son una molestia más que una amenaza a la salud humana o al ambiente. Las actividades para el control de olores se centran en reducir la generación de olores de los biosólidos, o en incorporar los biosólidos al terreno. Los procesos de estabilización tales como la digestión pueden disminuir la generación de olores. Los biosólidos que han sido desinfectados a través de la adición de cal pueden emitir olores de amoníaco, pero esto generalmente sucede en un área restringida y los olores se disipan de una manera rápida. La estabilización de biosólidos reduce los olores y da lugar a una operación que es menos desagradable que la aplicación de estiércol. En general, es preferible el uso de un programa de aplicación de biosólidos al terreno manejado adecuadamente, al uso de fertilizantes convencionales por las siguientes razones:

- Los biosólidos son productos reciclados, cuya aplicación no reduce la cantidad de ningún recurso no renovable tal como el fósforo.
- Los nutrientes contenidos en los biosólidos no son tan solubles como aquellos en los fertilizantes químicos, y por lo tanto se liberan más lentamente.
- Se requiere que los aplicadores de biosólidos mantengan una separación adecuada con los recursos del agua, y en la mayoría de los casos están sujetos a prácticas más rigurosas para la conservación y el control de la erosión del suelo, el manejo de los nutrientes, y los requisitos de mantenimiento de expedientes e informe que en el caso de los agricultores que sólo utilizan fertilizantes químicos o estiércol.
- La aplicación de los biosólidos requiere un monitoreo detallado.
- La materia orgánica en los biosólidos mejora las características del terreno para el crecimiento óptimo de las plantas, incluyendo lo apropiado del cultivo, la friabilidad, la fertilidad y la capacidad de retención de agua. Además, los biosólidos disminuyen la necesidad del uso de pesticidas.

Tabla 4.7: Escenarios típicos de aplicación de Biosólidos en Estados Unidos.

Tipo de área/ vegetación	Periodo	Frecuencia de aplicación	Tasa de aplicación
Maíz	Abril, mayo luego de la cosecha	Anualmente	5 a 10 toneladas secas /acre
Granos pequeños	Marzo a junio, agosto y en otoño	Hasta 3 veces por año	2 a 5 toneladas secas/acre
Semilla de soya	Abril a junio y en el otoño	Anualmente	5 a 20 toneladas secas/acre
Heno	Después de cada poda	Hasta tres veces por año	2 a 5 toneladas secas/acre
Área de bosques	Todo el año	Una vez cada 2 a 5 años	5 a 100 toneladas secas/acre
Terreno de pastoreo	Todo el año	Una vez cada 1 a 2 años	2 a 60 toneladas secas/acre
Áreas de recuperación	Todo el año	Una vez	60 a 100 toneladas secas/acre

Fuente: EPA, 2000.

CONCLUSIONES

- Los mayores niveles de contaminación se observan en la época seca pues todos los parámetros analizados para determinar la calidad del agua evidencian este hecho, ya que en la realización del segundo muestreo todos los parámetros resultaron tener valores mas bajos en comparación con los del primer muestreo, debido a que ya se habían experimentado las primeras precipitaciones.
- El parámetro que ejerce mayor contaminación sobre las aguas del río Acelhuate en el tramo Zoológico- Rio Arenal Monserrat son los coliformes fecales, y de acuerdo a los análisis el punto más crítico se identifica en el Barrio La Vega, el resultado ha sobrepasado 90 mil veces el límite permisible de aguas utilizadas para riego según el SNET, y rebasado 45 mil veces el permisible para aguas de descarga según la NSO del CONACYT.
- El alto contenido de coliformes fecales presentes en los puntos de muestreo está relacionado con el tipo de asentamiento urbano del Distrito 5 el cual es predominantemente de tipo habitacional, quienes descargan libremente sobre la cuenca las excretas específicamente las situadas en la rivera del río.
- Los puntos identificados como 1 y 2 ambos ubicados en el Barrio La Vega y Candelaria resultaron con un ICA clasificado como de pésima calidad lo cual imposibilita la existencia de vida acuática en el río, mientras que en el punto 3 ubicado en el Zoológico resulto con una mala calidad lo cual limita las especies acuáticas que pueden desarrollarse en este tramo del Río.
- La DQO sobrepasa los límites máximos permisibles para descargar aguas residuales de tipo ordinario a un cuerpo receptor, lo que indica que el oxígeno presente en el agua no es suficiente para degradar la materia orgánica e inorgánica contenida en el cuerpo de agua.
- El Oxígeno Disuelto en las aguas del río Acelhuate en el tramo de estudio es menor de 2 ppm; los niveles mas bajos de dicho componente fueron identificados en el punto 1 (Barrio La Vega), por lo que el efecto que causa esta baja concentración de oxígeno es

fatal para la mayor parte de las especies, siendo el límite mínimo permisible de 7 ppm, según el CONACYT.

- En otros países como el caso de Estados Unidos se tienen ejemplos de casos exitosos donde Ríos que estaban perdiendo su calidad han sido recuperados y las aguas residuales tratadas han tenido una diversidad de usos. No se debe perder de vista que en El Salvador existen limitantes de tipo económico, pero ya existen organismos que están decididos a contribuir en alguna medida a disminuir las descargas contaminantes en los cuerpos superficiales, como es el caso de municipalidades como Suchitoto, Juayua, San Jose Las Flores en Chalatenango entre otras.

RECOMENDACIONES

Para el rescate de la cuenca del río Acelhuate en general se sugiere:

- Crear esquemas que contemplen la coordinación intersectorial, interinstitucional y de carácter interdisciplinario, para emitir recomendaciones, lineamientos y normas o criterios en todos los aspectos: legales, sanitarios, técnicos y económicos sobre el tratamiento y reuso de las aguas residuales, a fin de que las acciones no se dispersen o se ejecuten en forma aislada por cada sector, y buscando racionalizar los esfuerzos e inversiones.
- Tratar el problema de la contaminación del Río de forma integral, es decir que se deben sumar esfuerzos no solo del Distrito cinco sino mas bien deben incluirse todos los municipios que forman parte del Gran San Salvador y que de cierta manera aportan descargas de diversa naturaleza al río Acelhuate, pues no tendría ningún sentido la inversión en una planta de tratamiento solo para el sector en estudio si mas adelante el río recibe el aporte de otros tributarios como los ríos Tomayate y Las Cañas entre otros.
- Es indispensable la puesta en marcha de la Ley de Ordenamiento Territorial, tomando en cuenta la protección de cuencas hidrográficas como es el caso del Río Acelhuate.
- La implementación del sistema de tratamiento propuesto puede contribuir en gran medida a la recuperación del río Acelhuate en toda su extensión no solo del tramo en estudio , sin perder de vista que el problema de la contaminación debe ser tratado integralmente, permitiendo de esta manera resurgir la vida acuática en dicho cuerpo superficial, además de que sus aguas tratadas podrán tener otros usos como agua para riego, para apagar incendios, para actividades recreativas como el riego de parques que pueden disminuir el consumo de agua de la red de distribución de ANDA en el Gran San Salvador y en otros puntos de El Salvador en aquellas actividades donde pueda ser reutilizada el agua tratada.

- Promover y estimular las inversiones del sector privado en proyectos integrales de tratamiento y reuso de aguas residuales, orientados al incremento de la productividad y al mejor uso o aprovechamiento de los recursos agua y suelo.

Para el Distrito cinco se sugieren los siguientes aspectos:

- Continuar las campañas de limpieza de la cuenca impulsadas por el Comité de rescate del Rio Acelhuate para disminuir la cantidad de sólidos de gran tamaño que son descargadas en el cuerpo receptor.
- Minimizar la cantidad de vertidos de origen domestico e industrial en el cauce del Rio Acelhuate.
- Evaluar la posibilidad de rediseñar algunas redes de tuberías de aguas negras que drenan directamente en las riberas del rio.
- Fomentar en las industrias localizadas dentro del Distrito Cinco y en sus pobladores programas de ahorro de consumo de agua, ya que ello disminuiría en gran medida la cantidad de vertidos industriales y domésticos que son descargados en el Rio.
- Implementar una cultura de reciclaje, dando a conocer a la población del Distrito Cinco que existen ciertos materiales que pueden ser reutilizados, como es el caso de las baterías y otros materiales generando una disminución considerable de la carga contaminante aportada por dichos materiales en el cauce del rio Acelhuate.
- Incluir dentro de las escuelas charlas donde se fomente en niños y jóvenes conciencia ambiental en materia de contaminación de los recursos hídricos en especial de la cuenca del rio Acelhuate.

BIBLIOGRAFIA

1. Alcaldía Municipal de San Salvador. "Diagnóstico Ambiental del Distrito Cinco", 2005.
2. SNET, MARN. "Evaluación de la contaminación del río Acelhuate a través de la aplicación de un índice de calidad general durante el año 2003". Consultada 10 de Febrero de 2010. www.marn.gob.sv
3. MARN. Ley del Medio Ambiente y sus reglamentos, 2007.
4. Nelcy Vicky Celina, Juan Carlos Henríquez. "Calidad del agua en la subcuenca sur del Río Acelhuate, conformada por los ríos Ilohuapa y Garrobo, y propuestas de mitigación de fuentes contaminantes". UES. 2009.
5. Turcios Ibarra, Ángel María y otros. "Hacia la gestión sustentable del Agua en El Salvador. Propuestas básicas para elaborar una política nacional hídrica". Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES).
6. CONACYT. "Aguas Residuales descargadas a un cuerpo receptor". Norma Salvadoreña Obligatoria. Octubre de 1996.
7. ANDA. "Norma para regular calidad de aguas residuales de tipo especial descargadas al alcantarillado sanitario". Consultada 30 de marzo de 2010. www.anda.gob.sv.
8. Miranda, Jaime. Tratamiento Analítico de las Aguas Servidas .Universidad de Chile. Consultada 1 de Marzo de 2010. <http://cabierta.uchile.cl/revista/6/aguas.htm>.
9. Cordero, Franco y Hernández. "Diagnostico de la Calidad del agua en época seca, en el canal principal del Rio Jiboa y propuesta de mitigación de fuentes contaminantes en una zona critica". UES, 2005.
10. SNET, "Calculo del Índice General de Calidad del Agua". Consultada 12 de Marzo de 2010. www.snet.gob.sv.
11. SNET, "Balance Hídrico Integrado y Dinámico en El Salvador. Componente evaluación de recursos hídricos". Consultada 20 de Marzo de 2010. www.snet.gob.sv
12. Parámetros utilizados para medir la Calidad del agua. Consultada 1 de Abril de 2010. http://www.madrid.org/cs/Satellite?c=CM_InfPractica_FA&cid=1114188118859&idTeMa=11092656004.

13. Artículo sobre la calidad del agua. Consultada 12 de abril de 2010. <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2008/02/02/83698>.
14. EPA. Folleto Informativo de Sistemas sobre sistemas descentralizados. "Tratamiento y Disposición de Residuos Sépticos". Septiembre 1999. Consultada 26 de Marzo de 2010. www.epa.gov/safewater.
15. EPA. Folleto Informativo de Sistemas sobre sistemas descentralizados. "Sistemas de tanques sépticos para aplicaciones de alto caudal". Septiembre 2000. Consultada 26 de Marzo de 2010. www.epa.gov/safewater.
16. EPA. Folleto Informativo de Sistemas sobre sistemas descentralizados. "Tanque Séptico sistemas de absorción al suelo". Septiembre 1999. Consultada 28 de Marzo de 2010. www.epa.gov/safewater.
17. EPA. Folleto Informativo de tecnología de biosólidos. "Aplicación de biosólidos al terreno". Septiembre de 2000. Consultada 28 de Marzo de 2010. www.epa.gov/safewater.
18. Artículo de contaminación de las aguas por metales. Consultada 1 de Mayo de 2010. http://www.sagan-gea.org/hojared_AGUA/paginas/15agua.html.
19. Autoridad de Agua y Alcantarillado del Distrito de Columbia. "Informe sobre la calidad del Agua". 2005. Consultada 13 de Mayo de 2010. www.epa.gov/safewater.
20. Wikipedia, Enciclopedia Libre. Artículo sobre el Tratamiento de Aguas Residuales". Consultada 3 de Mayo de 2010. http://es.wikipedia.org/wiki/Tratamiento_de_aguas_residuales
21. Tipos de Tratamientos Terciarios para Aguas Residuales. Consultada 5 de Mayo de 2010. <http://www.lenntech.es/micro-y-ultra-filtracion.htm>.
22. Ing. Olga Orellana. "INVESTIGACIÓN APLICADA SOBRE EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA EN LAS CUENCAS DEL RIO SUCIO, ACELHUATE Y CUAYA". UCA, Enero 1997. <http://www.uca.edu.sv/investigacion/fiaes/fiaes1.html>. Consultada 20 de Mayo de 2010.
23. Soluciones de tratamiento de efluentes aceitosos. Consultada 20 de Mayo de 2010. https://www.e-seia.cl/archivos/3e4_gyaAP.pdf.

24. Pretratamiento y Tratamiento primario de Aguas Residuales. Consultada 20 de Mayo de 2010. http://www.capac.org/web/Portals/biblioteca_virtual/CAPITULO11.pdf
25. Tratamiento de Lodos provenientes de las Etapas Primaria y Secundaria. Consultada 17 de Junio de 2010. www.lenntech.es/tratamiento-lodos.

GLOSARIO

A

Acuífero: Se refiere a una formación geológica de material poroso que tiene la capacidad de almacenar una apreciable cantidad de agua.

Afluente Agua u otro líquido que ingresa a una planta de tratamiento o proceso de tratamiento.

Agua residual: Es el agua que ya ha sido utilizada en diferentes actividades y contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.

Aguas residuales de tipo especial: Agua residual generada por actividades agroindustriales, industriales, hospitalarias y todas aquellas que no se consideran de tipo ordinario.

Aguas residuales de tipo ordinario: Agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.

Aireación: Proceso de transferencia de oxígeno del aire al agua por medios naturales (flujo natural, cascadas, etc.) o artificiales (agitación mecánica o difusión de aire comprimido).

Aireación mecánica: Se refiere a la introducción de oxígeno del aire en un líquido por medio de un agitador mecánico.

Aireación prolongada: Una modificación del tratamiento con lodos activados que facilita la mineralización del lodo en el tanque de aeración.

Anaerobio: Es aquella Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre.

Agua residual: es el agua resultante de cualquier uso, proceso u operaciones de tipo agropecuario, doméstico e industrial, sin que forme parte de productos finales.

Aguas residuales de tipo ordinario: Agua residual generada por las actividades domésticas de los seres humanos, tales como uso de servicios sanitarios, lavatorios, fregaderos, lavado de ropa y otras similares.

Aguas servidas: Son las aguas provenientes de lavamanos, tinas, duchas, que no se relacionan con materia fecal.

B

Bacterias: Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica

principalmente en la etapa de tratamiento secundario participan como agentes que degradan la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Biodegradación: Hace referencia a la transformación de la materia orgánica presente en las aguas residuales en compuestos menos complejos, por acción de microorganismos.

By-pass: Es el conjunto de elementos que son utilizados para desviar el agua residual de un proceso o planta de tratamiento en condiciones de emergencia, de mantenimiento o de operación.

C

Carga contaminante ó carga másica: Medida que representa la masa de contaminante por unidad de tiempo que es vertida por una corriente residual. Comúnmente se expresa en T/año, T/día ó Kg/d.

Carga superficial: Caudal o masa de un parámetro por unidad de área que se usa para dimensionar un proceso del tratamiento.

Caudal máximo horario: Se refiere al Caudal a la hora de máxima descarga.

Clarificación: Proceso de sedimentación para eliminar los sólidos sedimentables del agua residual.

Cloración: Aplicación de cloro o compuestos de cloro al agua residual para desinfección y en algunos casos para oxidación química o control de olores.

Coagulación: Es la Aglomeración de partículas coloidales (< 0,001 mm) y dispersas (0,001 a 0,01 mm) en coágulos visibles, por adición de un agente químico o coagulante.

Coagulante: Electrolito simple, usualmente sal inorgánica, que contiene un catión multivalente de hierro, aluminio o calcio. Se usa para desestabilizar las partículas coloidales favoreciendo su aglomeración.

Coliformes: Bacterias Gram negativas no esporuladas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a $35 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$, en 24 horas, se denominan coliformes fecales (ahora también denominados coliformes termo-tolerantes).

Contaminación: Es la alteración de la calidad física, química, biológica y radiactiva del agua.

Cuenca hidrográfica: Área total que vierte sus aguas de esorrentía a un único río. Extensión del territorio cuyas aguas convergen hacia un río principal.

Cuerpo de agua superficial: Masa de agua estática o en movimiento permanente o intermitente, como ríos, lagos, lagunas, fuentes, mares y embalses.

Cuerpo receptor: Se refiere al cuerpo de agua superficial expuesto a recibir descargas de cualquier tipo de aguas residuales.

D

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) a 20°C: Cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación biológica de sustancias orgánicas biodegradables presentes en el agua, a los 5 días a 20°C.

Demanda Química de Oxígeno (DQO): Cantidad de oxígeno necesaria para producir la oxidación química fuerte de sustancias susceptibles de origen inorgánico y orgánico presentes en el agua.

Depuración de aguas residuales: Purificación o remoción de sustancias objetables de las aguas residuales; se aplica exclusivamente a procesos de tratamiento de líquidos.

Desarenadores: Cámara diseñada para reducir la velocidad del agua residual y permitir la remoción de sólidos minerales (arena y otros), por sedimentación.

Descarga: Es el agua residual vertida a un cuerpo receptor por ejemplo un río, un lago, un embalse, etc.

Deshidratación de lodos: Proceso de remoción del agua contenida en los lodos para su posterior uso principalmente en actividades de cultivo.

Desinfección La destrucción de microorganismos presentes en las aguas residuales mediante el uso de un agente desinfectante.

Digestión: Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo que produce una mineralización, licuefacción y gasificación parcial.

Digestión aerobia: Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en presencia de oxígeno.

Digestión anaerobia: Descomposición biológica de la materia orgánica del lodo, en ausencia de oxígeno.

E

Edad del lodo: Parámetro de diseño y operación propio de los procesos de lodos activados que resulta de la relación de la masa de sólidos volátiles presentes en el tanque de aeración dividido por la masa de sólidos volátiles removidos del sistema por día. El parámetro se expresa en días.

Efluente: Es el líquido que sale luego de un proceso de tratamiento.

Efluente final : Líquido que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales para ser vertido a un cuerpo receptor.

F

Fuente no puntual: Fuente de contaminación dispersa.

Fuente puntual: Cualquier fuente definida que descarga o puede descargar contaminantes.

G

Grupo coliforme fecal: Son aquellos microorganismos que crecen y producen gas a partir de la lactosa en un medio que contiene sales biliares u otros agentes selectivos equivalentes, incubados a temperaturas de 44 a 45,5°C.

I

ICA: Índice de Calidad del Agua, este se mide tomando en cuenta nueve parámetros los cuales son: Coliformes fecales, Oxígeno Disuelto, pH, DBO, DQO, Nitratos, Fosfatos, Cambio de temperatura, Turbidez y Sólidos disueltos totales.

Impacto Ambiental: Hace referencia al daño que se le ocasiona al medio ambiente en todas sus expresiones a través de las actividades realizadas por el ser humano.

Industria: Se considera la instalación industrial y sus anexos y dependencias, ya sean cubiertas o descubiertas, que se dediquen a la manipulación, elaboración o transformación de productos naturales o artificiales mediante tratamiento físico, químico, biológico y otros, utilizando o no maquinaria.

L

Lecho de secado : Tanques de profundidad reducida con arena y grava sobre drenes, destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación.

Límite Máximo Permisible: Son los valores y rangos de los parámetros establecidos en las normativas referentes a las aguas residuales, los cuales no deben ser excedidos por el responsable de la descarga de dichas aguas.

Lodo activado: Lodo constituido principalmente de biomasa con alguna cantidad de sólidos inorgánicos que recircula del fondo del sedimentador secundario al tanque de aeración en el tratamiento con lodos activados.

Luz ultravioleta (UV): Es la luz que es invisible al ojo humano debido a la longitud de onda que es demasiado corta quedando fuera del espectro visible. La luz UV tiene una alta cantidad de energía y puede afectar a las células de los seres vivos, a pesar de que no es visible. En las

instalaciones de tratamiento de aguas residuales se puede utilizar para matar las bacterias no deseadas.

M

Manejo de aguas residuales: Conjunto de obras de recolección, tratamiento y disposición y acciones de operación, monitoreo, control y vigilancia en relación a las aguas residuales.

Material flotante: Sustancias que permanecen temporal o permanentemente en la superficie del cuerpo de agua limitando su uso.

Materia orgánica: Es la materia que viene de algo vivo y tienen como componente principal Carbono. Cosas como la piel, el pelo, las hojas muertas, y la madera son los materiales orgánicos.

Metales pesados Elementos metálicos de alta densidad (por ejemplo, mercurio, cromo, cadmio, plomo) generalmente tóxicos, en bajas concentraciones al hombre, plantas y animales.

Muestra compuesta: son dos ó más muestras simples que han sido mezcladas en proporciones conocidas y apropiadas para obtener un resultado promedio representativo de sus características. Las proporciones se basan en mediciones de tiempo y caudal.

Muestra simple: es aquella tomada en forma inmediata, de tal forma que el tiempo empleado en su extracción sea el transcurrido para obtener el volumen necesario.

N

Nivel Freático: Profundidad de la superficie de un acuífero libre con respecto a la superficie del terreno.

Nutriente: Cualquier sustancia que al ser asimilada por organismos, promueve su crecimiento. En aguas residuales se refiere normalmente al nitrógeno y fósforo, pero también pueden ser otros elementos esenciales.

O

Oxígeno Disuelto: Es un parámetro que determina si el agua es potable o no, entre mas oxígeno disuelto tenga será mas apta para el uso y consumo humano.

P

Parámetro: Es aquella característica que es sometida a medición.

Parásito: Organismo protozoario o nematodo que habitando en el ser humano puede causar enfermedades.

pH : Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.

Planta de tratamiento: Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales.

Planta piloto: Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso.

Pretratamiento: Procesos que acondicionan las aguas residuales para su tratamiento posterior.

Proceso biológico: Asimilación por bacterias y otros microorganismos de la materia orgánica del desecho, para su estabilización.

Proceso de lodos activados: Tratamiento de aguas residuales en el cual se somete a aeración una mezcla de lodo activado y agua residual. La mezcla es sometida a sedimentación para su posterior recirculación o disposición de lodo activado.

R

Reuso de aguas residuales: Utilización de aguas residuales debidamente tratadas para un propósito específico.

S

Sedimentación primaria: Remoción de material sedimentables presente en las aguas residuales crudas. Este proceso requiere el tratamiento posterior del lodo decantado.

Sedimentación secundaria: Proceso de separación de la biomasa en suspensión producida en el tratamiento biológico.

Sistemas de Alcantarillado Sanitario: Conjunto o sistema de obras, instalaciones y servicios que tienen por objeto la evacuación y disposición final de las aguas residuales; tal conjunto o sistema comprende: las alcantarillas sanitarias con sus pozos de visita; los colectores maestros, de descarga y los sistemas de tratamiento.

Sistema combinado: Sistema de alcantarillado que recibe aguas de lluvias y aguas residuales de origen doméstico o industrial.

Sistema individual de tratamiento: Sistema de tratamiento para una vivienda o un número reducido de viviendas.

Sólidos sedimentables: materia que se deposita por acción de la gravedad en el fondo de cualquier recipiente o cuerpo receptor que contenga agua.

Sólidos totales: cantidad de materia sólida que permanece como residuo, posterior a la evaporación total del agua.

Sólidos totales disueltos: cantidad de materia que permanece como residuo, posterior a la evaporación total de agua en una muestra a la cual se le ha realizado separación de sólidos.

Sólidos suspendidos totales o en suspensión: son los sólidos no solubles que representan la diferencia entre los sólidos totales y los sólidos totales disueltos.

T

Tóxicos: Elementos o compuestos químicos capaces de ocasionar daño por contacto o acción sistémica a plantas, animales y al hombre.

Tratamiento avanzado: Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico para alcanzar un grado de tratamiento superior al tratamiento secundario. Puede implicar la remoción de varios parámetros como:

- Remoción de sólidos en suspensión (microcribado, clarificación química, filtración, etc.);
- Remoción de complejos orgánicos disueltos (adsorción, oxidación química, etc.);
- Remoción de compuestos inorgánicos disueltos (destilación, electrodiálisis, intercambio iónico, ósmosis inversa, precipitación química, etc.);
- Remoción de nutrientes (nitrificación-denitrificación, desgasificación del amoníaco, precipitación química, asimilación, etc.).

Tratamiento biológico: Procesos de tratamiento que intensifica la acción de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente.

Tratamiento convencional: Proceso de tratamiento bien conocido y utilizado en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario y frecuentemente se incluye la desinfección mediante cloración. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.

Tratamiento de aguas residuales: es la utilización de procesos físicos, químicos y/o biológicos, definidos para depurar las condiciones de las aguas residuales a través de operaciones y procesos unitarios: preliminares, primarios, secundarios o avanzados a fin de cumplir con las normas vigentes.

Tratamiento de lodos: Procesos de estabilización, acondicionamiento y deshidratación de lodos.

Tratamiento primario: Remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta.

Tratamiento químico: Aplicación de compuestos químicos en las aguas residuales para obtener un resultado deseado; comprende los procesos de precipitación, coagulación, floculación, acondicionamiento de lodos, desinfección, etc.

Tratamiento secundario: Nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión.

Tratamiento terciario: Tratamiento adicional al secundario es equivalente al tratamiento avanzado.

Turbiedad (Turbidez): es la medida de la transparencia de una muestra de agua debido a la presencia de partículas en suspensión, expresada en NTU.

V

Vertido: Sinónimo de descarga.

SIGLAS

AMSS: Alcaldía Municipal de San Salvador

ANDA: Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados.

ECOSAN: Eco-saneamiento Ecológico.

EPA: Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos.

MARN: Ministerio de Medio y Recursos Naturales.

SNET: Sistema Nacional de Estudios Territoriales.

NSO: Norma Salvadoreña Obligatoria

ABREVIATURAS

°C = Grado Celsius ó Centígrado

DBO5 = Demanda Bioquímica de Oxígeno a los cinco días a 20°C

DQO = Demanda Química de Oxígeno

ml = Mililitro

ml/l = Mililitros por litro

mg/l = Miligramos por litro

NMP = Número más Probable

NTU = Unidades Nefelométricas de Turbiedad

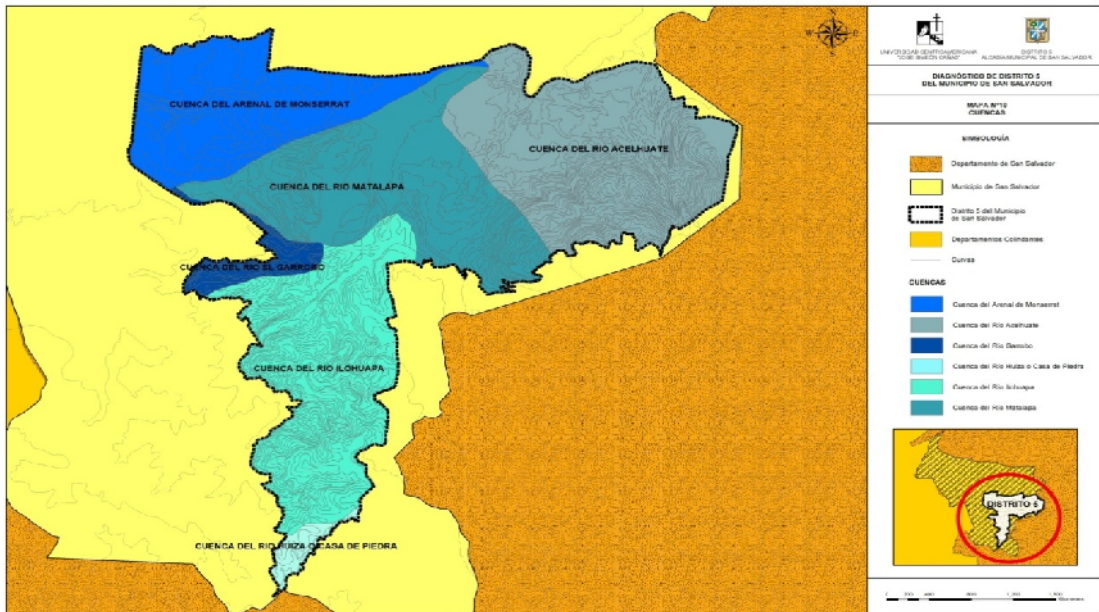
OD= Oxígeno Disuelto

PTR= Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

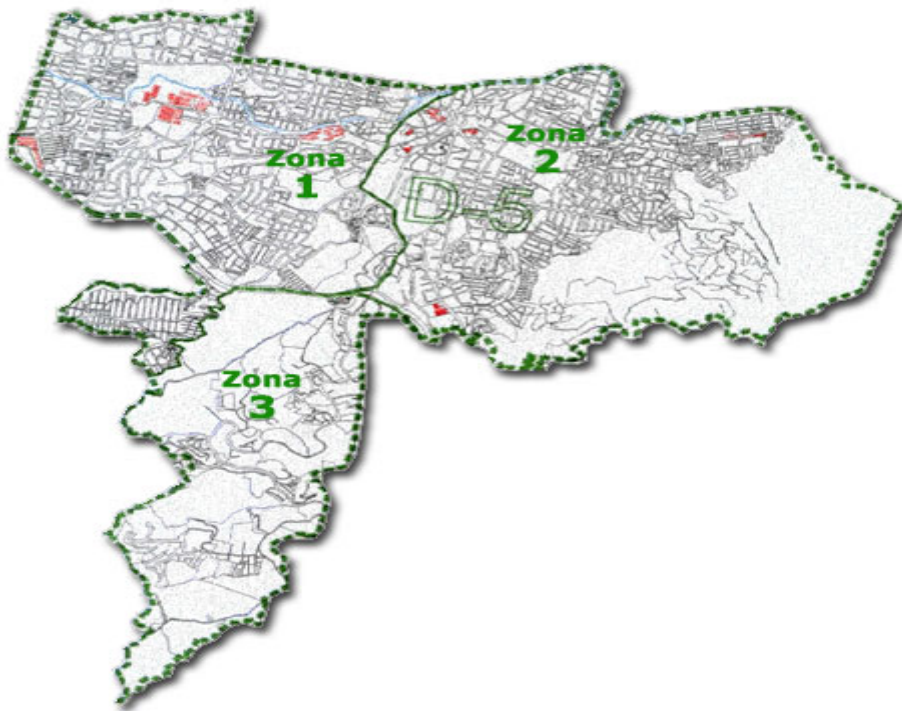
ST = Sólidos totales

STD = Sólidos totales disueltos.

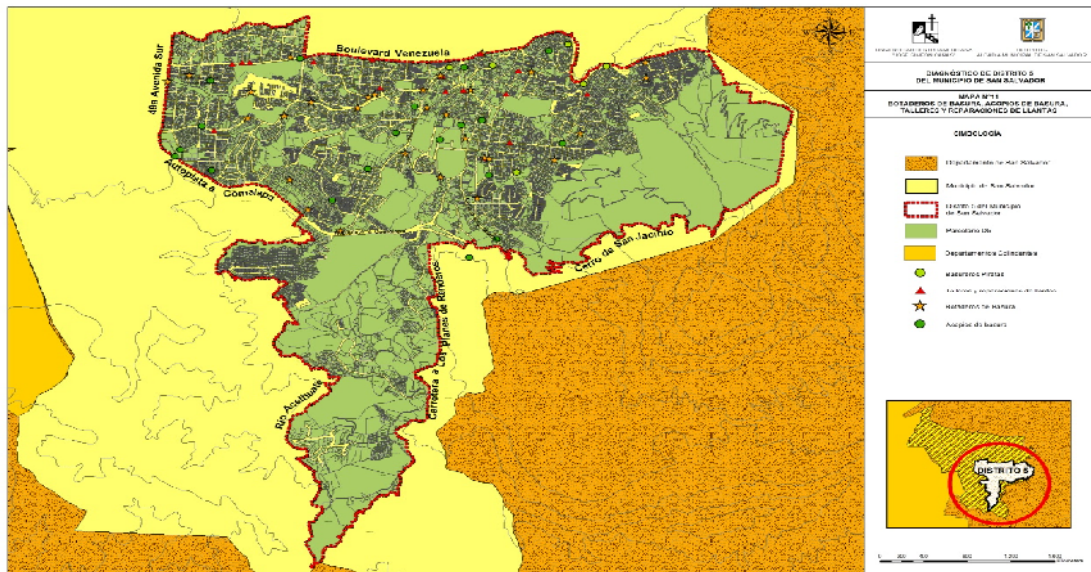
ANEXOS



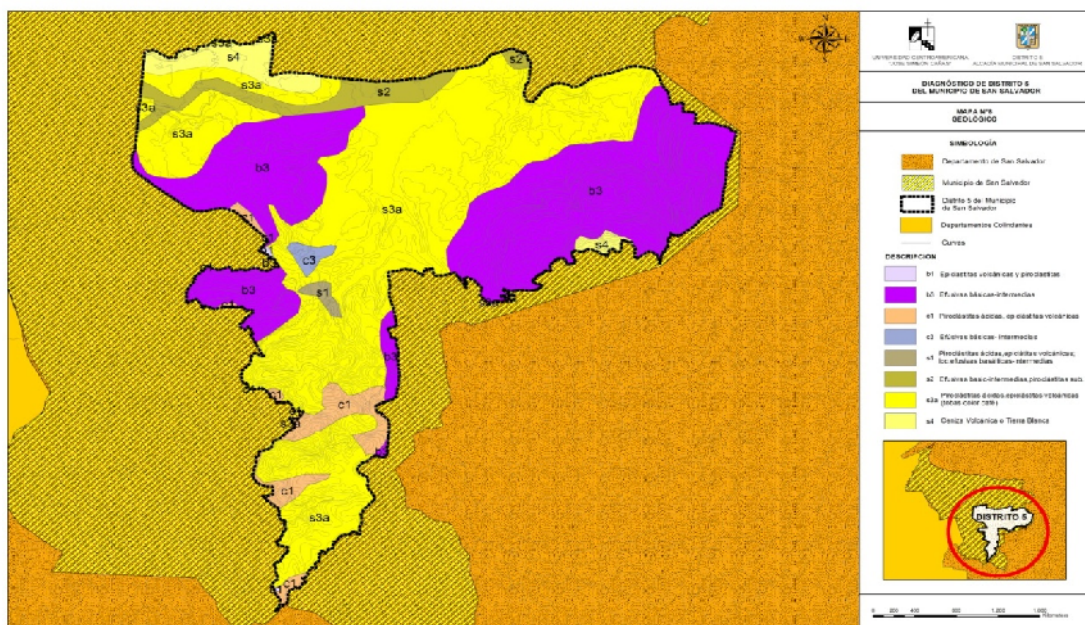
ANEXO 1.1. Cuencas hidrográficas del Distrito cinco.



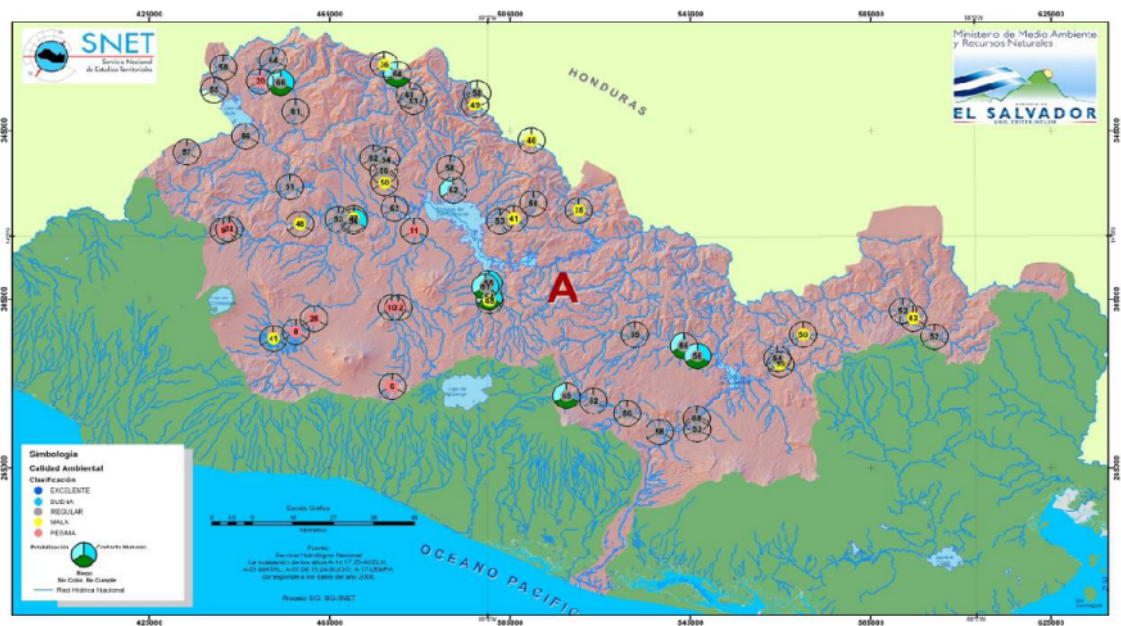
ANEXO 1.2: Zonificación del Distrito cinco. División Política.



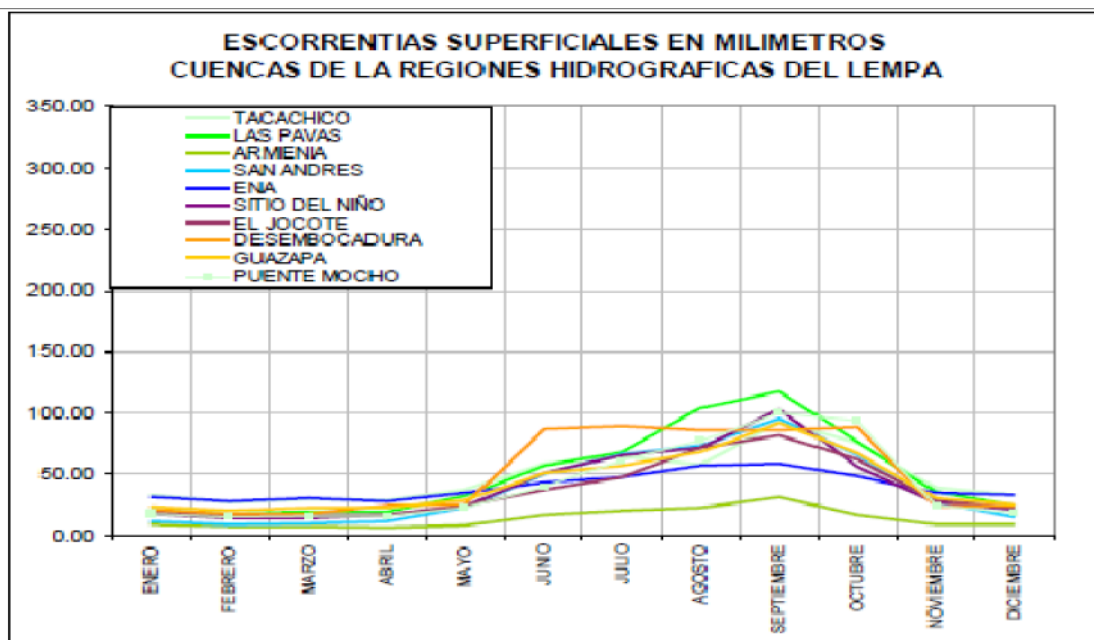
ANEXO 1.3: Localización de basureros y llanteras en el distrito 5.



ANEXO 1.4: Mapa geológico del distrito 5.



ANEXO 2.1: Región Hidrográfica A. Rio Lempa.



ANEXO 2.2. Escorrentía Superficial registrada en cuencas de la región hidrográfica A (cuencas de los ríos Sucio, Suquiapa, Acelhuate).

ANEXO 3.1 : Especificaciones de calidad de agua para riego.

Clasificación del agua	Conductividad eléctrica Mhos * 10 ⁻⁶ /cm	Sólidos disueltos mg/l	% de sodio	Boro mg/l	Cloruros mg/l	Sulfatos mg/l
Buena	750	525	4	2	248	336
Permisible	750-2000	525-1400	4-60	2-3	248-426	336-575
Dudosa	2000-3000	1400-2100	60-80	3-3.75	426-710	575-960
Mala	3000	2100	80	3.75	710	960

Fte. Dirección general de riego y drenaje Ministerio de Agricultura y Ganadería

ANEXO 3.2: Tolerancia de microelementos en aguas de riego, ppm

Elemento	Para uso continuo en todos los suelos	Para uso limitado en suelos de texturas finas	Observaciones
Aluminio	0.5-1.0	20	
Arsénico	1	10	
Berilio	0.5	1	Inhibe crecimiento frijol a 0.5
Boro	0.5-0.75	2	
Cadmio	0.005	0.05	
Cromo	5	20	
Cobalto	0.2	10	>0.1 causa toxicidad en plantas de tomate
Cobre	0.2	5	<0.1 ha producido efectos toxicos
Plomo	5	20	
Litio	5	5	
Manganeso	2	20	
Molibdeno	0.005	0.05	
Niquel	0.5	2	
Selenio	0.05	0.05	
Vanadio	10	10	
zinc	5	10	

Fuente: MAG

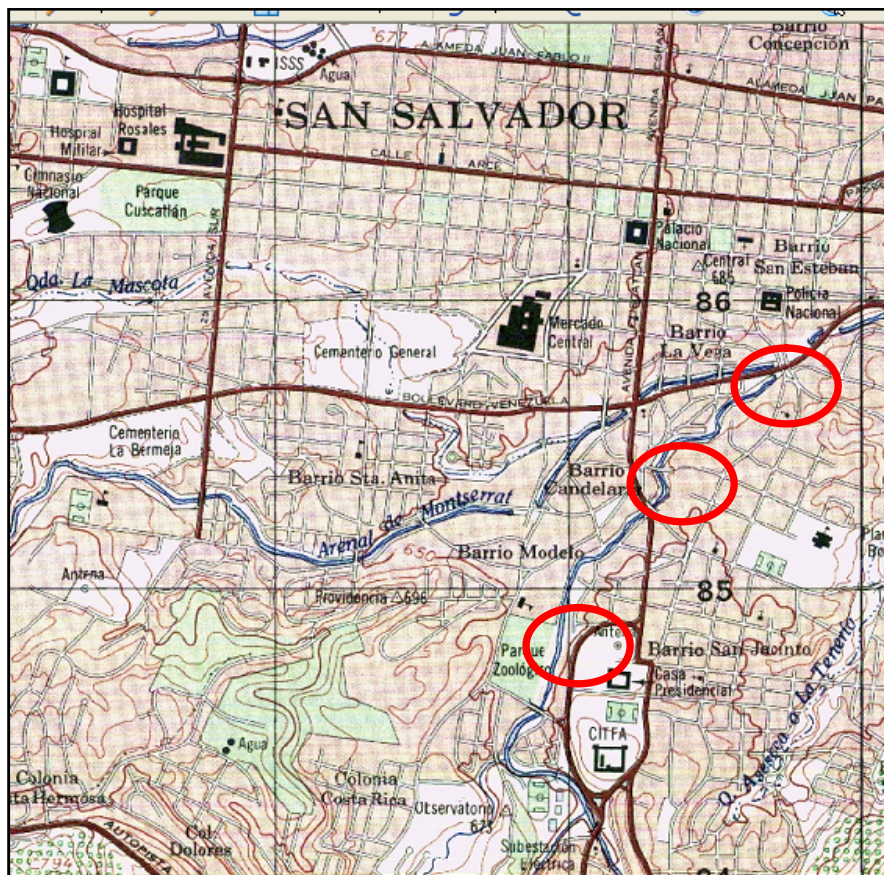
ANEXO 3.3: Características Químicas de efluentes de lavanderías y talleres de automóviles que generalmente se encuentran en cualquier área urbana (compilado US-EPA, 1980).

Metales	Concentraciones g/l			
	Lavanderías		Talleres de autos	
	Máxima	Mediana	Maxima	Mediana
Arsénico	1600	11	1560	10
Cadmio	520	24	26	20
Cromo	8800	131	64	30
Cobre	11000	273	860	140
Cianuro	1000	34	No analizada	
Plomo	22000	733	4200	510
Mercurio	51	1	26	4
Niquel	2400	72	690	120
Selenio	120	1	5	5
Plata	10	4	10	5
Zinc	10000	1362	2420	590
Ftalatos				
Bisftalatos (2, etilhexilo)	17500	384	1000	56
di-n-butilftalatos	820	8	15	15
Fenoles				
2-4 diclorofenol	10	n.d	No analizada	
Pentaclorofenol	9	n.d	15	14
Fenol	10	4	No analizada	
Aromaticos				
Benceno	23400	9	No analizada	
Clorobenceno	12	6	No analizada	
Diclorofenol	1100	4	No analizada	
Etilbenceno	17500	n.d		
Tolueno	50900	354		
Hidrocarburos policiclicos aromaticos				
Antraceno	470	4	34	34
Naftaleno	4800	8	170	170
Pireno	1	n.d	11	11
Compuestos alifaticos halogenados				
Tetraclorocarbono	1700	n.d	No analizada	
Cloroformo	34600	19	83	37
Clorometileno	14700	3	640	240
1,1,1-tricloreetano	6600	435	No analizada	
Tricloroetileno	130	n.d	13	13
Tetracloroetileno	93200	1669	No analizada	

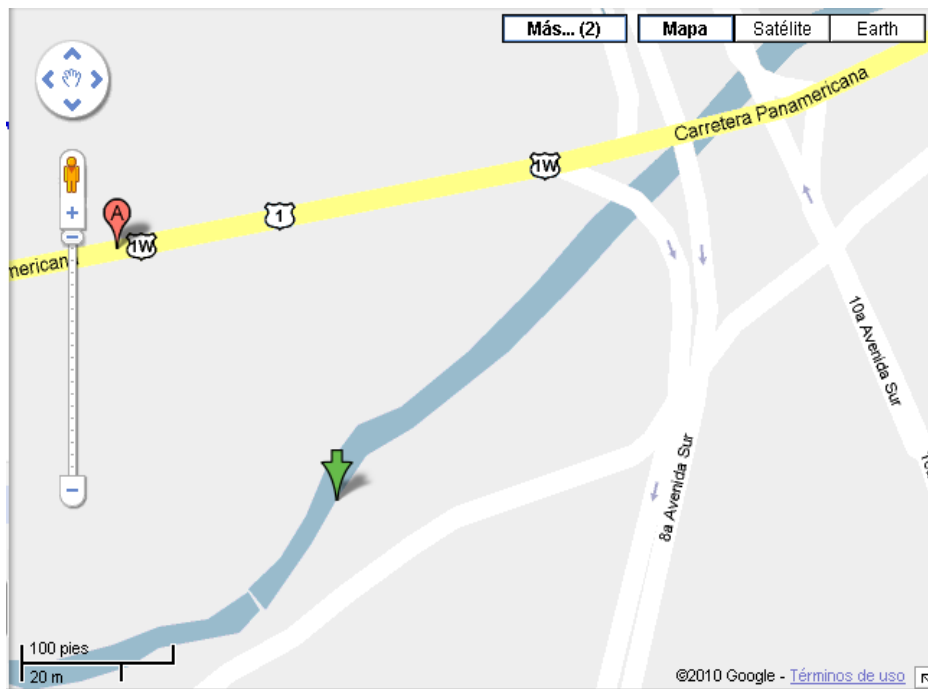
Tomado de CEPIS(1991)

ANEXO 3.4: Categorías de Olores ofensivos comúnmente encontrados en el agua

Compuesto	Formula típica	Cualidad descriptiva
Aminas	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$	A pescado
Amoniaco	NH_3	Amoniaco
Diaminas	$\text{NH}_2(\text{CH}_2)_n\text{NH}_2$	Carne podrida
Sulfuro de hidrogeno	H_2S	Huevo podrido
Mercaptanos	CH_3SH ; $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_n\text{SH}$	Secreción de zorrillo
Sulfuros orgánicos	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$; CH_3SSCH_3	Repollo podrido
Escatol	$\text{C}_8\text{H}_5\text{NHCH}_3$	Fecal

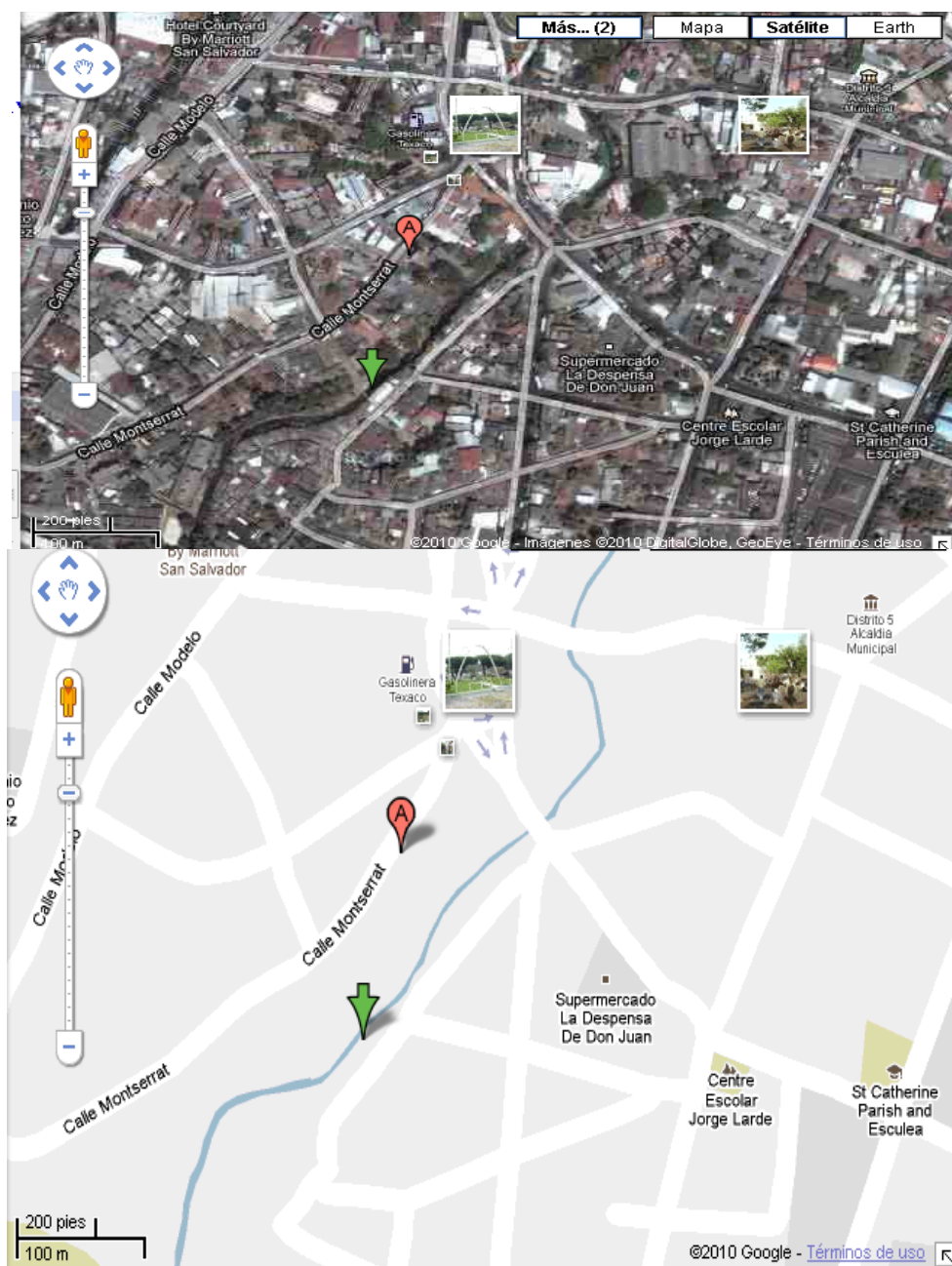


ANEXO 3.5: Identificación de los tres puntos de Muestreo .



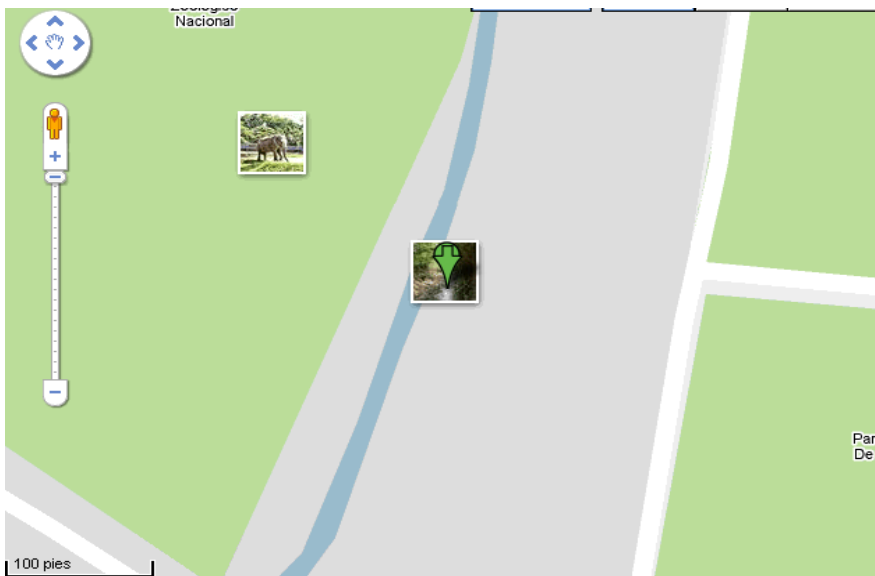
Coordenadas: 13.693498,-89.182554

ANEXO 3.6: Ubicación en mapa satelital de punto 1 de muestreo. Barrio La Vega



Coordenadas: 13.687708,-89.192982

ANEXO 3.7: Ubicación en mapa satelital de punto 2 de muestreo. Barrio Candelaria.



Coordenadas: 13.683179,-89.194828

ANEXO 3.8: Ubicación en mapa satelital del punto 3 de muestreo. Zoológico.

ANEXO 4.1: Parámetros establecidos para el tratamiento de lodos activados.

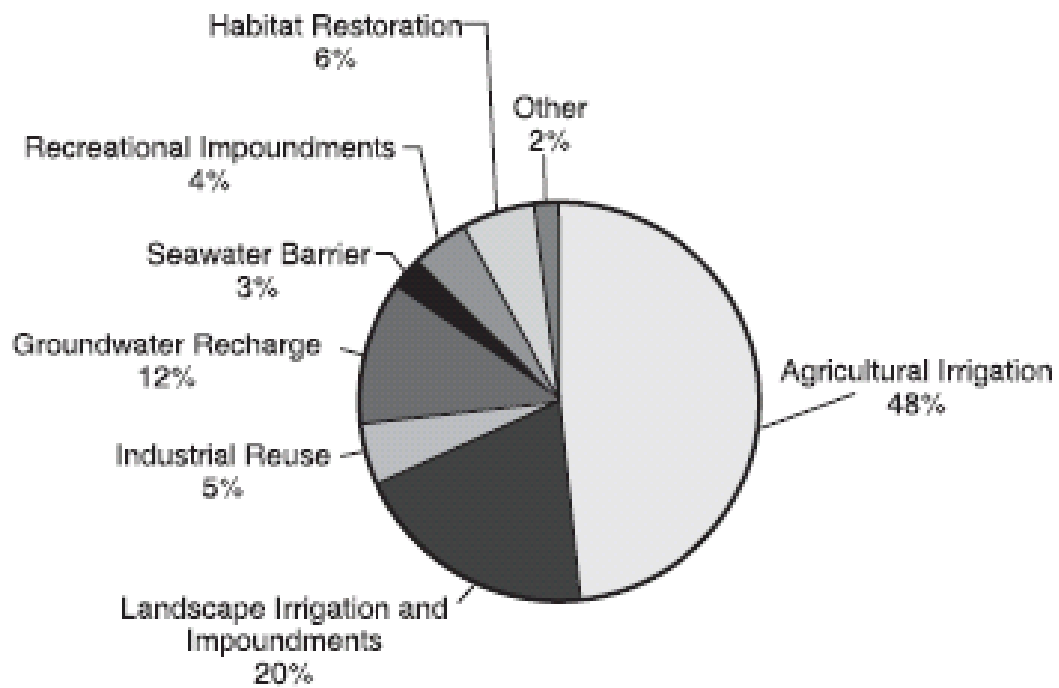
TIPO DE PROCESO	Periodo de Retención h	Edad del lodo d	Carga Volumétrica kg (DBO/m ³ .día).
Convencional	4 - 8	4 - 15	0,3 - 0,6
Aeración escalonada	3 - 6	5 - 15	0,6 - 0,9
Alta carga	2 - 4	2 - 4	1,1 - 3,0
Aeración prolongada	16 - 48	20 - 60	0,2 - 0,3
Mezcla completa	3 - 5	5 - 15	0,8 - 2,0
Zanja de oxidación	20 - 36	30 - 40	0,2 - 0,3

Fuente: NSO, CONACYT

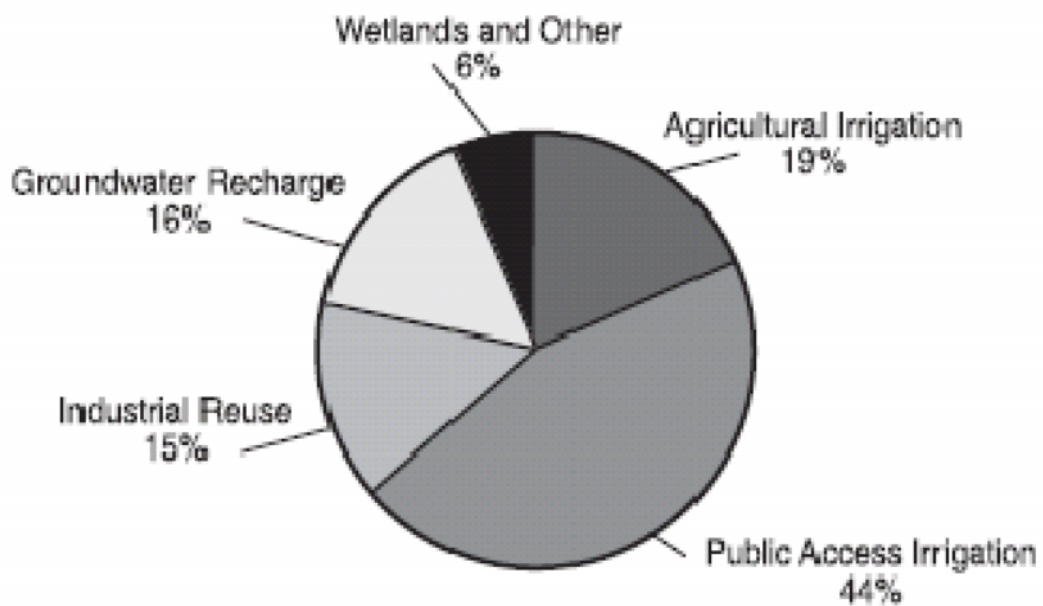
Anexo 4.2: Parámetros establecidos para el tratamiento de lodos activados en ausencia de datos experimentales.

TIPO DE PROCESO	Remoción de DBO	Concentración de SSTA kg/m ³	Carga de la masa kg DBO/ (kg SSVTA.día)	Tasa de recirculación %
Convencional	85 - 90	1,5 - 3,0	0,20 - 0,40	25 - 50
Aeración escalonada	85 - 95	2,0 - 3,5	0,20 - 0,40	25 - 75
Alta carga	75 - 90	4,0 - 10	0,40 - 1,50	30 - 500
Aeración prolongada	75 - 95	3,0 - 6,0	0,05 - 0,50	75 - 300
Mezcla completa	85 - 95	3,0 - 6,0	0,20 - 0,60	25 - 100
Zanja de oxidación	75 - 95	3,0 - 6,0	0,05 - 0,15	75 - 300

Fuente: NSO, CONACYT



ANEXO 4.3: Áreas en las cuales se reutilizan las aguas residuales tratadas en el estado de California. Estados Unidos.



ANEXO 4.4: Áreas en las cuales se reutilizan las aguas residuales tratadas en el estado de Florida. Estados Unidos.