



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA ZONA DE AMANALCO DE BECERRA,
ESTADO DE MÉXICO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

PRESENTA

CECILIA ARREDONDO LÓPEZ

DIRECTOR DE TESIS:

M.I. SEPÚLVEDA HIROSE RODRIGO TAKASHI

MÉXICO D. F. 2013





UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/193/12

Señorita
CECILIA ARREDONDO LÓPEZ
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. RODRIGO TAKASHI SEPULVEDA HIROSE, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA ZONA DE AMANALCO DE BECERRA, ESTADO DE MÉXICO"

- INTRODUCCIÓN
- I. ANTECEDENTES
- II. CARACTERIZACIÓN REGIONAL
- III. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL
- IV. TERMINOLOGÍA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
- V. TIPOS DE PLANTAS PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES
- VI. MARCO LEGISLATIVO REFERENTE AL AGUA RESIDUAL EN MÉXICO
- VII. PARÁMETROS DE DISEÑO
- VIII. RECONOCIMIENTO DEL SITIO
- IX. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
- X. MEMORIA DE CÁLCULO
- XI. CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 29 enero 2013.
EL PRESIDENTE

M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH*gar.

Agradecimientos

Agradezco a mis padres por darme la oportunidad de estar aquí, por educarme, por apoyarme a lo largo de mi vida y mi carrera y por siempre darme todo lo que pueden.

A mi hermano Oscar por ayudarme a seguir en esta larga carrera, por las largas horas de dedicación y ayuda en mis problemas, por esas largas series que me ayudó a resolver y siempre darme el ejemplo de cómo ser un buen Ingeniero.

A Guillermo por alentarme amablemente a que escribiera, ayudarme en mis clases de dibujo, por ser una persona admirable, por las pláticas, regaños, distracciones, consejos, apoyo y sobre todo por seguir a mi lado con este sueño que pronto se realizará.

A mi asesor Takashi por aceptar mi proyecto y dirigirlo, por las pláticas y los consejos dados a lo largo de esta tesis, por el conocimiento que me brindó y sobre todo por ser una persona tan admirable.

A la Dra. Lila Reyes por apoyarme cuando más lo necesitaba y por guiarme alentarme a seguir este largo camino.

Al Dr. Arnulfo por ayudarme con esa materia tan complicada y estar presente en las tristezas y alegrías.

A Nestor por ser mi amigo, compañero y colega, por esas noches de desvelos, las múltiples clases que tomamos juntos y todos esos momentos de alegrías y tristezas.

A Daniel, mi amigo, compañero y colega por estar ahí en todo momento, por sus regaños, sus pláticas, salidas, por todas las clases que tomamos juntos y ser el primer amigo en la carrera.

Y gracias a todos mis amigos que siempre han estado en mi vida y seguirán en ella viendo como crecemos y nos hacemos profesionistas.

Índice

INTRODUCCIÓN	6
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES	9
1.1. ANTECEDENTES DEL AGUA RESIDUAL	9
1.2. ANTECEDENTES DE LA ZONA DE ESTUDIO	18
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN REGIONAL.....	20
2.1. MARCO REGIONAL.....	20
2.2. OROGRAFÍA.....	21
2.3. HIDROGRAFÍA.....	21
2.3.1. <i>Precipitación</i>	21
2.3.2. <i>Ríos</i>	21
2.4. CLIMA.....	23
2.5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO	23
2.6. USO DE SUELO	24
2.7. MARCO SOCIOECONÓMICO.....	26
2.7.1. <i>Demografía</i>	26
2.7.2. <i>Vivienda y servicios</i>	26
2.7.3. <i>Salud</i>	29
2.7.4. <i>Educación</i>	29
CAPÍTULO 3. PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL	30
3.1. IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL.....	30
3.2. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA	30
3.3. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)	30
3.2.1 <i>Obtención de la DBO</i>	31
4.2.2 <i>Procedimiento</i>	32
3.4. SÓLIDOS SUSPENDIDOS.....	32
3.5. TEMPERATURA.....	33
3.6. AGENTES INFECCIOSOS EN EL AGUA RESIDUAL.....	33
3.6.1. <i>Microorganismos patógenos</i>	33
3.6.2. <i>Bacterias</i>	33
3.6.3. <i>Virus</i>	33
3.6.4. <i>Protozoarios</i>	33
3.6.5. <i>Helmintos</i>	34
CAPÍTULO 4. TERMINOLOGÍA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	35
4.1 FUNCIONAMIENTO GENERAL DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.....	36
4.2. PROYECTO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO	39
4.3. TRATAMIENTO PRIMARIO	42
4.3.1. <i>Rejillas</i>	42
4.4. DESARENADORES	43

4.5. CANAL PARSHALL	44
4.6. TANQUE DE IGUALACIÓN.....	47
4.7. TANQUES DE SEDIMENTACIÓN PRIMARIA.....	47
4.8. TRATAMIENTO SECUNDARIO	48
CAPÍTULO 5. TIPOS DE PLANTAS PARA EL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES	49
5.1. LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN	49
5.1.1. <i>Lagunas Anaerobias</i>	49
5.1.2. <i>Lagunas Facultativas</i>	49
5.1.3. <i>Lagunas de Maduración</i>	50
5.1.4. <i>Arranque del sistema</i>	50
5.1.5. <i>Mantenimiento</i>	51
5.1.6. <i>Ventajas</i>	51
5.1.7. <i>Desventajas</i>	52
5.2. LODOS ACTIVADOS	52
5.2.1. <i>Sedimentación discreta</i>	53
5.2.2. <i>Sedimentación floculenta</i>	53
5.2.3. <i>Sedimentación por espesamiento</i>	53
5.2.4. <i>Tipo de lodos Activados</i>	53
5.2.4.1. <i>Convencional</i>	53
5.2.4.2. <i>Mezcla Completa</i>	54
5.2.4.3. <i>Aireación prolongada</i>	54
5.2.5. <i>Ventajas</i>	55
5.2.6. <i>Desventajas</i>	55
5.3. CONTACTORES BIOLÓGICOS ROTATORIOS.....	55
5.3.1. <i>Ventajas</i>	56
5.3.2. <i>Desventajas</i>	56
5.4. FILTROS PERCOLADORES	56
5.4.2. <i>Espesor de la capa de limo</i>	57
CAPÍTULO 6. MARCO LEGISLATIVO REFERENTE AL AGUA RESIDUAL EN MÉXICO	58
CALIDAD DEL AGUA.....	58
6.1. LGEEPA	58
6.2. LEY DE AGUAS NACIONALES (LAN).....	58
6.3. NORMAS OFICIALES MEXICANAS	59
NOM-001-ECOL-1996.....	60
<i>Contaminantes básicos</i>	60
<i>Contaminantes patógenos y parasitarios</i>	61
<i>Cuerpo receptor</i>	61
<i>Descarga</i>	61
<i>Metales pesados y cianuros</i>	61
<i>Muestra compuesta</i>	61
<i>Especificaciones</i>	62
NOM-002-ECOL-1996.....	64
<i>Especificaciones</i>	64
NOM-003-ECOL-1997.....	65

<i>Especificaciones</i>	65
<i>Muestreo</i>	66
NOM-004-SEMARNAT-2002.....	66
<i>Especificaciones</i>	66
<i>Muestreo</i>	68
NMX-AA-006-1973	69
<i>Materiales</i>	69
<i>Recolección, preservación y almacenamiento de muestras</i>	69
<i>Control de calidad</i>	69
<i>Procedimiento</i>	70
CAPÍTULO 7. PARÁMETROS DE DISEÑO	71
7.1. CALIDAD MEDIA DE LAS AGUAS RESIDUALES	71
7.1.1. <i>Agentes Infecciosos</i>	71
7.2. DOTACIÓN, GASTO MÍNIMO, GASTO MEDIO, GASTO MÁXIMO, GASTO MÁXIMO EXTRAORDINARIO Y GASTO DE DISEÑO....	71
7.2.1. <i>Dotación</i>	71
7.2.2. <i>Gasto medio</i>	72
7.2.3. <i>Gasto mínimo</i>	73
7.2.4. <i>Gasto Máximo Instantáneo</i>	73
7.2.5. <i>Gasto máximo extraordinario</i>	73
7.2.6. <i>Gasto de diseño</i>	74
CAPÍTULO 8. RECONOCIMIENTO DEL SITIO	75
8.1 MUESTREO EN LA ZONA.....	80
8.2. DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y FECALES	81
8.3. PRUEBA DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES	84
8.4. PRUEBA DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES (SST)	84
CAPÍTULO 9. DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	86
CAPÍTULO 10. MEMORIA DE CÁLCULO	91
10.1. TRATAMIENTO PRIMARIO	91
10.2. DESARENADORES	92
10.3. CANAL PARSHALL	93
10.4. TANQUES DE IGUALACIÓN	93
10.5. SEDIMENTACIÓN PRIMARIA	93
10.5.1. <i>Obtención del flujo másico de lodos</i>	94
10.6. TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	94
10.7. DECANTADOR O SEDIMENTADOR SECUNDARIO	96
CAPÍTULO 11. CONCLUSIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXO DE PLANOS	101

Introducción

En este proyecto se realizará una propuesta de planta de tratamiento en el municipio de Amanalco para limpiar el río y mandar mejor agua a la presa de Valle de Bravo.

El agua es esencial para la vida, no solo por su ingesta si no por sus múltiples usos en la vida cotidiana, algunas actividades fundamentales son: riego de cultivos, de pastos, el aseo personal y del área habitada, actividades recreativas entre otras.

Actualmente se tiene una inestabilidad de agua puesto que en varios continentes del mundo hace falta, así como en Europa o África y en algunas regiones de América.

Años atrás el agua generaba muchísimas enfermedades, una muy controversial era el cólera, que actualmente aún existe ese problema pero ya no es una pandemia, pues ya se conocen tratamientos médicos y el origen de ella. A pesar de los avances en medicina y tecnología, se sabe que existe una gran cantidad de enfermedades provocadas por el agua.

En el siglo 19 el Río Támesis era prácticamente una alcantarilla abierta, con consecuencias desastrosas para la salud pública adentro Londres, incluyendo numerosas epidemias de cólera. Las propuestas para modernizar el sistema de alcantarillado se hicieron en 1856, pero se dejaban de lado debido a la carencia de fondos. Sin embargo, después de *la gran epidemia* de 1858. El parlamento vio el gran problema y lo resolvió creando un sistema moderno del alcantarillado.

José Bazalgette, ingeniero civil y principal ingeniero de la Junta Metropolitana de Obras Públicas, fue el responsable del trabajo. Él diseñó un sistema subterráneo extenso de alcantarillado que dividió los residuos del Támesis, río abajo del centro principal de la población.

El agua dulce que existe en la tierra es menor al 1% y su distribución en todo el mundo es desigual. Los grandes depósitos naturales se encuentran en los glaciares de Groenlandia y la Antártica y en los Lagos de América del Norte o de Rusia. Las zonas húmedas tropicales contienen porcentajes elevados del total de la reserva mundial.

La disponibilidad de agua potencial para la población de la Tierra está disminuyendo de 12.900 a 7.600 metros cúbicos por año por persona (Organización Mundial de la Salud, 2012).

Durante muchos años el agua ha sido usada por nosotros sin un uso consiente y la población ha ido incrementando de manera descontrolada, mientras que el agua sigue siendo la misma que nuestros más viejos antepasados usaron. Por esta razón el agua va disminuyendo de manera brutal conforme el paso de los años.

Por esta razón se debe aprovechar el agua que usamos y reutilizarla. El agua que se tira al drenaje se puede tratar y reutilizar, pero para esto se necesita una buena cultura del agua, ideas para su tratamiento y presupuesto.

Por esta razón debemos aprovechar el agua que usamos y reutilizarla. El agua que tiramos al drenaje se puede tratar y reutilizar, pero para esto se necesita una buena cultura del agua, ideas para su tratamiento y presupuesto.

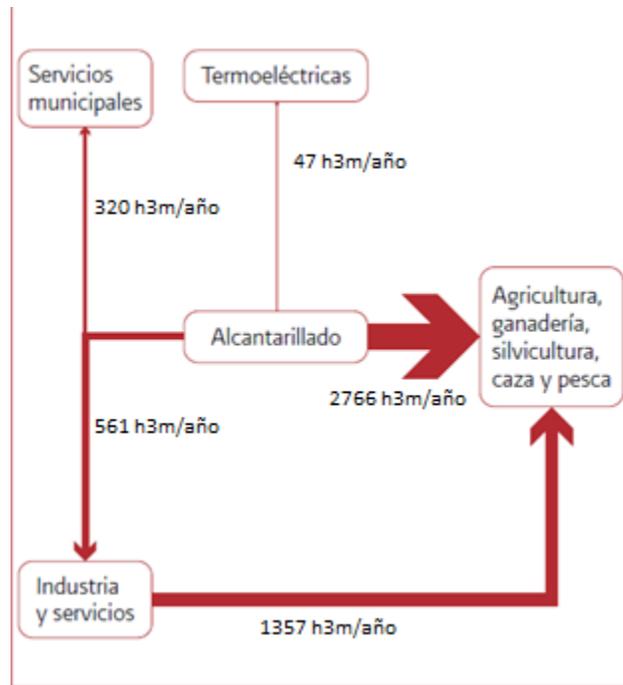


Ilustración 1. Reuso de agua residual en México (CONAGUA.A, 2011)

Para tratar el agua es importante considerar la zona, cuántas descargas existen, dónde se depositan y qué problemas ocasionan.

Es importante conocer el terreno, qué uso se le da y qué actividades se desarrollan en la misma así como los problemas sociales que se tienen, como las enfermedades que existen a causa del agua o la escasez de esta en la zona.

En el capítulo primero de este trabajo se presenta un panorama sobre el manejo del agua residual en el país, y en particular en la ciudad de México y la importancia que tiene su debido tratamiento.

En el capítulo segundo se presentan las características del marco físico y socioeconómico de la zona de estudio, se menciona el clima existente, la hidrografía y las condiciones de vida de la sociedad de este municipio.

El capítulo tercero se enfoca en explicar los agentes infecciosos que habitan en el agua y que métodos de tratamiento se requieren para eliminarlos.

El capítulo cuarto presenta las unidades que integran una planta de tratamiento de aguas residuales y cuál es el procedimiento de tratamiento a seguir, el capítulo quinto describe los tipos de tratamiento biológico.

El capítulo sexto trata del marco normativo nacional en materia de tratamiento de agua residual.

En el capítulo séptimo se definen los parámetros de diseño, necesarios para el proyecto de la planta de tratamiento.

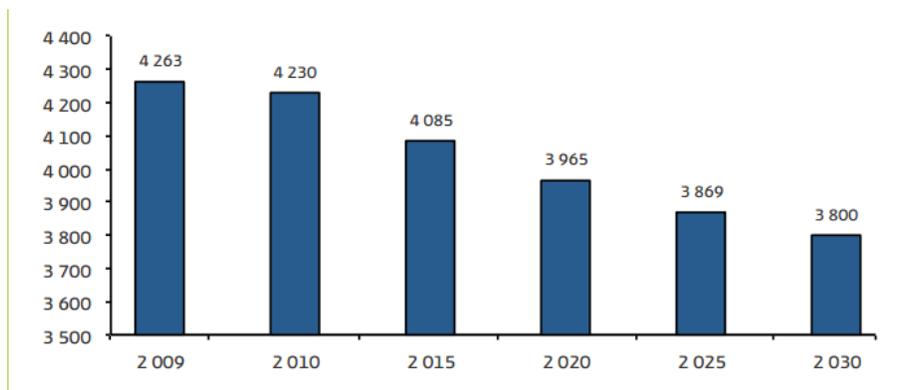
El capítulo octavo incluye los datos de campo obtenidos en un muestreo mientras que los capítulos noveno y décimo presenta el diseño detallado de la planta.

Capítulo 1. Antecedentes

1.1. Antecedentes del agua residual

En México existe una sobrepoblación importante, sobre todo en la zona del Distrito Federal y Estado de México. Cada persona necesita una cantidad de agua al día de 200 litros en promedio, por esto el abasto que se tiene es insuficiente.

La Comisión Nacional del Agua informa que de los 600 acuíferos que se cuentan 101 están sobrexplotados. Esto invita a reflexionar sobre qué pasará en un futuro, pues se estima que para el año 2030 se tendrá una gran necesidad de este líquido lo que lleva a pensar que se tendrá que tratar el agua y no solamente para riego, sino también para consumo humano. (Gráfica 1)



Gráfica 1. Proyección de la disponibilidad media per cápita en México (m³/hab/año) (CONAGUA.B, 2011)

México es el más afectado en este tema, pues consta con una baja disponibilidad natural media per cápita, sobre todo en la zona norte y central del país. (Ilustración 2)

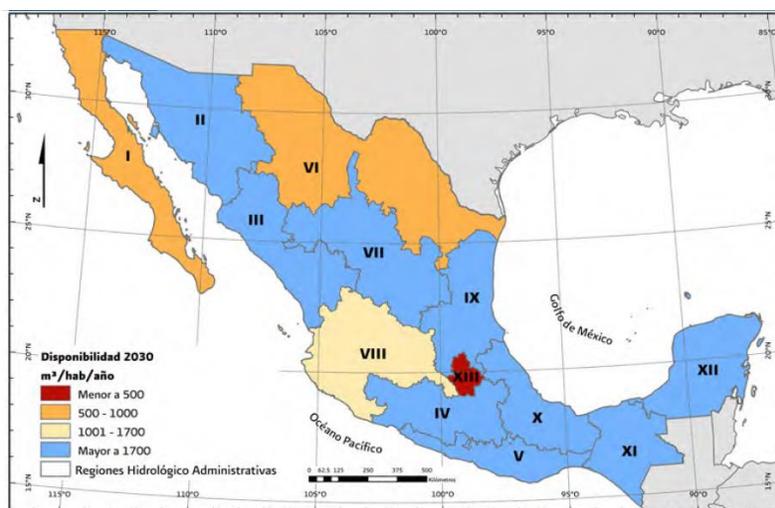


Ilustración 2. Disponibilidad natural media per cápita al 2030 tomado de (CONAGUA.B, 2011)

El agua es consumida por el hombre, además de que la naturaleza a través de sus ciclos toma una porción importante de agua en la tierra y la transforma en precipitación pluvial la cual regresa a la atmósfera en forma evaporada, mientras que el resto escurre hacia ríos y arroyos delimitados por cuencas hidrográficas o se infiltran en los acuíferos.

Las cuencas del país se encuentran organizadas en 37 regiones hidrológicas que a su vez se dividen en 13 regiones administrativas (CONAGUA.A, 2011). (Ilustración 3)

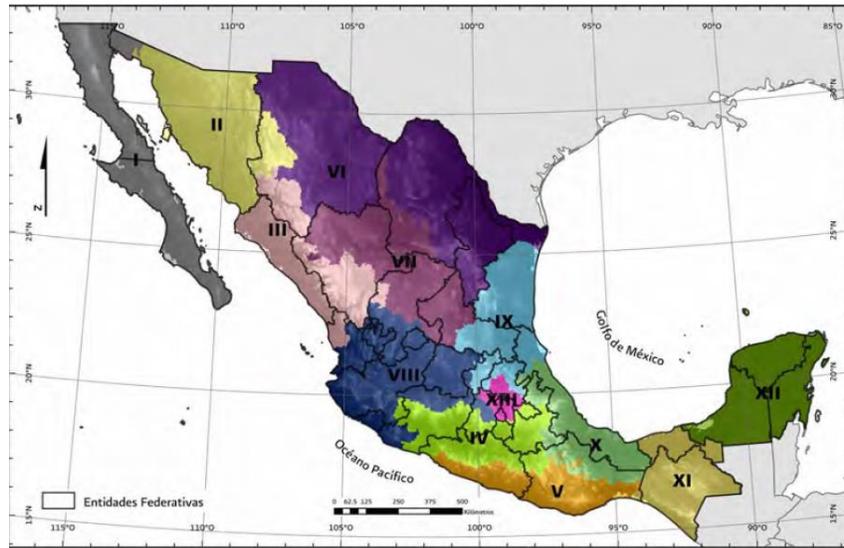


Ilustración 3. Regiones hidrológicas (CONAGUA.B, 2011)

Otra fuente de agua con la que se cuenta son las plantas potabilizadoras, que están muy ligadas con la lluvia, pues las plantas potabilizadoras toman el agua de los ríos, los cuales llevan el agua pluvial y la someten a tratamiento para potabilizarla y que pueda ser consumida por el ser humano.

Existen 631 plantas potabilizadoras en operación en el país (CONAGUA.B, 2011) que están distribuidas según las regiones hidrológicas. (

Región	Región hidrológica administrativa	Nº Plantas en operación	Capacidad instalada m ³ /s	Caudal potabilizado m ³ /s
I	Península de Baja California	41	12.22	6.66
II	Noreste	24	4.13	2.14
III	Pacífico Norte	154	9.28	7.75
IV	Balsas	20	22.76	17.28
V	Pacífico Sur	8	3.18	2.59

Tabla 1)

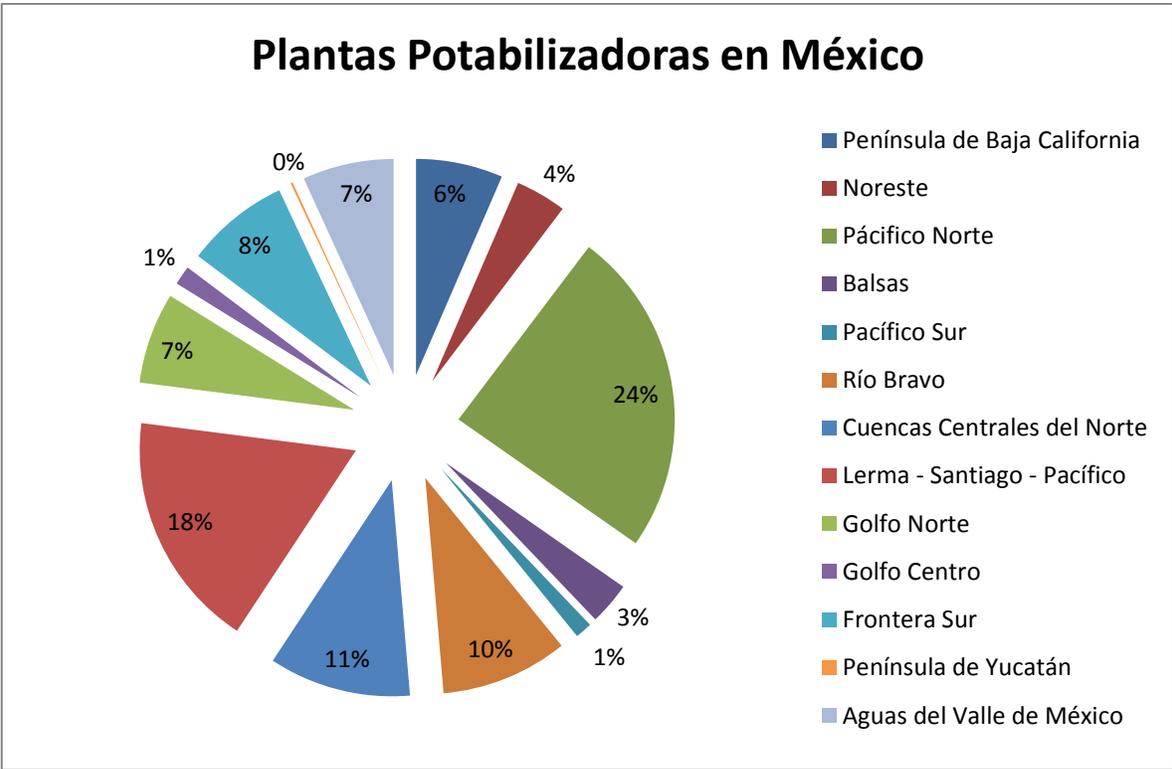
Región	Región hidrológica administrativa	Nº Plantas en operación	Capacidad instalada m ³ /s	Caudal potabilizado m ³ /s

I	Península de Baja California	41	12.22	6.66
II	Noreste	24	4.13	2.14
III	Pacífico Norte	154	9.28	7.75
IV	Balsas	20	22.76	17.28
V	Pacífico Sur	8	3.18	2.59

Tabla 1. Plantas potabilizadoras en México

Región	Región hidrológica administrativa	N° Plantas en operación	Capacidad instalada m ³ /s	Caudal potabilizado m ³ /s
VI	Río Bravo	60	26.3	15.9
VII	Cuencas Centrales del Norte	67	0.56	0.4
VIII	Lerma - Santiago - Pacífico	112	19.95	12.48
IX	Golfo Norte	43	6.66	5.89
X	Golfo Centro	9	6.64	4.15
XI	Frontera Sur	49	16.13	10.63
XII	Península de Yucatán	1	0.01	0.01
XIII	Aguas del Valle de México	43	5.27	4.17

Tabla 1. Plantas potabilizadoras en México



Gráfica 2. Porcentajes de existencia de plantas potabilizadoras en México

Se estima que en el año 2008 en México se reutilizaron 5051 millones de metros cúbicos de agua. En su mayoría se emplean en cultivos agrícolas provenientes de la red de alcantarillado.

También se tienen 2186 plantas de tratamiento en todo México (CONAGUA.A, 2011) de las cuales 200 se ubican en el distrito federal. (Ilustración 4)

Plantas de Tratamiento en México

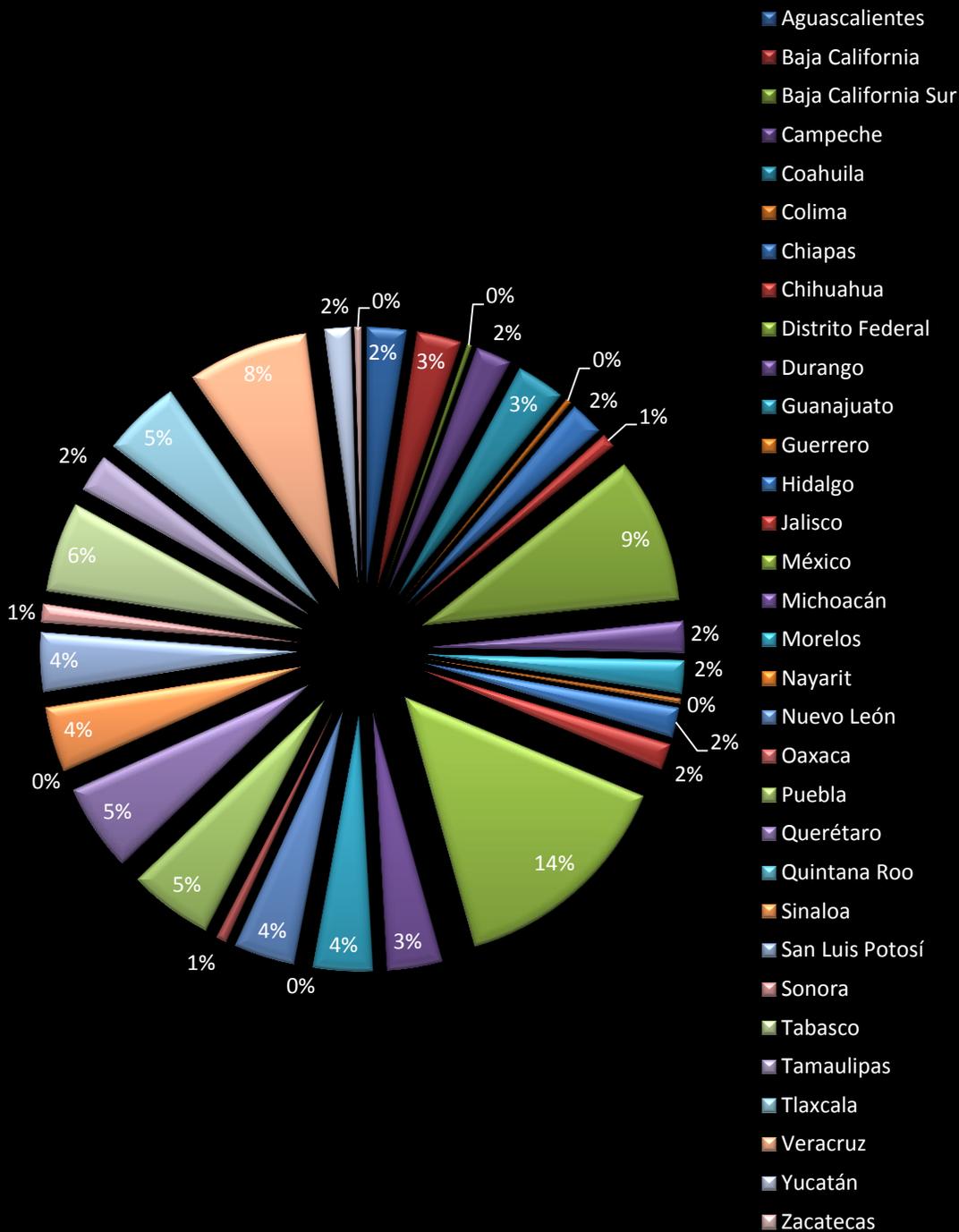


Ilustración 4. Porcentajes de plantas de tratamiento de agua residual por estado

Es importante reutilizar el agua pues en un análisis en 2009 existían 2029 plantas de tratamiento en operación. El gasto de operación reportado para las plantas fue el 42% de los 209.1 m³/s de aguas residuales recolectadas. Se estima que la industria trató 36.7 m³/s en las 2,186 plantas en operación a nivel nacional durante el mismo año. (CONAGUA, 2012)

Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, 2009		
Centros urbanos (descargas municipales):		
Aguas residuales	7.49	km ³ /año (237.5 m ³ /s)
Se recolectan en alcantarillado	6.59	km ³ /año (209.1 m ³ /s)
Se tratan	2.78	km ³ /año (88.1 m ³ /s)
Se generan	2.02	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se recolectan en alcantarillado	1.78	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento de aguas residuales	0.61	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Usos no municipales, incluyendo a la industria:		
Aguas residuales	6.01	km ³ /año (190.4 m ³ /s)
Se tratan	1.16	km ³ /año (36.7 m ³ /s)
Se generan	6.95	millones de toneladas de DBO ₅ al año
Se remueven en los sistemas de tratamiento	1.33	millones de toneladas de DBO ₅ al año

Tabla 2. Descargas de aguas residuales municipales y no municipales (CONAGUA, 2012)

En el Distrito Federal casi el total de efluentes tratados son reutilizados, principalmente para recarga del cuerpo de agua, agricultura y riego de áreas verdes, parte es utilizado para uso industrial y recarga de acuíferos por inyección. El tratamiento secundario de estas plantas consiste en lodos activados y sedimentados. El tratamiento terciario comprende métodos de coagulación / floculación, sedimentación, filtración con arena y desinfección. De manera general se aprovecha poco la infraestructura construida (43%) para el tratamiento de agua residual.

En la tabla 3 se presenta el porcentaje de agua residual tratada utilizada en diferentes tipos de reúso, sólo es de plantas municipales y se presenta el tipo de tratamiento que lleva. (Escalante V, 2002)

PTAR	Proceso	Qop l/s	C.R	Uso agrícola l/s	% Uso urbano	% uso industrial	R.A
Querétaro	L.A y F.B	385	64	315	2	4	-
San Luis Potosí	S.B.R y Lag. A	425		385	40		-
Cd Obregón	Lag. A.	976	976				-
Chihuahua	L.A, Lag.A, Z.O, T.P.A	1000	720	1000	30		-
Monterrey, Nuevo León y Zacatecas	T.P.A, B, A.E, L.A	1540	1515		25		-
Total		14776	10530	3600	347	299	-

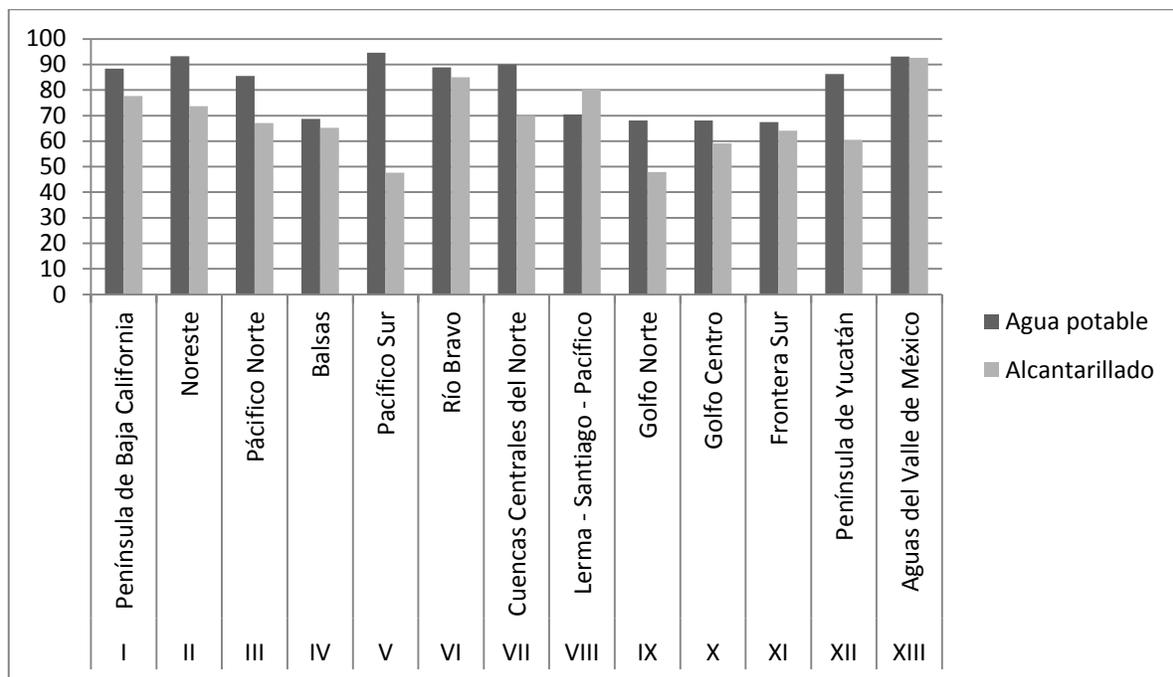
Tabla 3. Reúso de agua tratada en PTAR municipales

Dónde:

- C.R Cuerpo receptor
- R.A Recarga de Acuífero
- L.A. Lodos activados
- Lag. A Lagunas aireadas
- Z.O. Zanjas de Oxidación
- A.E. Aireación extendida
- T.P.A Tratamiento Primario Avanzado
- F.B. Filtros biológicos
- B Biodiscos

El agua está sujeta a la disponibilidad que se le de, pues existen diversos medios de entrega y disposición. La cobertura de agua potable se considera como el porcentaje de personas que tienen agua entubada dentro de la vivienda; fuera de la vivienda, pero dentro del terreno, de la llave pública o bien de otra vivienda. Hay que aclarar que los habitantes con cobertura no disponen precisamente de agua de calidad para el consumo humano. (CONAGUA.A, 2011)

En la gráfica 3 se muestra el rezago que aún se tiene en el alcantarillado y servicio de agua potable en México donde las partes más afectadas son la región V, IX, X y XI.



Gráfica 3. Disponibilidad del agua de alcantarillado y potable a nivel de Regiones Hidrológicas y Nacional de 1990 al 2005

Actualmente, el abastecimiento de agua potable al Distrito Federal es de 32 m³/seg y está conformado por fuentes locales (ubicadas en la Ciudad de México y en el Estado de México) y

fuentes externas (localizadas en los Estados de México y Michoacán). En cuanto a la prestación de servicios hidráulicos, la cobertura en agua potable es del 97.14%, en términos de conexiones a toma domiciliaria. No es posible una conexión del 100% debido al crecimiento demográfico, las condiciones actuales de la infraestructura, y la localización geográfica y/o legal de algunos asentamientos.

Las fuentes externas son aguas superficiales y representan el 35% del caudal total suministrado al Distrito Federal. Sus aportaciones no han presentado variación significativa, sin embargo, en el corto plazo, con la terminación de la infraestructura del Estado de México se prevé la reducción del caudal proveniente del Sistema Cutzamala (por lo menos $1 \text{ m}^3/\text{seg}$), el cual es suministrado por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Por otro lado, las fuentes locales representan el 63% del suministro, y se componen básicamente por el acuífero de Lerma (13%) y el acuífero de la Ciudad de México (50%). En este contexto, es necesario reforzar el suministro de agua potable a la Ciudad de México con el desarrollo de nuevas fuentes y hacer eficientes las actuales. (Gobierno del DF)

El sistema Cutzamala aporta un volumen de 16 metros cúbicos por segundo, proveniente de agua de lluvia que es captada a través de 7 presas ubicadas en el Estado de México y Michoacán, lo que amplía su expectativa para ser la única fuente de agua sustentable para el abastecimiento para la Ciudad de México y municipios conurbados mexiquenses, siempre y cuando no se sobrepasen los límites de la capacidad de diseño del mismo y se mantengan las acciones para conservar el entorno ecológico.

El Sistema Cutzamala es un conjunto de obras de infraestructura hidráulica que se encarga de dotar a la ciudad de México de agua potable desde 1982. Dicho sistema se compone principalmente de 7 presas: Tuxpan, El Bosque, Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo, Villa Victoria y Chilesdo.

A continuación se describen las sub-cuencas del Sistema Cutzamala.

Villa Victoria (Superficie total 602.1 km^2):

La sub cuenca Villa Victoria se encuentra en el estado de México y abarca el 60% del municipio de Villa Victoria y casi el 40% de San José del Rincón. Alberga a un poco más de 114 000 habitantes y tuvo en el periodo 2000 – 2005, una tasa de crecimiento poblacional anual de 1.14%. Esto la hace la subcuenca del sistema Cutzamala con mayor tasa de crecimiento.

Las principales actividades que se llevan a cabo son la agricultura de temporal -principalmente el cultivo de maíz grano- la construcción y el comercio. La ausencia de agricultura de riego y actividades industriales importantes hace que los principales consumidores de agua en esta zona sean los asentamientos humanos.

Chilesdo-Colorines (Superficie total 473.6 km^2)

Esta sub cuenca se encuentra en el estado de México y abarca 4 municipios: el 80% del municipio de Villa de Allende, el 40% de Donato Guerra, el 20% de Valle de Bravo y el 12% de Villa Victoria. Su población es de 73 000 habitantes y tuvo en el periodo 2000 – 2005, una tasa de crecimiento poblacional anual de 0.09%, la tasa más pequeña del conjunto de subcuencas del sistema Cutzamala.

Las principales actividades que se llevan a cabo en la subcuenca son la agricultura, tanto de riego como de temporal, y la construcción. Los cultivos de riego más importantes son la avena forrajera, el chícharo, el elote y el maíz grano; los dos primeros han seguido una tendencia de crecimiento de su superficie sembrada en los últimos cinco años. El principal cultivo de temporal es el maíz grano.

Subcuenca de Tuxpan (Superficie total 1,195.2 km²):

La sub cuenca Tuxpan es la más grande del sistema Cutzamala y se encuentra en el estado de Michoacán abarcando 6 municipios: Hidalgo, Irimbo, Tuxpan, Aporo, Angangueo y Ocampo. Los tres últimos entran completamente en la subcuenca mientras que los tres primeros tienen la mitad de su territorio, y la cabecera municipal, dentro de la subcuenca.

La población de esta subcuenca también es superior a las demás de este sistema. Alberga a un poco más de 164 000 habitantes y tuvo en el periodo 2000 – 2005, una tasa de crecimiento poblacional anual de 0.45%. En esta sub cuenca, el comercio al por menor, la industria manufacturera y la producción agropecuaria son las actividades más concurridas por la población ocupada de la zona. La actividad agrícola, si bien ocupa proporcionalmente, menos población ocupada que otras subcuencas del sistema Cutzamala, es la más importante de la región tanto por su extensión como por la cantidad de agua que consume. Asimismo, es la subcuenca que presenta un desarrollo industrial más fuerte con lo que contribuye de manera sustancial a la contaminación de cuerpos de agua.

El Bosque (Superficie total 437.1 km²):

La sub cuenca El Bosque se encuentra en el estado de Michoacán y abarca un solo municipio: Zitácuaro. Es la segunda sub cuenca más poblada del sistema, con 130 000 habitantes, pero una tasa de crecimiento anual negativa de -0.18%. La mayoría de la población ocupada trabaja en el sector terciario, principalmente en el comercio. Las otras dos actividades importantes en la zona son la agricultura y la industria manufacturera. A nivel del sistema Cutzamala, El Bosque es la segunda subcuenca con mayor superficie destinada a la agricultura de riego, y ocupa el primer lugar en cuanto a extensión de parcelas irrigadas en terrenos ejidales.

Independientemente de si la irrigación se lleva a cabo en tierras privadas o ejidales, el consumo de agua por esta actividad es muy superior al consumo que realizan los asentamientos humanos.

Valle de Bravo (Superficie total 534.5km²):

La sub cuenca Valle de Bravo también se encuentra en el estado de México y comprende a casi la totalidad del municipio de Amanalco y el 60% de Valle de Bravo. La población de la subcuenca es de cerca de 64 000 habitantes y, de acuerdo a información oficial de INEGI, ésta tiene a decrecer a una tasa de -0.91% anual en el periodo 2000 y 2005. Sin embargo, entrevistas hechas con locales de la región aseguran que la población de fin de semana (población flotante) está creciendo y con ello, el número de viviendas tanto en el núcleo urbano de la sub cuenca como en las áreas rurales.

Las principales actividades que se llevan a cabo son la agricultura, la acuicultura, el turismo y la construcción. En la parte alta de la cuenca, que corresponde al municipio de Amanalco, las actividades predominantes son la agricultura y la acuicultura. La agricultura de temporal, la más

extendida en la zona, cultiva de manera predominante el maíz grano. La agricultura de riego, en cambio, siembra principalmente avena forrajera, chícharo y haba verde. (INE)

1.2. Antecedentes de la zona de estudio

El río Amanalco descarga directamente al embalse de la presa de Valle de Bravo, el cual recibe la descarga de 13 poblaciones río arriba desde el municipio de Amanalco.

Existen 3 plantas de tratamiento en los 13 kilómetros entre el embalse de la presa de Valle de Bravo y el municipio de Amanalco, la primera se localiza en el municipio de Amanalco, esta planta de tratamiento no esta en operación por problemas legales, la segunda planta se encuentra a 3 km del embalse y es exclusiva del rastro de la zona. Por último esta la planta antes del embalse que esta cerrada por una ampliación del gasto a tratar.

El río Amanalco, que como muchos ríos en el municipio sufre una contaminación severa por las descargas recibidas. A continuación se muestran algunos datos recolectados que nos indican la contaminación que sufre este río.

SITIO	RIESGO	COLIFORMES TOTALES UFC/100 ML	COLIFORMES FECALES UFC/100 ML	ENTEROCOCOS UFC/100 ML	VIBRO spp UFC/100 ml
Tizates	ALTO	5,500,000	555,000	57,000	20,000
Cristo	ALTO	9,250	850	20	350
Amanalco	ALTO	14,500	1,950	105	1,450
Cortina	BAJO	150	5	10	50
Peña	MODERADO	100	5	<1	700
Mosco	ALTO	9,000	500	10	100
Molino/Hoyos	ALTO	3,000	250	100	1,100
Muelle Municipal	ALTO	8,000	1,350	20	1,150
Zona de esquí	ALTO	5,000	40	500	1,700
Izar/Carrizal	ALTO	23,000	5	250	950
Hierbabuena	ALTO	1,000	20	<1	1,000
San Gaspar	ALTO	1,250	75	10	35
	ALTO	MODERADO	BAJO		MUY BAJO

Tabla 4. Riesgo potencial por contacto primario (FONDO PRO CUENCA VALLE DE BRAVO A.C., 2005)

La Tabla muestra que es un peligro claramente alto el contacto del agua con el hombre. La situación es preocupante pues esta agua se dirige a la presa de Valle de Bravo y la población está expuesta en la zona recreativa del mismo, que además, se utiliza para regar los campos de cultivo de la zona. Por estas razones la limpieza del río es de vital importancia para evitar el contacto de la población y que llegue tan contaminada a los campos de cultivos cercanos a la zona y además para dirigir una mejor calidad de agua al sistema Cutzamala.

La planta de tratamiento aquí propuesta esta pensada para limpiar el agua que el municipio de Amanalco descarga junto con las 13 poblaciones aledañas que son la de mayor concentración. Con esto se asegura una descarga limpia y menor contaminación al río Amanalco. Además de promover la limpieza del agua para su reutilización en los cultivos o para llevar mejor calidad al Sistema Cutzamala.

Capítulo 2. Caracterización regional

2.1. Marco regional

El Municipio de Amanalco, está registrado como la delegación número 007 del Estado de México y pertenece a la Región Hidrológico-Administrativa de Valle de Bravo, situándose en la parte central de la porción occidental de la entidad.



Ilustración 5. Ubicación del municipio de Amanalco

Las coordenadas extremas del municipio de Amanalco son las siguientes:

19° 18' y 19° 10' de latitud norte

99° 54' y 100° 05' de longitud oeste

Como referencia su Cabecera Municipal se ubica a 19° 15' de latitud norte y 100° 01' de longitud oeste, a una altitud de 2,320 m.s.n.m. Limita con los municipios de Villa Victoria y Villa de Allende al norte, con Valle de Bravo y Temascaltepec al sur, con Almoloya de Juárez y Zinacantepec al este, y con Donato Guerra y Valle de Bravo al oeste. (Ilustración 5)

2.2. Orografía

La orografía de Amanalco presenta una configuración accidentada, porque la región es cruzada de este a oeste por el sistema montañoso de la sierra del volcán del Xinantecatli o Nevado de Toluca que se prolonga hasta la sierra Náhuatl Tarasca en Michoacán; donde coexisten valles, laderas, cañadas, colinas y montañas, estas últimas con una altitud de más de 3000 m.s.n.m., de entre estos destacan el Cerro Lodo Prieto, el Cerro de Los Órganos, el Cerro de Vilchis, el Cerro del Faro, el Cerro Cañada Oscura, el Cerro Cuate, el Cerro Tenextepec, el Cerro del Ídolo, el Cerro de San Bartolo, entre otros.

El punto más alto se ubica en la cima del cerro Lodo Prieto a 3370 m.s.n.m. y el más bajo en el pueblo de San Bartolo a 2260 m.s.n.m. existiendo un desnivel en el territorio municipal de 1110 m.s.n.m.

2.3. Hidrografía

Hidrológicamente, el territorio de Amanalco se ubica dentro de la parte alta y media de la cuenca de Valle de Bravo y se considera como zona de recarga hídrica, ya que en el municipio existen 445 manantiales, con un gasto total de 2096 l/s y se generan anualmente un volumen de 66,101,032 litros de agua según la Secretaría del Ambiente; destacando por su capacidad de producción:

Corral de Piedra (ejido de Amanalco) con 81 l/s

Ojo de Agua (ejido de San Bartolo) con 800 l/s

El Acón (ejido de San Jerónimo) con 51.93 l/s

El Manzano (San Lucas) con 48.58 l/s

Agua Zarca (San Mateo) con 70 l/s

Gachupines (San Sebastián Chico) con 34.37 l/s

La hidrografía del municipio se complementa con la presa Corral de Piedra, la laguna Capilla Vieja, y dos ríos: el río Amanalco y el río Molino.

2.3.1. Precipitación

La cuenca de Valle de Bravo – Amanalco tiene una precipitación anual de 1214.4 mm. De esta cantidad el 48% se pierde por evapotranspiración, 35% se incorpora a la recarga de los mantos acuíferos subterráneos y el 17% escurre superficialmente.

2.3.2. Ríos

Los ríos que conforman a la cuenca de Valle de Bravo – Amanalco se describen a continuación en la tabla 5 e ilustración 6.

Río	Características
La hierbabuena o Santa Mónica	Nace en las faldas de los cerros San Agustín y Sacametate, inicialmente su dirección es hacia el este, posteriormente hacia el noroeste hasta llegar a la presa. Tiene una microcuenca de 13.22 km ² .
San Diego	Se origina en el cerro La escalerilla a 2550 msnm, con un rumbo noroeste llega a la presa. La microcuenca del río es de 40.19 km ² .
Ladera oriente de Cualtenco	La microcuenca está formada por escurrimientos de poca longitud que vierten sus aguas directamente a la presa. Tiene una extensión de 3.4 km ² .
Calderones o El Cerrillo	Su microcuenca es de solo 2.3 km ² , en la ladera suroeste de la presa. Son escurrimientos que hacen a 2300 m.s.n.m., en las elevaciones vecinas a la presa.
Carrizal	Los escurrimientos que forman a esta microcuenca de 30.38 km ² transitan por la ladera norte del cerro de Los colorines a 2300 m.s.n.m. La corriente, con un rumbo norte, es pequeña y vierte sus aguas a la presa.
Los hoyos o El molino	Los escurrimientos que forman este río provienen del Cerro San Antonio a 3300 m.s.n.m. La corriente tiene una dirección suroeste, cruza el poblado llamado El Naranja, más adelante confluye con el río El Temporal que nace en el cerro El Coporito. Más adelante se une con el río Alameda que desciende del cerro Piedra herrada y a lo largo de su trayectoria se unen a él, las aguas del río Ojo de agua que se origina en el cerro Trompillos. El río Chiquito se une más adelante para llegar a la presa Valle de Bravo. La subcuenca tiene un área de 155.92 km ² . A esta subcuenca pertenecen también los ríos La alameda, El fresno y Arroyo chiquito.
Amanalco	Nace en la ladera sur del cerro San Antonio, en su curso alto se le conoce como río Alto. La corriente fluye en dirección oeste, pasa por el poblado de San Bartolo y Santa María Pipioltepec hasta llegar a la presa Valle de Bravo. La subcuenca tiene una superficie de 227.9 km ² . Las subcuencas de los ríos el Salto, Agua Bendita y la Candelaria, forman parte de esta subcuenca.
San Gaspar	La subcuenca comprende la vertiente sur del cerro de San Gaspar y tiene una superficie de 9.71 km ² . Los escurrimientos, cortos, llegan por la ladera norte del cerro.
La Cascada	En la parte sur de la cabecera municipal de Valle de Bravo, está constituido por escurrimientos pequeños que inician en las cimas de Monte alto. Desemboca directamente a la presa.
Las Flores	La subcuenca de este río, al noroeste de la presa Valle de Bravo, tiene 21.62 km ² . Inicia en la ladera suroeste del cerro Los reyes (2900 m.s.n.m.). Cruza el poblado de Rincón de Estrada y El temporal. La subcuenca presenta varios escurrimientos directos a la presa, y debido a los desechos urbanos, genera mayor contaminación.
Tiloxtoc	Se origina a 37.5 Km al nordeste de Zitácuaro, a una elevación aproximada de 2700 m.s.n.m. En esta ubicación se le conoce como El ramal, que vierte a la presa Villa Victoria, a partir de este punto toma el nombre de Malacatepec.
Los Quelites	Parte de la subcuenca Temascaltepec, el río nace en Mesa de palomas, en la ladera oeste del Nevado de Toluca a 3000 m.s.n.m. El río desciende con dirección suroeste, hasta la confluencia con el Arroyo colorado, a partir de la cual se llama Temascaltepec. La extensión de la subcuenca es de 12.25 km ² .
El Campanario	Forma parte de la Subcuenca del Río Temascaltepec. Inicia a 2600 m.s.n.m. en el cerro del Capulín. La subcuenca tiene una extensión de 12.25 km ² .
Pinar de Osorio	Los escurrimientos que forman el río nacen en los cerros El astillero y El pinar, 2450 m.s.n.m., y son captados por la presa Pinar de Osorio. La extensión de la subcuenca de 6.33 km ² .
Los Confitos	Inicia en las inmediaciones de los cerros Sacametate y El pedregal. La subcuenca tiene 9.43 km ² , en la parte sur de la zona de estudio.

Tabla 5. Ríos de la Cuenca de Valle de Bravo – Amanalco (Fundacion Pedro y Elena Hernandez A.C)

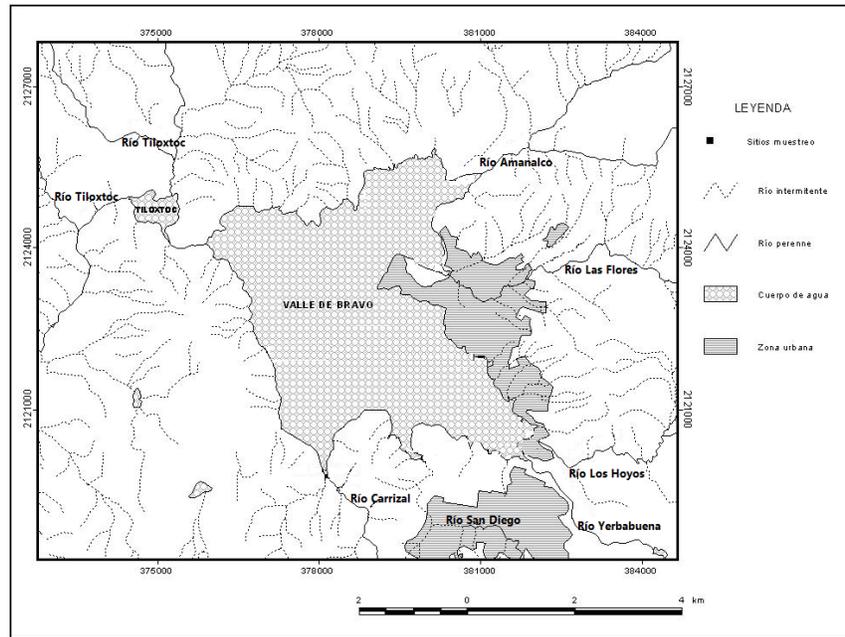


Ilustración 6. Ríos de la cuenca de Valle de Bravo (Fundación Pedro y Elena Hernández A.C)

2.4. Clima

Predomina el clima templado subhúmedo, la temperatura media anual es de 13.4°C, con una máxima de 29.7°C y una mínima de 0.5°C. Según la Estación Amanalco la temperatura mínima media mensual es de 3.1°C y se da durante el invierno debido a las heladas y algunas nevadas registradas; mientras que la temperatura máxima media mensual es de 25.5°C y se da durante la primavera.

La precipitación promedio total anual es de 1,214.4 mm, y es en el verano que cae alrededor del 76% de la lluvia total del año; y la temporada de vientos fríos provenientes del norte y del pacífico se presentan en el otoño.

2.5. Características del suelo

El Municipio de Amanalco territorialmente tiene una extensión de 219.49 km², de los cuales 120,00 km² es en bosque y 90,00 km² en tierra agrícola, la cual el 40% es de riego y el 60% de temporal, y 9.49 km² de pastizales y uso habitacional. Los suelos ordinariamente son del tipo andosol lúmico, que es tierra negra formada a partir de cenizas volcánicas hasta en un 74%, los cuales poseen propiedades distintivas como un alto contenido de material orgánico, alta porosidad, y alta capacidad de retención de agua, todos ellos favorables para el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas.

Estos suelos también presentan una alta permeabilidad, esto les permite tener una buena estructura y no son susceptibles a la erosión hídrica cuando están humedecidos, sin embargo, durante el estiaje la estructura se rompe fácilmente, por la misma razón, las primeras lluvias de la temporada puede ocasionar daños al suelo sueco sin lograr una cobertura floral.

2.6. Uso de suelo

El uso de suelo se clasifica como sigue

(A) Agrícola: (AT) Agrícola de temporal y (AR) agrícola de riego

La agricultura en toda la cuenca es llevada al cabo en las pendientes más bajas, en las llanuras, hasta en pendientes de 50 %, en este último caso produciendo enormes cantidades de azolves.

(P) Pastizales:

Los pastizales inducidos se encuentran en superficies mayores en las llanuras de la laguna de Cuadrilla de Dolores, además en las grandes llanuras de las cuencas altas del Río Los Hoyos, al norte y oriente del cerro Piedra Herrada y en torno a los poblados de Capilla Vieja, Corral de Piedras y Hacienda Vieja. También en el extremo sur de la cuenca al sur de la comunidad de la Huerta de San Agustín en el sur de la cuenca Valle de Bravo (comunidades de Mesa Rica y La Zaurda)

(F) Forestales:

Incluye todo tipo de bosques y matorrales. Las masas forestales se encuentran dispersas en toda la cuenca, pero son dominantes en el sur y oriente de la cuenca.

(U) Urbano

Las zonas urbanas más importantes son Valle de Bravo, Avándaro y Amanalco; en menor tamaño, pero con trazo urbano San Juan, Agua Bendita, San Simón de la Laguna, San Bartolo, Cuadrilla de Dolores, El Potrero, Pipioltepec y Mihualtepec, y recientemente El Arco.

(H) Cuerpos de agua

El cuerpo de agua más importante es el mismo vaso de almacenamiento de la presa Valle de Bravo, utilizado al principio para generar electricidad, posteriormente para aportar agua potable a la ciudad de México a través del sistema Cutzamala. Otros cuerpos de agua son la Laguna de San Simón, ya azolvada, la Laguna Capilla Vieja, también azolvada y seca durante la temporada de estiaje; además algunas represas menores, como son la de El Fresno y las represas del Sr. Kuri en la cuenca media del arroyo Yerbabuena.

También se pueden mencionar las numerosas piscifactorías a lo largo de todas las corrientes de la cuenca.

El cambio de uso de suelo, entre el periodo de 1986 al 2004 se presenta en la

Cambio uso suelo	Histórico/Actual	Superficie (ha)
Agricultura de temporal a Agricultura de riego	AT/AR	642.69
Forestal a Agricultura de Riego	F/AR	1125.56
Pastizal a Agricultura de riego	P/AR	42.09
Forestal a Agricultura de Temporal	F/AT	135.72

Tabla :

Cambio uso suelo	Histórico/Actual	Superficie (ha)
Agricultura de temporal a Agricultura de riego	AT/AR	642.69
Forestal a Agricultura de Riego	F/AR	1125.56
Pastizal a Agricultura de riego	P/AR	42.09
Forestal a Agricultura de Temporal	F/AT	135.72

Tabla 6. Cambio de uso de suelo

Cambio uso suelo	Histórico/Actual	Superficie (ha)
Agricultura de temporal a Zona urbana	AT/U	405.66
Zona forestal a Zona urbana	F/U	296.23
Cuerpo de agua a Zona urbana	H/U	28.11
Matorral a zona urbana	M/U	4.08
Pastizal a Zona urbana	P/U	16.15
total		2,713.59

Tabla 6. Cambio de uso de suelo (Chacon, 2002)

Nombre 1		Superficie (ha)	Nombre 2			Superficie (ha)	
A	cuenca	Río Amanalco	23,082.21	AA	cuenca	Río La Cascada	7,076.49
				AB	cuenca	Río El Salto	6,185.06
				AC	sección	Valle Amanalco	2,487.72
				AD	sección	San Bartolo	1,706.40
				AE	sección	Bajo Amanalco	5,626.54

Tabla 7. Tipo de uso de suelo en Amanalco y superficie (Chacon, 2002)

TABLA DE USOS DEL SUELO PLAN MUNICIPAL DE DESARROLLO URBANO DE AMANALCO	
	Uso general
5.1 CAPTACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA	CAPTACIÓN (DIQUES, PRESAS, CANALES, ARROYOS Y RÍOS) TRATAMIENTO DE AGUA O CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN
	OPERACIÓN DE PLANTAS POTABILIZADORAS
5.2 INSTALACIONES EN GENERAL	PLANTAS, ESTACIONES Y SUBESTACIONES ELÉCTRICAS

	PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS, LAGUNAS DE OXIDACIÓN ,DE CONTROL Y DE REGULACIÓN
	ZONAS DE TRASFERENCIA DE BASURA
	RELLENOS SANITARIOS

Tabla 8. Uso de suelo en Amanalco Basado en (Amanalco, 2004)

2.7. Marco Socioeconómico

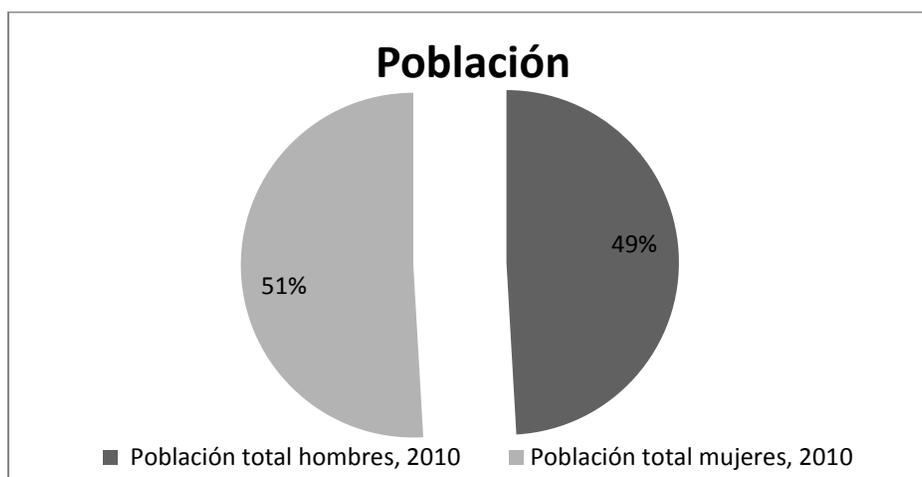
Se describe en esta sección cómo el municipio de Amanalco se desarrolla y qué actividades económicas lo mantienen, así como algunos datos que más adelante se utilizarán para el desarrollo de este proyecto.

2.7.1. Demografía

En la Tabla se presenta la población total del municipio de Amanalco.

Población total, 2010	22,868	Habitantes
Población total hombres, 2010	11,224	Habitantes
Población total mujeres, 2010	11,644	Habitantes

Tabla 9. Población Municipio de Amanalco (INEGI)



Gráfica 4. Comparación de Población

2.7.2. Vivienda y servicios

En la Tabla se muestran los datos de vivienda, así como los servicios de electricidad, drenaje y tecnología que se tienen en los hogares.

Además en el municipio no existe una oficina de correos, el personal del ayuntamiento reparte la correspondencia; tampoco hay puestos de periódicos, sólo llegan algunos periódicos de Valle de Bravo.

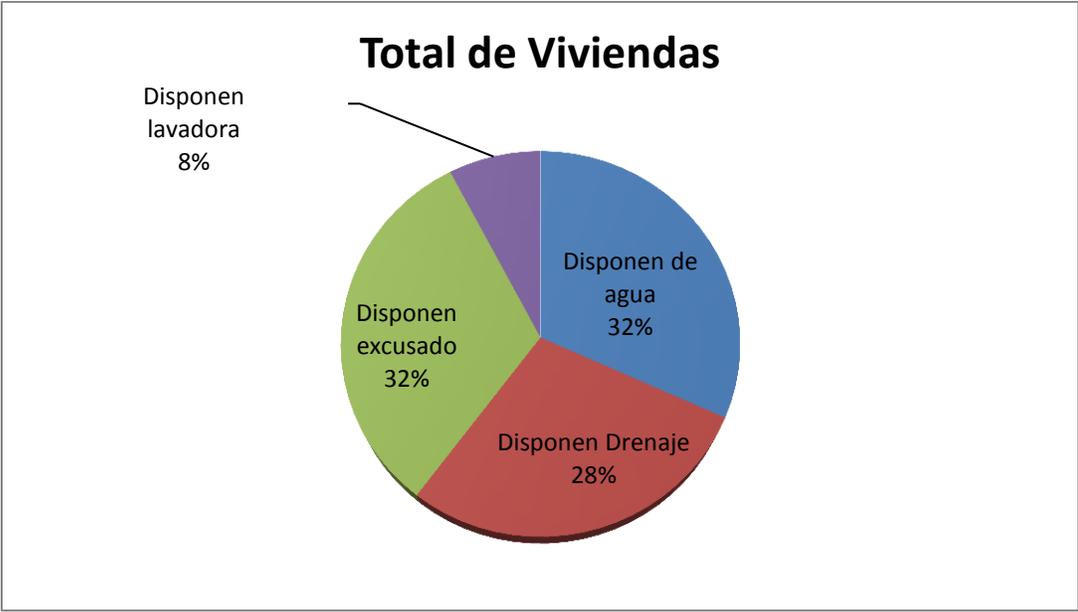
La recepción de las radiodifusoras es mala, se captan algunas estaciones de las ciudades de Toluca y México y los canales de televisión que se reciben son: 2, 4, 5, 7 y 13.

Hogares y servicios	Amanalco
Total de viviendas particulares habitadas, 2010	5,254
Promedio de ocupantes en viviendas particulares habitadas, 2010	4.4

Tabla 10. Datos de vivienda y servicios (INEGI)

Hogares y servicios	Amanalco
Viviendas particulares que disponen de agua de la red pública en el ámbito de la vivienda, 2010	4,223
Viviendas particulares que disponen de energía eléctrica, 2010	4,852
Viviendas particulares que disponen de drenaje, 2010	3,804
Viviendas particulares con piso diferente de tierra, 2010	4,754
Viviendas particulares que disponen de excusado o sanitario, 2010	4,256
Viviendas particulares que disponen de computadora, 2010	266
Viviendas particulares que disponen de lavadora, 2010	1,026
Viviendas particulares que disponen de refrigerador, 2010	1,685
Viviendas particulares que disponen de televisión, 2010	4,200
Promedio de ocupantes por vivienda particular, 2010	4.4

Tabla 10. Datos de vivienda y servicios (INEGI)



Gráfica 5. Comparación de Servicios en Viviendas

2.7.3. Salud

En la Tabla se muestran datos de la población derechohabiente a un servicio de salud.

Salud	Amanalco
Población derechohabiente a servicios de salud, 2010	16,375
Población derechohabiente a servicios de salud del IMSS, 2010	388
Población derechohabiente a servicios de salud del ISSSTE, 2010	668
Población sin derechohabiencia a servicios de salud, 2010	6,391
Familias beneficiadas por el seguro popular, 2009	456
Personal médico, 2009	14
Personal médico en instituciones de seguridad social, 2009	0
Personal médico en el IMSS, 2009	0
Personal médico en el ISSSTE, 2009	0
Personal médico en otras instituciones de seguridad social, 2009	0
Personal médico en instituciones de asistencia social, 2009	14
Personal médico en la Secretaría de Salud del Estado, 2009	12
Personal médico en otras instituciones de asistencia social, 2009	2

Tabla 11. Salud (INEGI)

2.7.4. Educación

Los alumnos inscritos para el ciclo escolar 1994-1995 eran 5,566 en los siguientes niveles:

Preescolar	681	alumnos
Primaria	4,105	alumnos
Secundaria	652	alumnos
Bachillerato	128	alumnos

El municipio contaba con 63 escuelas: 29 de preescolar, 27 de primaria, 6 de secundaria y una de bachillerato.

Al finalizar el año de 1996, el municipio contaba con los siguientes planteles: 30 planteles, 245 aulas, 4 bibliotecas, 2 laboratorios y 4 talleres.

En 1995, de una población de 10,240 habitantes, 7,622 eran alfabetas y 2,605 analfabetas, por lo que el analfabetismo es del 25%.

Capítulo 3. Parámetros de calidad del agua residual

3.1. Importancia del tratamiento del agua residual

La contaminación del agua es un concepto que engloba muchas cosas. El agua sucia o “aguas negras” contienen todo tipo de materia, basura como partículas grandes que se pueden remover fácilmente, partículas sólidas suspendidas y disueltas las cuales no son visibles y contiene bacterias. Esto en conjunto se clasifica como contaminantes orgánicos e inorgánicos.

Se debe recalcar que los contaminantes orgánicos e inorgánicos en el agua está en función de su destino, dígase que se tiene cierta tolerancia para un agua de riego pero no en un agua para consumo humano. Así que de su uso depende la clasificación de los contaminantes.

Dentro de la materia orgánica encontramos proteínas, carbohidratos, además de grasas, mientras que la materia inorgánica contiene arenas sales y metales.

Las aguas negras están mezcladas en un 99% con agua “limpia” lo que las hace menos concentradas facilitando la limpieza.

La caracterización de las aguas es de vital importancia para conocer la cantidad de bacterias que existen en el agua, cuanto oxígeno han consumido y la cantidad de sólidos suspendidos y disueltos que contiene y con esto ver el grado de contaminación que contiene el agua para poder tratarla.

3.2. Características del agua

Se pueden clasificar a las aguas residuales en dos tipos: industriales y municipales. En muchos casos las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; como las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos de tratamiento son también muy variables. Existen aguas residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo que se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado. El estudio del tratamiento específico de las aguas residuales industriales está fuera de los alcances de este texto. El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y de mal olor; su olor característico es a ácido sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro. La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20 °C; esto se debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones.

3.3. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno se refiere a la medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica biodegradable bajo condiciones aerobias en un periodo de 5 días y a condiciones de 20°C.

En aguas residuales domésticas el valor de la DBO se encuentra entre el 65 y 70% del total de materia oxidable. Para el agua residual la DBO representa aproximadamente dos terceras partes de la demanda que sería ejercida si se oxida por vía biológica.

La prueba de DBO es un proceso de oxidación húmeda donde los microorganismos son el medio para oxidar la materia orgánica en dióxido de carbono y agua.

En la realización de la prueba debe considerarse que el agua puede tener un inóculo adecuado de bacterias y que la solubilidad del oxígeno en el agua es muy limitada por lo que hay que recurrir a una dilución.

La dilución se prepara conteniendo los nutrientes necesarios para la actividad biológica, además se airea para saturarla de oxígeno, antes de mezclarla con el agua residual.

Al contener una muestra en un recipiente por 5 días las bacterias contenidas en la muestra comenzarán a consumir el oxígeno y por los primeros días se sigue un patrón como se muestra en la Ilustración 7.

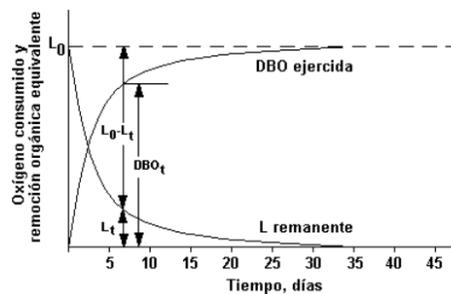


Ilustración 7. Relación de DBO y oxígeno equivalente (ICA, 2003)

Durante los primeros días la disminución de oxígeno es rápida debido a la gran concentración de materia orgánica. Al disminuir la materia orgánica disminuye el consumo de oxígeno, en la última parte de la curva se relaciona el consumo de oxígeno con la decadencia de las bacterias que crecieron durante el inicio de la prueba. Se considera directamente proporcional la tasa de consumo de oxígeno con la concentración de materia orgánica degradable remanente en cualquier tiempo.

3.2.1 Obtención de la DBO

Para la obtención de la DBO se requiere hacer una serie de procesos en el laboratorio después de realizar el debido muestreo en el sitio como como las normas sugieren. A continuación se describe este proceso.

Materiales:

Para la prueba se requieren frascos Winkler que son prácticos por la cantidad precisa que manejan de 300 ml y su tapón que permite el mezclado.

Pipeta, Bureta, Matraces Erlenmeyer y soporte universal.

Los reactivos a utilizar son:

Para el agua de dilución:

Agua destilada, sulfato de magnesio, cloruro férrico, cloruro de calcio y solución amortiguadora.

Para la prueba de DBO:

Sulfato manganoso, álcali yoduro nitrato, ácido sulfúrico concentrado, tiosulfato de sodio y almidón.

4.2.2 Procedimiento

Para el agua de dilución se agrega 1 ml de cada uno de los nutrientes por cada litro de agua de dilución.

Para preparar un litro de dilución se debe aforar un litro de agua destilada y agregar los nutrientes. Se mezcla y se airea.

Con la probeta agregar:

Dilución al 0.5%	Dilución al 1%	Dilución al 5%
2.5 ml de agua de muestra	5 ml de agua de muestra	25 ml de agua de muestra
498 ml de agua de dilución	495 ml de agua de dilución	475 ml de agua de dilución

Tabla 12. Proporciones de dilución

A continuación se llena un frasco Winkler con cada una de las diluciones y se rotula con fecha y porcentaje de dilución.

Guardar un frasco de cada dilución en la incubadora a 20°C para analizarlo 5 días después.

Con 2 frascos Winkler determinar el oxígeno disuelto inicial agregando 1ml de sulfato manganoso y 1ml de álcali yoduro nítrico. Se tapan y eliminan el exceso para después agitar 15 veces para mezclar, se formará un precipitado y se calificará como sigue:

- Precipitado blanco indica ausencia de oxígeno
- Precipitado café o amarillo indica presencia de oxígeno

Se espera a que sedimente el precipitado y se agita 15 veces y se le agregará 1ml de ácido sulfúrico, se tapa y se mezcla. Esto es para fijar el oxígeno de la muestra.

Se miden 200ml en una probeta y se vierten en un matraz y se agrega un par de gotas de almidón que será el indicador.

Se llena una bureta con tiosulfato de sodio hasta la marca de cero, se coloca un agitador en el matraz, este se coloca debajo de la bureta y dosifica el tiosulfato de sodio hasta que la muestra regrese al color original.

El tiosulfato utilizado en ml corresponde directamente a los mg/l de oxígeno disuelto en la muestra.

Este proceso se repite con la muestra incubada 5 días.

3.4. Sólidos Suspendidos

Si un metro cúbico de agua residual pesa aproximadamente 1,000,000 de gramos; de éstos alrededor de 500 gramos son de sólidos totales; éstos pueden estar en forma suspendida o en disolución. Los sólidos totales se determinan evaporando un volumen determinado de muestra y pesando el residuo remanente. Los resultados se expresan en mg/l.

De los aproximadamente 500 gramos de sólidos totales, la mitad son sólidos disueltos tales como calcio, sodio y compuestos orgánicos solubles. Los 250 gramos restantes son insolubles.

La fracción insoluble consiste en aproximadamente 125 gramos de material que puede sedimentarse en 30 minutos si se deja al agua en condiciones de quietud. Los 125 gramos restantes permanecerán en suspensión por mucho tiempo.

Para la determinación de los sólidos suspendidos y de los sólidos disueltos se requiere filtrar la muestra. La filtración se lleva a cabo por medio de un filtro de membrana. Para determinar los sólidos suspendidos, el filtro es secado y pesado; en seguida se filtra un volumen determinado de muestra, se le seca y pesa otra vez. La diferencia de peso entre el volumen de muestra utilizada, proporciona la concentración de sólidos suspendidos. Para la determinación de los sólidos disueltos, del líquido filtrado se toma un cierto volumen, se evapora hasta su secado y se pesa el residuo.

3.5. Temperatura

En el agua residual forma una parte importante pues cuando la temperatura aumenta los procesos biológicos también y cuando la temperatura disminuye los procesos se desaceleran.

3.6. Agentes infecciosos en el agua residual

3.6.1. Microorganismos patógenos

En las aguas residuales se pueden encontrar todo tipo de patógenos que entre ellos se incluyen: bacterias, virus, protozoarios y helmintos. No es común que se encuentren presentes los microorganismos que causan algunas enfermedades severas, pero se asume que si por seguridad y que representan un peligro para la salud. Después del tratamiento solo algunos microorganismos patógenos logran sobrevivir.

3.6.2. Bacterias

Son microorganismos unicelulares, sin color y constituyen la menor forma de vida capaz de sintetizar el protoplasma a partir de su ambiente. Pueden tener forma cilíndrica o de basto (bacilos), oval o esférica (cocos) o espirales (espirilos). Una señal de enfermedad por esta bacteria en el agua son desórdenes intestinales.

3.6.3. Virus

Son estructuras biológicas inferiores de las cuales se sabe que contienen información genérica necesaria para su reproducción. Son tan pequeños que solo se pueden observar con un microscopio electrónico.

Para su adecuado desarrollo necesitan un huésped para desarrollarse y una vez en él se desarrolla produciendo síntomas de desorden en el sistema nervioso y tracto intestinal.

3.6.4. Protozoarios

Están un nivel abajo de la vida animal. Son organismos unicelulares más complejos que las bacterias y los virus en actividad. Son organismos auto-contenidos que pueden vivir libremente o parasitariamente. Pueden ser patógenos o no patógenos, microscópicos o macroscópicos. Son

totalmente adaptables, están en gran parte de las aguas naturales aunque solo algunos protozoarios acuáticos son patógenos.

Se manifiestan con desórdenes intestinales.

3.6.5. Helmintos

Mejor conocidos como gusanos parásitos, incluye dos o más animales huéspedes, entre ellos el humano y la contaminación del agua puede ser causada por el vertido de desechos animales y humanos que contienen helmintos. La contaminación puede ser a través de especies acuáticas, insectos y caracoles.

En la tabla 13 se muestran los patógenos más comunes que residen en el agua.

Microorganismos	Enfermedades	
Bacterias	Francisella tularensis Leptospira Salmonella paratyphi (A,B, C) Salmonella typhi Shigella (S.Flexneri, S. Sonnei, S. Dysenteriae, S. Boydii) Vibro comma (Vibro cholerae)	Tularemia Leptospirosis Paratifoidea (fiebre entérica) Fiebre tifoidea, fiebre entérica Shigelosis (disentería bacilar) Colera
Virus	Poliomelitys (3 tipos) Virus desconocidos	Poliomyelitis aguada, parálisis infantil Hepatitis infecciosa
Protozoarios	Entamoeba histolytica Giardia lambia	Amebiasis (disentería amebiana, enteritis amebiana, colitis amebiana) Giardiasis (enteritis guardia, lambilasis)
Helmintos (gusanos parásitos)	Dracunculus medinensis Echinococcus Shistosoma (S. Mansoni, S. Japonicum, S. Haematobium)	Dracintuasus (dracunculiasis; dracunculosis; medina; infección serpiente, dragon o gusano-guinéa) Equinococosis Squistosomiasis (bilharziasis o enfermedad de Bill Harris”)

Tabla 13. Patógenos comunes transportados por el agua

Capítulo 4. Terminología en el tratamiento de aguas residuales

Se utilizan diversa terminología para identificar las etapas del tratamiento, los procesos y las operaciones.

Los métodos usados para el tratamiento de aguas residuales municipales se denominan operaciones y procesos unitarios. Las operaciones unitarias incluyen remoción de contaminantes por fuerzas físicas, mientras que los procesos unitarios consisten en reacciones biológicas o químicas.

Un reactor se refiere al depósito o estructura que contiene, junto con todos sus accesorios, en el que tiene lugar la operación unitaria o proceso unitario. Las operaciones y procesos unitarios son fenómenos naturales, que pueden ser iniciados, y controlados alterando el ambiente del reactor. El diseño del reactor es muy importante y requiere comprensión del proceso unitario u operación involuntaria.

Un sistema de tratamiento esta compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir las partes que constituyen al agua residual a un nivel aceptable. Se pueden hacer diversas combinaciones de operaciones y procesos unitarios, pero cada sistema tiene su particularidad. En la Tabla 14 se muestran los procesos y operaciones para cada etapa.

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Sólidos en suspensión	Sedimentación Desbaste y aeración Variaciones de filtración Flotación Adición de polímeros o reactivos químicos Coagulación sedimentación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia orgánica biodegradable	Variaciones de lodos activados Película fija: filtros percoladores Película fija: discos biológicos Variaciones de lagunaje Filtración intermitente de arena Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno Sistemas fisicoquímicos
Patógenos	Cloración Hipocloración Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno

Tabla 14. Operaciones y procesos unitarios utilizados para eliminar los contaminantes del agua residual (Edie, 2003)

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario o sistema de tratamiento
Nutrientes Nitrógeno	Variaciones de sistemas de cultivo suspendido con nitrificación y desnitrificación Variaciones de sistemas de película fija con nitrificación y desinfección Arrastre de amoníaco (stripping) Intercambio de iones Cloración en el punto crítico Sistemas de tratamiento por evacuación en el terreno
Fósforo	Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica y química de fósforo Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Materia refractaria orgánica	Adsorción en carbón Ozonación terciaria Sistemas de tratamiento por evacuación de terreno
Metales pesados	Precipitación química Intercambio de iones Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno
Sólidos Disueltos Inorgánicos	Intercambio de iones Ósmosis inversa Electrólisis

Tabla 14. Operaciones y procesos unitarios utilizados para eliminar los contaminantes del agua residual (Edie, 2003)

4.1 Funcionamiento general de una planta de tratamiento de agua residual

Los sistemas de tratamiento de agua residual se dividen en subsistemas:

- Primario
- Secundario
- Terciario

El propósito del tratamiento primario es remover materiales sólidos del influente a la planta. Los residuos grandes se pueden retirar mediante rejas o reducir su tamaño utilizando dispositivos de molienda. Los sólidos inorgánicos se remueven en canales desarenadores y una buena parte de los sólidos suspendidos orgánicos se remueven por sedimentadores. Un sistema primario típico remueve aproximadamente la mitad de los sólidos suspendidos el influente a la planta. La DBO asociada a estos sólidos es aproximadamente del 30% de la del influente.

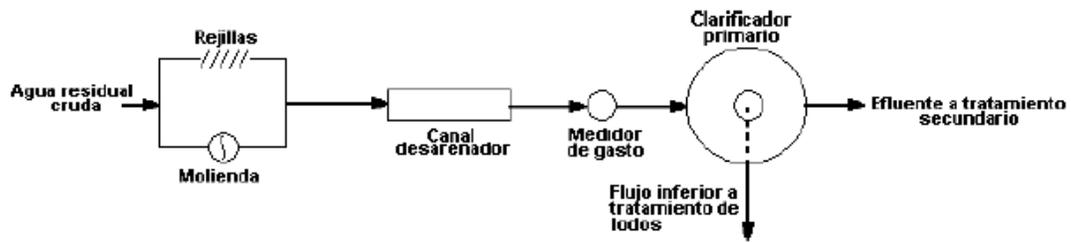


Ilustración 8. Sistema de tratamiento primario. Con base en (César, 2003)

El tratamiento secundario consiste generalmente en la conversión biológica de compuestos orgánicos disueltos y coloidales en biomasa, misma que puede ser removida por un sedimentador. El contacto entre microorganismos y compuestos orgánicos se logra suspendiendo la biomasa en el agua residual o haciendo pasar el agua sobre una película de biomasa adherida a una superficie sólida.

El sistema más utilizado es el de lodos activados. La recirculación de una porción de la biomasa mantiene una cantidad grande de microorganismos en contacto con el agua y acelera el proceso de conversión. El sistema clásico de biomasa adherida es el de filtros percoladores. Se usan piedras u otros medios sólidos para incrementar el área para el crecimiento de la biopelícula. La biopelícula madura se desprende de la superficie y es drenada hacia el tanque de sedimentación junto con el flujo inferior del reactor.

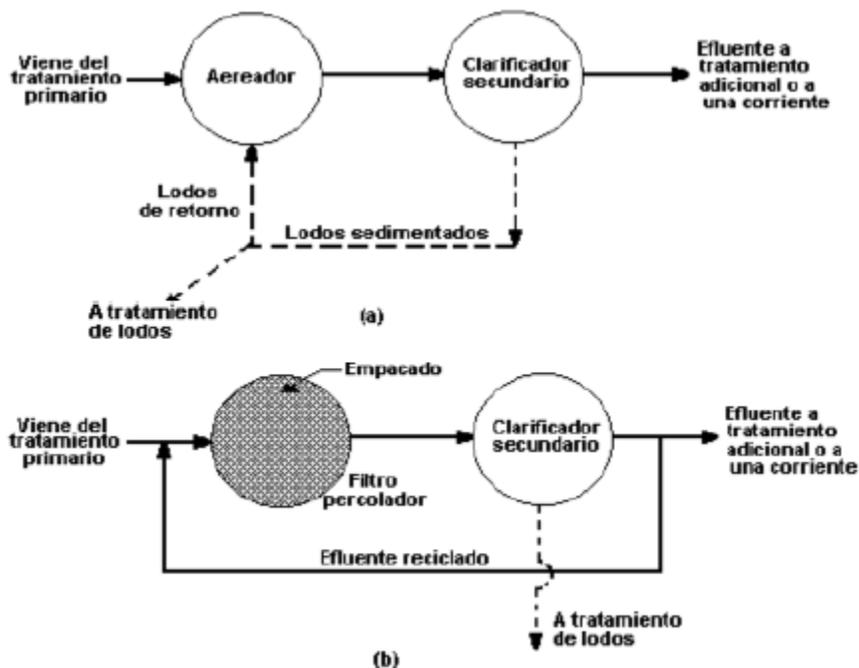


Ilustración 9. Tratamiento secundario; a) Sistema de lodos activados, b) Sistema de filtros percoladores. (César, 2003)

Los procesos secundarios producen exceso de biomasa que es biodegradable mediante catabolismo endógeno y por otros microorganismos. Los lodos secundarios se pueden combinar con los primarios para un tratamiento adicional con un proceso biológico anaerobio.

Los productos resultantes de este proceso son gaseosos, principalmente metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y líquidos y sólidos inertes.

La cantidad de metano es considerable y puede usarse para satisfacer parte de los requerimientos energéticos de la planta de tratamiento. La concentración de compuestos orgánicos de los líquidos es grande y se reciclan a través de la planta de tratamiento. También es grande la cantidad de minerales del residuo sólido, por lo que puede usarse como acondicionador de suelos y fertilizante en terrenos agrícolas. Otros métodos de disposición de sólidos son la incineración o su enterramiento en un relleno sanitario.

En la mayoría de los casos, es suficiente el tratamiento secundario de las aguas residuales municipales para que el efluente cumpla con las normas oficiales mexicanas. Sin embargo, en algunos casos puede requerirse tratamiento adicional.

El tratamiento terciario considera la remoción de sólidos suspendidos y/o remoción de nutrientes. La remoción de sólidos puede llevarse a cabo mediante filtración, y los compuestos de fósforo y nitrógeno pueden removerse mediante una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos.

El tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reuso.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del lugar donde se generan (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías - y eventualmente bombas - a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para recolectar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujetas a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). A menudo ciertos contaminantes de origen industrial presentes en las aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

Típicamente, el tratamiento de aguas residuales comienza por la separación física inicial de sólidos grandes (basura) de la corriente de aguas domésticas o industriales empleando un sistema de rejillas, aunque también pueden ser triturados esos materiales por equipo especial; posteriormente se aplica un desarenado (separación de sólidos pequeños muy densos como la arena) seguido de una sedimentación primaria (o tratamiento similar) que separe los sólidos suspendidos existentes en el agua residual. Para eliminar metales disueltos se utilizan reacciones de precipitación, que se utilizan para eliminar plomo y fósforo principalmente. A continuación sigue la conversión progresiva de la materia biológica disuelta en una masa biológica sólida usando bacterias adecuadas, generalmente presentes en estas aguas. Una vez que la masa biológica es separada o removida (proceso llamado sedimentación secundaria), el agua tratada puede

experimentar procesos adicionales (tratamiento terciario) como desinfección, filtración, etc. El efluente final puede ser descargado o reintroducido de vuelta a un cuerpo de agua natural (corriente, río o bahía) u otro ambiente (terreno superficial, subsuelo, etc). Los sólidos biológicos segregados experimentan un tratamiento y neutralización adicional antes de la descarga o reutilización apropiada. (Ilustración 10)

Estos procesos de tratamiento son típicamente referidos a un:

- Tratamiento primario (asentamiento de sólidos)
- Tratamiento secundario (tratamiento biológico de la materia orgánica disuelta presente en el agua residual, transformándola en sólidos suspendidos que se eliminan fácilmente)
- Tratamiento terciario (pasos adicionales como lagunas, micro filtración o desinfección)



Ilustración 10. Distribución de una planta de Tratamiento de aguas residuales

4.2. Proyecto de una planta de tratamiento

Este es uno de los elementos más importantes en la ingeniería ambiental, para seleccionar y analizar los diagramas de flujo de los procesos viables a construcción se aplica el conocimiento teórico y la experiencia práctica.

Una vez que se ha definido la calidad del efluente requerido, el diseño de la planta se realiza como sigue:

1. Síntesis de alternativas y diagramas de flujo
2. Aforo y muestreo, y pruebas de tratabilidad
3. Selección de criterios de diseño
4. Dimensionamiento de las instalaciones físicas
5. Preparación de balances de sólidos
6. Distribución en el terreno de las instalaciones físicas
7. Preparación de perfiles hidráulicos
8. Elaboración de planos, especificaciones y estimación de costos

Los diagramas de flujo se elaboran con base en las características de las aguas residuales por tratar, los objetivos del tratamiento y, si están disponibles, los resultados de las pruebas de tratabilidad. Las mejores alternativas de diagramas de flujo se seleccionan después de que éstas han sido evaluadas en términos de su comportamiento, implantación física, requerimientos de energía y costo.

Las pruebas de tratabilidad son pruebas a escala que se llevan a cabo en laboratorio y cuyos resultados se emplean para establecer dosis aproximadas de sustancias químicas y para obtener coeficientes cinéticos. El realizar pruebas de tratabilidad tiene los siguientes propósitos:

- Establecer si las operaciones y procesos unitarios son adecuados para el tratamiento del agua residual específica.
- Obtener los datos e información necesaria para el diseño de las operaciones y procesos unitarios.

El muestreo y medición del gasto de aguas residuales son dos actividades imprescindibles para el diseño de la planta. El propósito del muestreo es coleccionar una porción de aguas residuales lo suficientemente pequeña en volumen para ser manejada convenientemente en el laboratorio y que sea representativa del agua residual que se va a examinar.

Debe recogerse en tal forma que no se agregue ni se pierda nada en la porción tomada y que no se produzca ningún cambio durante el tiempo que transcurra desde la recolección hasta su análisis en el laboratorio. Si no se satisfacen estas condiciones, los resultados obtenidos en el laboratorio serán engañosos y de peores consecuencias que la falta de ellos.

No puede especificarse la localización de los puntos de muestreo y la recolección de las muestras para todos los proyectos de plantas de tratamiento. Las condiciones son diferentes para cada caso. Se pueden formular las siguientes recomendaciones:

- La muestra debe tomarse en donde estén bien mezcladas las aguas residuales. Esto se logra tomando la muestra donde el flujo sea turbulento.
- Deben excluirse las partículas grandes, considerándose como grandes las que sean mayores de 6 mm.
- No deben incluirse en el muestreo los sedimentos, crecimientos o material flotante que se haya acumulado en el punto de muestreo.
- La muestra debe analizarse tan pronto como sea posible. Si se retiene por más de una hora, debe mantenerse fría. La descomposición bacteriana de las aguas residuales continúa en el recipiente de muestra. Después de una hora son apreciables los cambios debido a tal descomposición. El enfriar la muestra retarda mucho la acción bacteriana.
- Debe procurarse que la recolección de muestras sea lo más fácil posible. Los puntos de muestreo deben ser de fácil acceso, tener el equipo adecuado y proteger al personal de las inclemencias del tiempo, pues mientras más fácil sea la toma de muestras, mejor será su ejecución.

Las muestras pueden ser instantáneas o compuestas.

Una muestra instantánea consiste en coleccionar todo el volumen a examinar en un mismo tiempo, por lo que representa las características de las aguas residuales solamente para la hora en la que

se toma. En general se utilizan cuando las aguas residuales mantienen su gasto y características estables o bien cuando las descargas son intermitentes.

Una muestra compuesta se logra con la colección de aguas residuales en forma continua durante un intervalo de tiempo dado, o bien con la composición de varias muestras instantáneas tomadas a cada cierto tiempo. Esta muestra representa el promedio de las características a medir durante el tiempo que dure su colección. Para definir el tiempo necesario para su colección y hacerla representativa, es necesario conocer el comportamiento del agua a muestrear. A mayor cambio en el gasto y características de las aguas residuales, menor tiempo transcurrido para coleccionar la muestra compuesta.

Lo más recomendable es bombear en forma continua hacia un recipiente con el fin de acumular un volumen mayor que el de la muestra. Una vez cumplido el tiempo se homogeneiza el volumen recolectado y se procede a llenar los envases con muestra para su preservación y transporte.

Una vez que se han seleccionado los procesos de diseño, el siguiente paso es dimensionar las operaciones y procesos unitarios requeridos, de manera que se puedan determinar las obras necesarias para su implantación. Dependiendo de las restricciones impuestas por el predio, podría ser necesario cambiar de tipo de tanque de forma hasta que se adapte con el terreno estudiado.

Los balances de sólidos deben efectuarse para los gastos medio y punta (gasto máximo extraordinario). La elaboración de un balance de sólidos consiste en determinar las cantidades de sólidos que entran y salen de cada operación o proceso unitario; estos datos son especialmente importantes en el diseño de las instalaciones de procesamiento de lodos.

Recopilando la información obtenida en las dimensiones de las instalaciones, se desarrollan varios planteamientos de arreglo de acuerdo con las restricciones del sitio. En la propuesta de la distribución o arreglo de unidades debe procurarse minimizar la longitud de las tuberías, agrupando juntas las instalaciones relacionadas;

Se deben considerar los siguientes puntos para la distribución:

- Geometría de los predios disponibles para la planta de tratamiento
- Topografía
- Condiciones del suelo y de las cimentaciones
- Localización de la alcantarilla del efluente
- Localización del punto de vertido
- Accesos para el transporte
- Tipos de procesos considerados
- Efectos sobre la longitud de las conducciones entre las unidades de la planta
- Eficiencia de los procesos
- Fiabilidad y economía de operación
- Estética
- Impacto ambiental
- Existencia de terreno adicional para ampliación futura de la planta

Los perfiles hidráulicos se elaboran con los siguientes propósitos:

- Asegurar que el gradiente hidráulico es el adecuado para que se desarrolle un flujo por gravedad del agua residual a través de las instalaciones de tratamiento.
- Para establecer las alturas de impulsión requeridas por las bombas, cuando el bombeo sea necesario.
- Para asegurar que las instalaciones de la planta no se verían inundadas o que el agua alcance cotas no previstas durante los periodos de gasto punta.

4.3. Tratamiento primario

El agua residual contiene varias formas de sólidos, distintos tamaños y densidades. Para remover estos sólidos es necesaria una serie de operaciones unitarias como un cribado, desmenuzado y una sedimentación. Los elementos del subsistema primario son:

El tratamiento primario consta básicamente de 4 secciones que se describirán con mayor detalle más adelante. Las secciones del tratamiento primario son:

1. Emisor de llegada
2. Elementos preparatorios
 - a. Rejillas
 - b. Desarenadores
 - c. Canal Parshall
 - d. Tanque de igualación
 - e. Tanques de sedimentación primaria
3. Tanques de sedimentación primaria para separación de sólidos suspendidos

Los emisores son la parte de la red de alcantarillado que conduce el agua residual a la planta de tratamiento y de la planta al sitio de vertido final. Estos emisores se diseñan para operar por gravedad o a presión, esto depende del terreno que se esté estudiando.

El gasto de diseño empleado en el emisor será el gasto máximo extraordinario del proyecto en el tramo comprendido entre la red y la planta de tratamiento y el gasto del efluente tratado para el tramo entre la planta y el sitio de vertido final.

La parte del emisor que conduce el efluente de agua residual cruda debe ir en una tubería, generalmente de concreto que solo estará inundada después de una precipitación pluvial.

El siguiente paso para el tratamiento primario es un conjunto de procesos llamado tratamiento preliminar que se describe a continuación.

4.3.1. Rejillas

En el agua residual podemos encontrar una cantidad inimaginable de objetos de volumen considerable como: ramas, ropa, botellas, bolsas, animales, etc.

Para poder dar una limpieza superficial de objetos grandes se emplean las rejillas, estas se colocan con una pequeña inclinación respecto al piso, las carillas de hierro son horizontales y paralelas.

Otra función fundamental de las rejillas es la seguridad de las bombas y elementos mecánicos al no dejar pasar la basura que pueda provocar que algún engrane se atore y descomponga los equipos.

Existen dos tipos de limpieza de las rejillas, las manuales y las mecánicas, las manuales se utilizan cuando se tiene un gasto menor a $0.05 \text{ m}^3/\text{s}$.

En las plantas pequeñas por lo general se instalan rejillas de limpieza manual en un canal. La profundidad del canal depende de las condiciones propias de la construcción mientras que para el ancho del canal y la separación entre barras se pueden tomar de medidas típicas. Tabla

Ancho del canal (b) en cm	40, 50, 60, 80, 100, 125, 160, 180, 225, 250
Separación entre barras (e) en cm	2, 3, 4, 5, 6, 8, 10

Tabla 15. Medidas típicas del ancho de canal de rejillas y separación entre barras de limpieza manual (César, 2003)

En la Ilustración 11 se muestra cómo se compone una rejilla.

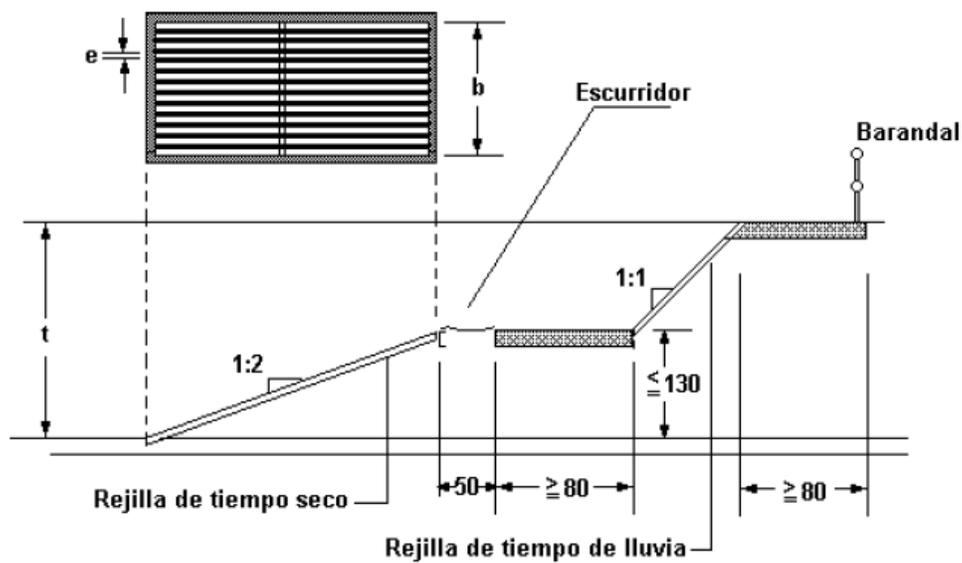


Ilustración 11. Disposición de rejillas de limpieza manual (César, 2003)

Las rejillas de limpieza manual se instalan con una inclinación de 30 a 60° respecto a la horizontal, las barras pueden tener una separación grande o pequeña, entre 5 a 10 cm o de 2 a 4 cm respectivamente. Para mantener el flujo laminar se recomienda que el agua tenga una velocidad al menos de 0.5 m/s para la adecuada retención de los materiales. Sin embargo en época de lluvia esta velocidad aumenta y se recomienda que la velocidad máxima sea de 2 m/s si esto no se pudiera lograr se considera tener dos canales para dividir el gasto que nos ayudará en época de lluvia.

Se considera el gasto del agua residual y los tirantes que se presentan antes y después de los emparrillados, estos dependen de la cantidad de material retenido.

4.4. Desarenadores

Estos se localizan inmediatamente después de las rejillas y su función es sedimentar la arena que contiene el agua residual que tiene un diámetro aproximado de 0.2 mm, pero también algunas

partículas orgánicas tienen este diámetro, así que los residuos removidos de los desarenadores contienen materia orgánica por lo que se debe tener un cuidado especial con la disposición de los mismos.

La sedimentación se clasifica dependiendo de las características de las concentraciones de los materiales suspendidos. Una de ellas son las partículas discretas las cuales su tamaño, forma y gravedad específica no cambian con el tiempo, que son con las que se trabaja en el tratamiento de agua residual.

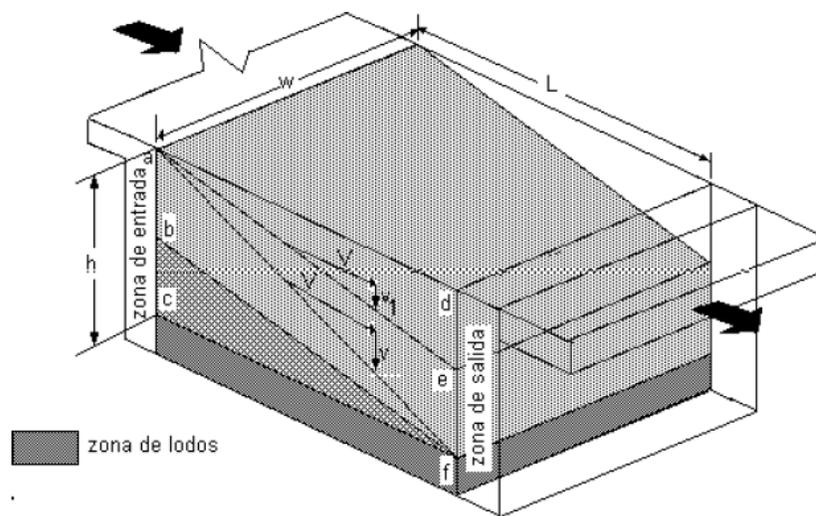


Ilustración 12. Desarenador (César, 2003)

4.5. Canal Parshall

Este canal tiene la utilidad de aforador, es económico y verifica las velocidades después del desarenador. También se puede utilizar para agregar químicos al agua residual.

La forma del canal esta diseñada para no permitir la acumulación de sólidos que afecten la medición. En Ilustración 13 se muestra la forma del canal.

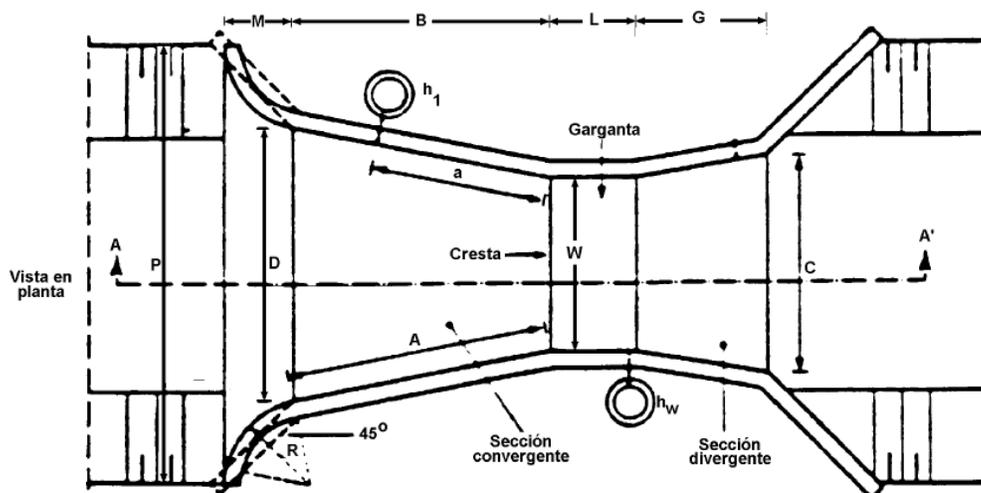


Ilustración 13. Canal Parshall vista en planta. (César, 2003)

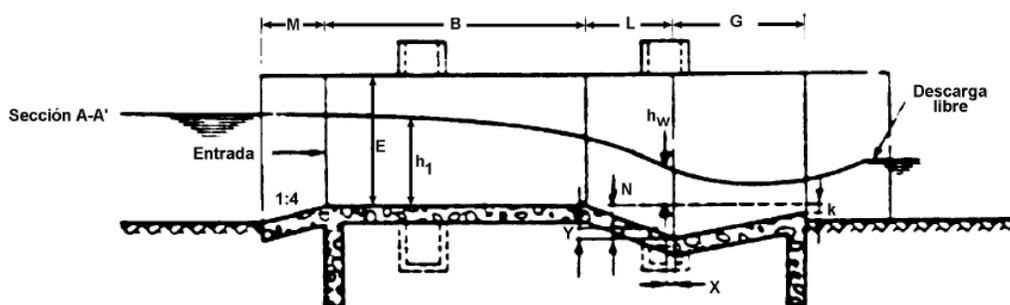


Ilustración 14. Perfil Canal Parshall. (César, 2003)

Para el diseño de los canales se utilizan tablas con medidas frecuentes. Tabla 16

Ancho de garganta w , en mm	Intervalo de descarga		Ecuación del gasto Q en m^3/s h_1 en m	Intervalo de carga hidráulica		Límite modular h_w/h_1
	Mínimo $Q(l/s)$	Máximo $Q(l/s)$		Mínimo $Q(l/s)$	Máximo $Q(l/s)$	
76.2	0.77	32.1	$0.177h_1^{1.550}$	0.03	0.33	0.5
152.4	1.5	111.1	$0.3812 h_1^{1.560}$	0.03	0.45	0.6
228.6	2.5	251	$0.5354 h_1^{1.530}$	0.03	0.61	0.7

Tabla 16. Características de descarga de canales Parshall (César, 2003)

Ancho de garganta w, en mm	Intervalo de descarga		Ecuación del gasto Q en m ³ /s h ₁ en m	Intervalo de carga hidráulica		Límite modular h _w /h ₁
	Mínimo Q(l/s)	Máximo Q(l/s)		Mínimo Q(l/s)	Máximo Q(l/s)	
304.8	3.32	457	0.6909 h ₁ ^{1.520}	0.03	0.76	0.7
457.2	4.8	695	1.0560 h ₁ ^{1.538}	0.03	0.76	0.7
609.6	12.1	937	1.4280 h ₁ ^{1.550}	0.046	0.76	0.7
914.4	17.6	1427	2.1840 h ₁ ^{1.550}	0.06	0.76	0.7
1219.2	35.8	1923	2.9530 h ₁ ^{1.578}	0.076	0.76	0.7
1524	44.1	2424	3.7320 h ₁ ^{1.587}	0.076	0.76	0.7
1828.8	74.1	2929	4.5190 h ₁ ^{1.595}	0.076	0.76	0.7
2133.6	85.8	3438	5.3120 h ₁ ^{1.601}	0.076	0.76	0.7

Tabla 16. Características de descarga de canales Parshall (César, 2003)

También existen dimensiones estándar para los canales Parshall que se muestran en la tabla 17.

W	A	B	C	D	E	L	G	K	M	N	P	X	Y
76.2	467	457	178	259	457	152	305	25	-	57	-	25	38
152.4	621	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	51	76
228.6	879	884	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	51	76
304.8	1372	1343	610	845	914	610	914	76	381	229	1492	51	76
457.2	1448	1419	762	1026	914	610	914	76	381	229	1676	51	76
609.6	1524	1495	914	1206	914	610	914	76	381	229	1854	51	76
914.4	1676	1645	1219	1572	914	610	914	76	381	229	2222	51	76
1219.2	1829	1794	1524	1937	914	610	914	76	381	229	2711	51	76
1524	1981	1943	1829	2302	914	610	914	76	381	229	3080	51	76
1828.8	2134	2092	2134	2667	914	610	914	76	381	229	3442	51	76
2133.6	2286	2242	2438	3032	914	610	914	76	381	229	3810	51	76
2438.4	2438	2391	2743	3397	914	610	914	76	381	229	4172	51	76

Tabla 17. Dimensiones estándar para canales Parshall. En mm, (César, 2003)

4.6. Tanque de igualación

Las descargas de agua residual son variantes, dado que en las mañanas y las noches las descargas son mayores que en el transcurso del día. Esto provoca que se tenga una variación importante en el gasto de entrada de la planta de tratamiento y puede dañar algunas de las instalaciones.

Por esta razón existe el tanque de igualación que se encarga de modular el gasto además de funcionar como un homogeneizador, regulando el pH y la concentración de los constituyentes tóxicos en el agua residual.

La igualación del gasto no es propiamente parte del proceso del tratamiento pero ayuda a mejorar el funcionamiento de la planta incrementando su capacidad útil.

Este puede ir después de las rejillas, desarenador y el canal Parshall para cumplir su función de almacenamiento, de aquí se bombea con un gasto constante y se le proporciona aireación y mezclado para evitar olores desagradables y la sedimentación.

4.7. Tanques de sedimentación primaria

Esta es una operación unitaria diseñada para eliminar del 40 al 65% los sólidos suspendidos en el agua. El agua pasa por el sedimentador a una velocidad baja y queda ahí entre 0.5 a 3 horas.

Los residuos generados (en forma de lodo), en esta parte se eliminan con colectores mecánicos.

Este proceso además genera una “nata” de grasas y aceites la cual se debe remover con un canal o un rastrillo, dependiendo de la forma del sedimentador.

La sedimentación primaria puede realizarse en tanques rectangulares alargados o en tanques circulares.

Los tanques rectangulares, retiran la espuma con rastras de lodo que alternadamente, después de recorrer el tanque por el fondo, regresa a su punto de partida recorriendo la superficie del agua, lo que se aprovecha para remover la espuma. El material floculante se desplaza hasta un sitio donde se colecta ubicado retirado del vertedor del efluente y ahí se retira pasando sobre un vertedor de espuma o por una rastra transversal.

La sedimentación puede clasificarse en varios tipos dependiendo de las características y concentración de los materiales suspendidos. En la Tabla 18 se mostrarán cuáles son:

Sedimentación del tipo 1	Sedimentación del tipo 2	Sedimentación del tipo 3
Una suspensión diluida es aquella en la que la concentración de partículas no es suficiente para provocar un desplazamiento significativo en el agua conforme aquellas se sedimentan, o en las que las partículas no están lo suficientemente cercanas entre si para que ocurra alguna interferencia en sus respectivos campos de velocidades.		
Es el tipo de sedimentación de partículas discretas en suspensiones diluidas. Las partículas discretas 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 floculentas son aquellas cuya superficie tiene propiedades tales que se agregan con otras partículas con las que entra en contacto.	Una suspensión concentrada 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.

Tabla 18. Tipo de sedimentación. (César, 2003)

4.8. Tratamiento secundario

A pesar del pre-tratamiento y el tratamiento primario el agua residual aún contiene sólidos suspendidos en un aproximado del 50%. Para cumplir con la Norma Oficial Mexicana (NOM) se necesita reducir la fracción orgánica como la disuelta. Esto se logra ya sea con métodos químicos o biológicos. En el caso de los procesos químicos, son costosos en diseño como en operación y por esta razón no son rentables, mientras que los procesos biológicos son más accesibles.

En el tratamiento biológico los microorganismos consumen los elementos orgánicos del agua como alimento y convierten a estas en células de biomasa. Se requieren diversos tipos de microorganismos para que este proceso sea completo, por esta razón se utiliza un cultivo mezclado.

Se debe tener cuidado con los cultivos, pues si se descontrolan no se realiza bien el trabajo que se requiere y la colonia podría desaparecer.

Capítulo 5. Tipos de plantas para el tratamiento Secundario de aguas residuales

5.1. Lagunas de Estabilización

Las lagunas de estabilización son fundamentalmente reservas artificiales, que comprenden una o varias series de lagunas anaerobias, facultativas y de maduración.

El tratamiento primario se lleva a cabo en la laguna anaerobia, la cual se diseña principalmente para la remoción de materia orgánica suspendida (SST) y parte de la fracción soluble de materia orgánica (DBO₅).

La etapa secundaria en la laguna facultativa remueve la mayoría de la fracción remanente de la DBO₅ soluble por medio de la actividad coordinada de algas y bacterias heterotróficas. El principal objetivo de la etapa terciaria en lagunas de maduración es la remoción de patógenos y nutrientes (principalmente Nitrógeno). Las lagunas de estabilización constituyen la tecnología de tratamiento de aguas residuales más benéfica para la remoción de microorganismos patógenos, por medio de mecanismos de desinfección natural.

Las lagunas de estabilización son particularmente adecuadas para países tropicales y subtropicales dado que la intensidad del brillo solar y la temperatura ambiente son factores clave para la eficiencia de los procesos de degradación (Mara, 1998) .

5.1.1. Lagunas Anaerobias

Estas son las unidades más pequeñas de la serie. Por lo general tienen una profundidad de 2 a 5 m y reciben cargas orgánicas volumétricas mayores a 100 g DBO₅/m³ d. Estas altas cargas orgánicas producen condiciones anaerobias estrictas (oxígeno disuelto ausente) en todo el volumen de la laguna. En términos generales, las lagunas anaerobias funcionan como tanques sépticos abiertos y trabajan extremadamente bien en climas calientes.

Una laguna anaerobia bien diseñada puede alcanzar remociones de DBO₅ alrededor del 60% a temperaturas de 20 °C. Un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 1 día es suficiente para aguas residuales con una DBO₅ de hasta 300 mg/l y temperaturas superiores a 20 °C.

Los diseñadores siempre han mostrado preocupación por las posibles molestias generadas por los olores. Sin embargo, los problemas de olor pueden minimizarse con un diseño adecuado de las unidades, siempre y cuando la concentración de SO₄²⁻ en el agua residual sea menor a 500 mg/l. La remoción de materia orgánica en una laguna anaerobia es gobernada por los mismos mecanismos que ocurren en cualquier reactor anaerobio (Mara, 1998) (Peña, 2002).

5.1.2. Lagunas Facultativas

Estas lagunas pueden ser de dos tipos: laguna facultativas primarias que reciben aguas residuales crudas y laguna facultativas secundarias que reciben aguas sedimentadas de la etapa primaria (usualmente el efluente de una laguna anaerobia). Las lagunas facultativas son diseñadas para remoción de DBO₅ con base en una baja carga orgánica superficial que permita el desarrollo de una población algal activa. De esta forma, las algas generan el oxígeno requerido por las bacterias

heterotróficas para remover la DBO_5 soluble. Una población saludable de algas le confiere un color verde oscuro a la columna de agua.

Las lagunas facultativas pueden tornarse ocasionalmente rojas o rosadas debido a la presencia de bacterias fotosintéticas púrpuras oxidantes del sulfuro. Este cambio en la ecología de las lagunas facultativas ocurre debido a ligeras sobrecargas. De esta forma, el cambio de coloración en una laguna facultativa es un buen indicador cualitativo del funcionamiento del proceso de degradación. La concentración de algas en una laguna facultativa con funcionamiento óptimo depende de la carga orgánica y de la temperatura, pero frecuentemente se encuentra entre 500 a 2000 μg clorofila-a/l.

La actividad fotosintética de las algas ocasiona una variación diurna de la concentración de oxígeno disuelto y los valores de pH. Variables como la velocidad del viento tienen efectos importantes en el comportamiento de la laguna facultativa, ya que se genera mezcla del contenido de la laguna.

Un buen grado de mezcla produce una distribución uniforme de DBO_5 , oxígeno disuelto, bacterias y algas, y en consecuencia una mejor estabilización del agua residual. (Mara, 1998)

5.1.3. Lagunas de Maduración

Estas lagunas reciben el efluente de la laguna facultativa y su tamaño y número depende de la calidad bacteriológica requerida en el efluente final. Las lagunas de maduración son unidades poco profundas (1.0-1.5 m) y presentan menos estratificación vertical, al tiempo que exhiben una buena oxigenación a través del día en todo su volumen. La población de algas es mucho más diversa en las lagunas de maduración comparada con las lagunas facultativas. Por lo tanto, la diversidad algal se incrementa de laguna en laguna a lo largo de la serie. Los principales mecanismos de remoción de patógenos y de coliformes fecales en particular son gobernados por la actividad algal con ayuda de foto-oxidación.

Por otro lado, las lagunas de maduración sólo alcanzan una pequeña remoción de DBO_5 , pero su contribución a la remoción de nitrógeno y fósforo es más significativa.

Se tiene una remoción de nitrógeno total del 80% en todo el sistema de lagunas (laguna anaerobia + laguna facultativa + lagunas de maduración), y de esta cifra el 95% corresponde a la remoción de amonio. Es de resaltar que la mayoría del nitrógeno amoniacal se remueve en las lagunas de maduración. Entre tanto, la remoción total de fósforo en los sistemas de lagunas es baja, usualmente más de 50%.

5.1.4. Arranque del sistema

Una vez terminada la construcción del sistema debe revisarse que no haya vegetación alguna creciendo dentro de las diferentes unidades. Esto es importante en el caso de las lagunas de estabilización sin impermeabilización. Las lagunas facultativas debe llenarse primero que la laguna anaerobia, con el fin de evitar liberación de olores cuando el efluente anaeróbico descarga en una laguna facultativa vacía (Mara, 1998). Las lagunas anaerobias deben llenarse con agua residual cruda y, de ser posible, deben inocularse con biosólidos provenientes de otro reactor anaeróbico. Posteriormente, las lagunas anaerobias deben comenzar a cargarse gradualmente hasta alcanzar

la carga de diseño. Este período de incremento de la carga puede durar entre una (Mara, 1998) a cuatro semanas, dependiendo de la calidad del inóculo utilizado o si la unidad se arrancó sin inoculación previa. Es importante medir el pH dentro de la laguna anaerobia y mantenerlo alrededor de 7.0 para permitir el desarrollo de las poblaciones de arqueas metanogénicas. En este sentido, podría ser necesario añadir cal durante el primer mes de operación, para evitar la acidificación del reactor.

Las lagunas facultativas y lagunas de maduración deben llenarse inicialmente con agua fresca procedente de un río, lago o pozo para permitir el desarrollo gradual de las poblaciones de algas y bacterias heterotróficas. En caso de no disponer de agua fresca, las lagunas facultativas deben llenarse con agua residual cruda y dejarse en batch por unas tres o cuatro semanas para permitir el desarrollo de las poblaciones microbiales antes mencionadas. Durante la aplicación de este último método es inevitable una pequeña liberación de olor en la laguna facultativa.

5.1.5. Mantenimiento

Una vez que las lagunas de estabilización han iniciado su operación en estado estable, es necesario llevar a cabo actividades de mantenimiento rutinario que, aunque mínimas, son indispensables para su buena operación. (Mara, 1998)

Remoción de sólidos gruesos y arenas retenidos en las unidades de tratamiento preliminar.

- Corte, poda y retiro de pasto y vegetación que crezca sobre los terraplenes. Esto se hace para evitar que la vegetación caiga en la laguna y genere micro-ambientes propicios para la proliferación de mosquitos. Se recomienda, por lo tanto, el uso de vegetación o pastos de crecimiento lento para minimizar la frecuencia de esta actividad.
- Remoción de material flotante y plantas macrófitas flotantes de las laguna facultativas y las lagunas de maduración. Esto se hace para maximizar la tasa de fotosíntesis, la re-aeración superficial y prevenir la proliferación de moscas y mosquitos.
- Esparcir la capa de material flotante en la superficie de la laguna anaerobia (la cual no se debe remover ya que ayuda al tratamiento). En caso que se detecte crecimiento de moscas, este material se debe rociar con agua del acueducto.
 - Remoción de cualquier material sólido acumulado en las estructuras de entrada y salida de las lagunas.
 - Reparación de cualquier daño causado a los terraplenes por roedores u otros animales. Reparación de cualquier daño en las obras de encerramiento y puertas o sitios de acceso al sistema.

5.1.6. Ventajas

- En las lagunas con grandes períodos de retención hidráulicos, generalmente se eliminan los huevos y quistes de los parásitos intestinales, lo que no ocurre con tratamientos convencionales, aún con desinfección.
- Pueden tratar gran variedad de aguas residuales domésticas, industriales y agrícolas cuando la carga de las mismas es biodegradable.

5.1.7. Desventajas

- En comparación a la cantidad de experiencias efectuadas, hay pocos modelos matemáticos y formulaciones de proyecto.
- Se requiere disponer de terrenos aptos para la ejecución de la laguna.
- Deben estar alejados de la zona poblada, lo que obliga a proyectar emisores de gran longitud.
- Cuando el efluente contiene algas y en el cuerpo receptor hay pocos nutrientes, las algas vegetan y tienen una pequeña demanda (DBO) que no es objetable. En cambio si no hay luz solar suficiente se mueren y sedimentan produciendo demanda de oxígeno por respiración endógena.
- En cursos sin agua permanente como ocurre en zonas secas no es aconsejable la aplicación de lagunas, ya que las algas del efluente pueden producir olores al descomponerse.

5.2. Lodos Activados

Es un proceso biológico aerobio que emplea microorganismos aerobios y facultativos para degradar los compuestos orgánicos.

El sistema se compone de un reactor aireado artificialmente (cámara de aireación), seguido por un sedimentador que cumple la función de separar la biomasa suspendida en la fase líquida. Una parte de la biomasa separada en el sedimentador secundario se recircula al reactor, el resto se elimina como lodos en exceso (purga de lodos), de manera tal de mantener la concentración de microorganismos en la cámara de aireación aproximadamente constante. De esta manera, por efecto de la recirculación aumenta la concentración de la biomasa en la cámara de aireación, y el tiempo de residencia de los mismos, obteniéndose buenas remociones en un espacio reducido.

Al aumentar el tiempo de residencia de los microorganismos en el reactor, aumenta la actividad biológica, requiriéndose tiempos de tratamiento relativamente pequeños (del orden de horas).
Ilustración 15

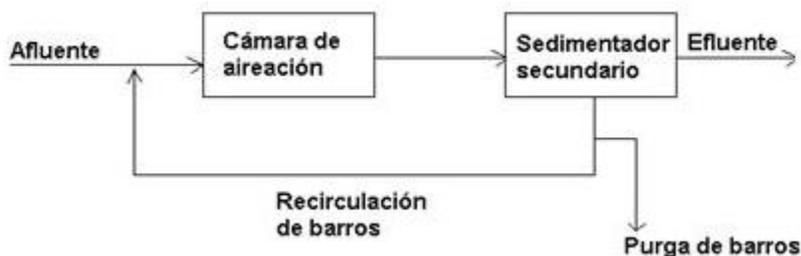


Ilustración 15. Diagrama de una planta de Lodos Activados (Guía Ambiental , 2010)

Los sedimentadores secundarios deben cumplir básicamente con dos funciones:

- La clarificación, es decir producir un efluente relativamente libre de sólidos en suspensión (Permite la disminución de la DBO). Directamente relacionada con la calidad que se desea obtener en el líquido a tratar, ya que los sólidos en suspensión que no pueden separarse en esta etapa del proceso contribuyen con una determinada demanda de oxígeno.

- El espesamiento, es decir, generar un barro suficientemente concentrado en el fondo del sedimentador.

Se recomienda el uso de sedimentadores circulares, que presentan mayor eficiencia hidráulica. Es conveniente que sean profundos, debido a la presencia de sólidos en proceso de decantación. Relativamente, es mayor el tiempo para que las partículas interactúen entre sí, y puedan agregarse, disminuyendo así, la concentración de sólidos que sale del sedimentador.

La purga de lodos se utiliza para eliminar los lodos en exceso, y de esta forma, evitar la saturación de microorganismos en el reactor biológico, manteniendo aproximadamente constante su concentración, y de esta manera, evitar un alto contenido de microorganismos en el líquido tratado.

Los lodos en exceso tienen un alto contenido de agua y de materia orgánica. Es por ello, que no pueden ser dispuestos o depositados directamente, dado que sufrirían putrefacción, generando malos olores. Requieren de un tratamiento previo a su disposición.

5.2.1. Sedimentación discreta

Partículas de origen mineral, por lo que sus propiedades físicas (tamaño, peso específico, etc.) no sufren modificaciones durante todo el proceso, siendo la interacción entre ellas mínima (Característico de los desarenadores).

5.2.2. Sedimentación floculenta

Las partículas interactúan fuertemente entre sí, tendiendo a aglomerarse y a unirse, cambiando de esta manera sus propiedades físicas. Se produce en presencia de partículas de naturaleza floculenta, por ejemplo, material particulado de origen orgánico, con concentraciones de hasta aproximadamente 500 mg/l expresada como sólidos totales (Típica de sedimentadores primarios).

5.2.3. Sedimentación por espesamiento

La concentración de los sólidos es tan elevada que el proceso se produce por la acción del peso de los sólidos ubicados sobre las partículas consideradas. (Característica del barro biológico presente en el fondo de los sedimentadores secundarios o en el manto de barro en los espesadores.) (Guía Ambiental , 2010)

5.2.4. Tipo de lodos Activados

Existen diversos tipos de tratamiento para los lodos como se describe a continuación.

5.2.4.1. Convencional

Este proceso consiste de un tanque de aireación, un sedimentador secundario y una recirculación del lodo.

El sistema de aireación puede estar constituido por difusores o aireadores mecánicos, obteniéndose eficiencia en la remoción de DBO_5 entre el 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico que varía de 4 a 8 horas. Este proceso es sensible a sobrecargas. (Ilustración 9)

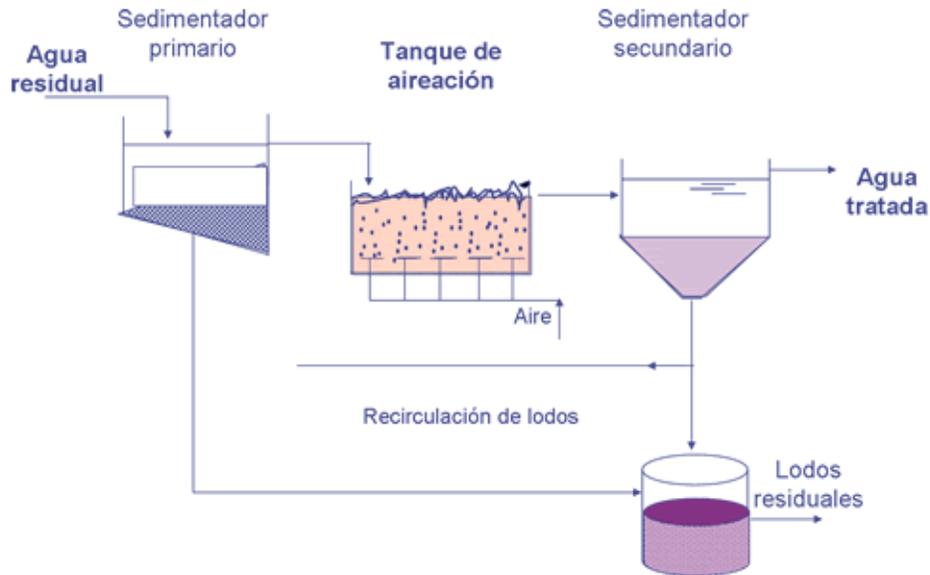


Ilustración 16. Diagrama de flujo de lodos convencionales

5.2.4.2. Mezcla Completa

Este proceso consiste básicamente en una mezcla completa de bacterias y agua residual en un tanque de aireación de micro burbuja. A medida que la población de microorganismos aumenta, se agrupan y forman flóculos para producir una masa activa llamada lodo activado que sedimentará en la unidad subsiguiente del sistema. Este tipo de tratamiento es el más utilizado a nivel mundial para tratar aguas residuales de ciudades de población media, además de ser uno de los procesos más estudiados y seguros, con el cual es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre 85% y 95% para un tiempo de retención hidráulico de 3 a 5 horas; muestra particular resistencia a los choques y sobrecargas.

Este proceso se realiza en tanques en forma simétrica; en cualquier punto del estanque, hay igual proporción de líquidos y lodos e igual DBO.

5.2.4.3. Aireación prolongada

Conocido también como Oxidación Total. Su diagrama de flujo es esencialmente el mismo que un sistema de mezcla completa excepto que no tiene sedimentador primario. El tiempo de retención hidráulico varía de 18 a 36 horas. Este período de aireación permite que las aguas residuales y lodo sean parcialmente digeridos en el tanque aireador, permitiendo su disposición sin ser necesaria una gran capacidad de digestión.

Es posible lograr eficiencias en la remoción de los contaminantes entre el 90% y 95% para un tiempo de retención hidráulico superior a 8 horas. (Guía Ambiental , 2010)

5.2.5. Ventajas

- Flexibilidad de operación a través de un control racional de la biomasa presente en el proceso.
- Alta Eficiencia de remoción de carga orgánica sustancialmente más alta que la que se alcanza en otros procesos como los del tipo Convencional por Cultivo Fijo.
- Minimización de Olores y Ausencia de insectos.
- Puede incorporar Desnitrificación al proceso.
- Posibilidades de regular energía consumida para variaciones de carga orgánica.
- Prescinde de sedimentación primaria. Los lodos generados son altamente mineralizados por lo que no requieren de tratamiento posterior.
- Generación de lodos secundarios “estabilizados” que al igual que los sistemas convencionales pueden ser aprovechados como fertilizantes, mejoradores de suelo y obtención de biogás, entre otras. (Fundación Chile, 2010)

5.2.6. Desventajas

- Requiere mayor Sofisticación y Mantenimiento.
- Dependencia con la temperatura del efluente a tratar y condiciones de entrada como pH y presencia de compuestos tóxicos.
- Riesgo de taponamiento de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos.
- Requiere de un control permanente, tanto operativo como de análisis de laboratorio.
- Altos costos de operación, asociados fundamentalmente a los requerimientos de oxígeno.
- Bajo abatimiento bacteriológico, logrando en general abatir no más allá de un ciclo logarítmico en términos de Coliformes Fecales, con la consecuente necesidad de efectuar desinfección final al efluente. (Fundación Chile, 2010)

5.3. Contactores Biológicos Rotatorios

El proceso de biodiscos consiste fundamentalmente de un conjunto de discos de material plástico acoplado a una flecha que los soporta.

Los discos se colocan paralelos uno con respecto al otro con un espacio que permite el movimiento del fluido entre ellos. Los discos están parcialmente sumergidos en el agua de manera que son expuestos al sustrato en el agua residual y al oxígeno en el aire durante la rotación.

Los microorganismos crecen en la superficie de los discos y metabolizan el sustrato orgánico del agua residual. A medida que los microorganismos se multiplican, el espesor de la película biológica se incrementa (Ilustración 17).

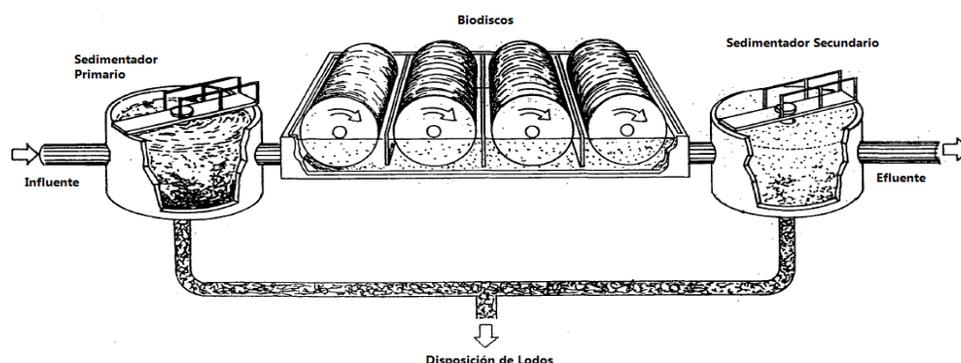


Ilustración 17. Diagrama del funcionamiento de Discos Biológicos Rotativos

Para grandes espesores de la película, el oxígeno es consumido antes de penetrarla, dando como resultado que los microorganismos adheridos al medio soporte, así como los que constituyen la porción más profunda de la capa se encuentran en un ambiente anaerobio.

Por otra parte, la mayoría del sustrato es consumido, antes de alcanzar las capas profundas de la película, de manera tal que los microorganismos que ahí se encuentran entren en la fase endógena.

Debido a lo anterior, estas bacterias tienen menos habilidad para adherirse al soporte sólido constituido por el disco del material plástico, por lo que se desprenden constituyendo masas de microorganismos denominados lodos biológicos. Al ocurrir esto, una nueva película de microorganismos se empieza a formar, repitiéndose el ciclo. (Instituto Nacional de Ecología)

5.3.1. Ventajas

- Costo de mantenimiento reducido
- Consumo de energía reducido
- Alta eficiencia

5.3.2. Desventajas

- Inversión inicial alta

5.4 Filtros Percoladores

El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo. (Ilustración 18)

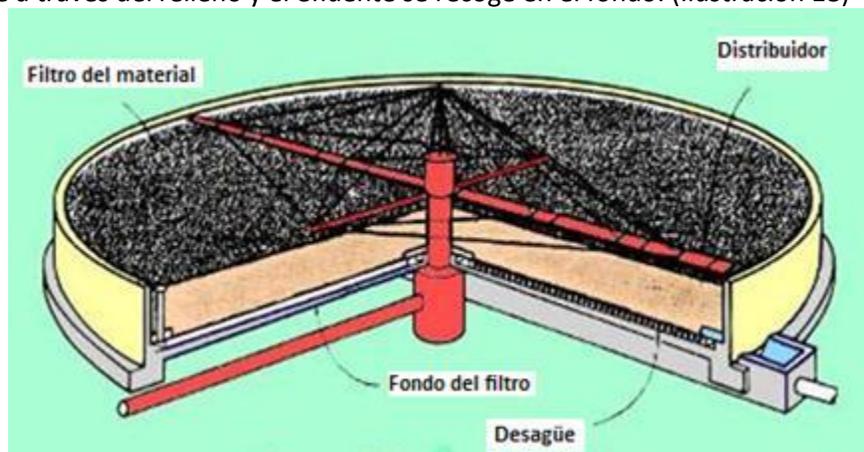


Ilustración 18. Diagrama de Filtro percolador. (Ramalho)

El espesor de la subcapa aerobia es función del caudal de agua residual aplicado y de su DBO. Cuanto mayor sea la DBO del afluente menor será el espesor de la subcapa aerobia, ya que se presenta un consumo más rápido de oxígeno. Por otra parte, los caudales elevados favorecen el mantenimiento de una subcapa aerobia más espesa debido al oxígeno disuelto suministrado con el afluente pulverizado.

Para las cargas hidráulicas normalmente empleadas en los filtros percoladores, el caudal del agua residual a través del lecho del filtro se sitúa en la región laminar. El proceso biológico aerobio que tiene lugar en la subcapa aerobia es típico. El sustrato se oxida parcialmente para proporcionar la energía necesaria al proceso biológico. Otra parte del sustrato se utiliza para sintetizar nuevo material de constitución del limo.

En la subcapa anaerobia, la degradación tiene lugar con formación de ácidos orgánicos, CH_4 y H_2S . En los filtros percoladores la materia orgánica y coloidal se separa mediante oxidación aerobia, biosorción, coagulación y descomposición anaerobia. En esencia, no existe disminución de la carga orgánica por filtración mecánica. (Ilustración 19)

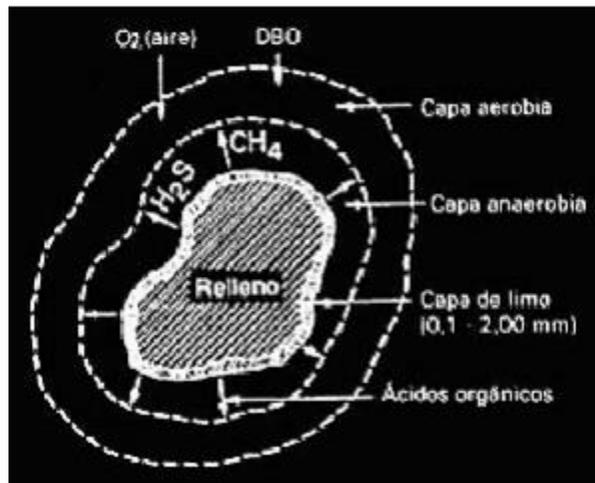


Ilustración 19. Subcapas de un filtro percolador aerobio y anaerobio. (Ramalho)

5.4.2. Espesor de la capa de limo

Normalmente, el espesor de la capa de limo está comprendido entre 0,1 y 2,0 mm. Existe un efecto perjudicial en la operación del filtro percolador si dicho espesor es superior a los 2,0 mm. Puede presentarse una obstrucción del relleno, perjudicando el flujo del agua residual y la transferencia de oxígeno a los microorganismos aerobios.

Las cargas hidráulicas de operación normal son bajas, $1 - 10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, y no son suficientes para mantener la capa de limo limpia. De esta forma, la carga hidráulica no puede emplearse para controlar el espesor de la capa de limo. Este control se efectúa principalmente por las larvas y gusanos, que sobreviven en el limo acumulado.

Conforme la capa de limo aumenta de espesor, la materia orgánica del agua residual se metaboliza antes de que pueda alcanzar la capa de microorganismos asociada a la superficie de relleno. Estos microorganismos quedan sin alimentación suficiente y tienden a pasar a la fase de respiración endógena. La capa de limo en la fase endógena pierde su capacidad para unirse a la superficie del relleno y se pierde. Este fenómeno, denominado desprendimiento, es función de la carga orgánica e hidráulica del filtro.

Capítulo 6. Marco legislativo referente al agua residual en México

Calidad del agua

La prevención y control de la contaminación de las aguas es tratada por la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) como por la Ley de Aguas Nacionales. Y se describen sus funciones y normas a continuación.

6.1. LGEEPA

El artículo 92 de la LGEEPA, establece que las autoridades deben promover el tratamiento de las aguas residuales y su reúso, con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio. Se promueve el aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir contaminación conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas según el uso posterior mantener el equilibrio del ecosistema (artículo 117, fracción III).

El artículo 127 dispone que, con base en los estudios de la cuenca y sistemas correspondientes, la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Salud, emitirán su opinión para la programación y construcción de obras e instalaciones de tratamiento de aguas residuales de origen industrial.

En materia de reúso de las aguas residuales, el párrafo primero del artículo 128 dispone que las aguas residuales provenientes de los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano podrán utilizarse en la industria y en la agricultura si se someten en los casos que se requiera, al tratamiento que cumpla con las normas oficiales mexicanas emitidas por la Secretaría, y en su caso, por la Secretaría de Salud. Y agrega el párrafo segundo del mismo precepto que, en los aprovechamientos existentes de aguas residuales en la agricultura, se promoverán acciones para mejorar la calidad del recurso, la reglamentación de los cultivos y las prácticas de riego.

El artículo 129 dispone que el otorgamiento de asignaciones, autorizaciones, concesiones o permisos para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas en actividades económicas susceptibles de contaminar dicho recurso, estará condicionado al tratamiento previo necesario de las aguas residuales que se generen. Para asegurar el cumplimiento de este deber, el artículo 126 de la LGEEPA establece que los sistemas de tratamiento de las aguas residuales de origen urbano que diseñen, operen o administren los municipios, las autoridades municipales o el Gobierno del Distrito Federal, deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas que al efecto se expidan.

6.2. Ley de Aguas Nacionales (LAN)

La Ley de Aguas Nacionales es reglamentaria de los párrafos quinto y sexto del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, que establece la propiedad originaria de la nación sobre las tierras y aguas, y expresa que el dominio de ésta sobre las aguas nacionales es inalienable e imprescriptible.

En materia de atribuciones de la Comisión Nacional del Agua, el artículo 86 de la LAN establece como tales las siguientes:

1. Promover y, en su caso, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las

- cuencas hidrológicas y acuíferos de acuerdo con las normas oficiales mexicanas respectivas y las condiciones particulares de descarga (fracción I).
2. Formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, considerando las relaciones existentes entre los usos del suelo y la cantidad y calidad del agua (fracción II).
 3. Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal; de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos; y en los demás casos previstos en la LGEEPA (fracción III).
 4. Autorizar, en su caso, el vertido de aguas residuales en el mar, y en coordinación con la Secretaría de Marina cuando provengan de fuentes móviles o plataformas fijas (fracción IV).
 5. Vigilar, en coordinación con las demás autoridades competentes, que el agua suministrada para consumo humano cumpla con las normas de calidad correspondientes, y que el uso de las aguas residuales cumpla con las normas de calidad del agua emitidas para tal efecto (fracción V).
 6. Promover o realizar las medidas necesarias para evitar que basura, desechos, materiales y sustancias tóxicas y lodos, producto del tratamiento de aguas residuales, contaminen las aguas superficiales o del subsuelo, y los bienes nacionales que señala el artículo 113 (fracción VI).
 7. Ejercer las atribuciones que corresponden a la Federación en materia de prevención y control de la contaminación del agua y de su fiscalización y sanción, en los términos de la LGEEPA, salvo que corresponda a otra dependencia conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (fracción VII).

Uno de los procedimientos básicos para el ejercicio de estas atribuciones son las Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales, que la Comisión debe expedir y hacer pública en el Diario Oficial de la Federación. En esas Declaratorias, la Comisión debe determinar los parámetros que habrán de cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas (artículo 87).

6.3. Normas Oficiales Mexicanas

Para hacer posible la aplicación de las disposiciones se requiere de la existencias de normas reglamentarias y técnicas. Las primeras están contenidas en el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales. Estas normas están ubicadas dentro del Título Séptimo del Reglamento, que se denomina Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas (artículos 133 a 156).

Las normas técnicas que hacen posible la aplicación de las disposiciones legales sobre la materia están contenidas en un conjunto de normas oficiales mexicanas, que han sido simplificadas al máximo.

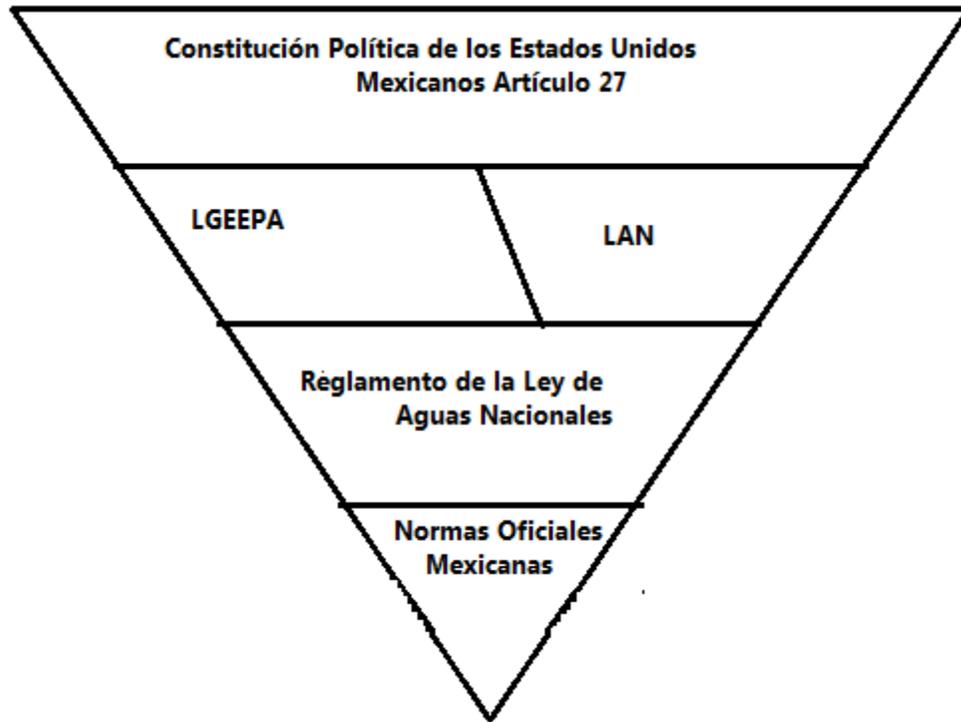


Ilustración 20. Control de las descargas e aguas residuales en México

La Norma Oficial Mexicana pone los lineamientos que se deben cumplir para dar un buen tratamiento al agua según la disposición que le demos.

NOM-001-ECOL-1996

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objetivo de proteger su calidad y posibilitar sus usos. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales.

Contaminantes básicos

Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. Solo se consideran para esta NOM los siguientes:

- Grasas y aceites
- Materia flotante
- Sólidos sedimentables
- Sólidos suspendidos totales
- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Nitrógeno total
- Fósforo total
- Temperatura

- pH

Contaminantes patógenos y parasitarios

Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. En esta NOM se consideran:

- Coliformes fecales
- Huevos de helminto

Cuerpo receptor

Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, cauces, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos en donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos.

Descarga

Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando este es un bien del dominio publico de la Nación.

Metales pesados y cianuros

Son aquellos que, en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a la NOM, solo se consideran los siguientes:

- Arsénico
- Cadmio
- Cianuros
- Cobre
- Cromo
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc

Muestra compuesta

La que resulta de mezclar el número de muestras simples, según lo indicado en la Tabla 19 para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.

Frecuencia de muestreo			
Horas por día que opera el proceso generador de la descarga	Numero de muestras simples	Intervalo entre toma de muestras simples [horas]	
		Mínimo	Máximo
Menor que 4	Mínimo 2	N.E	N.E
De 4 a 8	4	1	2
Mayor que 8 y hasta 12	4	2	3
Mayor que 12 y hasta 18	6	2	3
Mayor que 18	6	3	4

Tabla 19. Parámetros de muestra compuesta (Lilio, 1996) N.E= no especificado

Especificaciones

La concentración de contaminantes básicos, metales pesados y cianuros para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder el valor indicado como límite máximo permisible en las tablas 20 y 21. El rango permisible del potencial de hidrógeno (pH) es de 5 a 10 unidades.

Para determinar la contaminación por patógenos se tomará como indicador a los coliformes fecales. El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales y vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas al suelo (uso de riego agrícola) es de 1000 y 2000 como número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario respectivamente.

Para determinar la contaminación por parásitos se tomara como indicador los huevos de helminto. El límite máximo permisible para las descargas vertidas a suelo, es de un huevo de helminto por litro para riego no restringido, y de cinco huevos de helminto por litro para riego restringido.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS																					
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)		
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.			P.M.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	
Materia Flotante (3)	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	au sen te	
Sólidos Sedimentables (ml/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2	
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125	
Demanda Bioquímica de Oxígeno	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150	
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	

Tabla20. Tabla de límites máximos para contaminantes básicos (Lilio, 1996)

- (1) Instantáneo
- (2) Muestra simple promedio ponderado
- (3) Ausente según el método de prueba definido en la NMX-AA-006
 - P.D. Promedio diario
 - P.M Promedio mensual
 - N.A. No es aplicable
 - (A),(B),(C): tipo de cuerpo receptor

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS																				
PARÁMETROS (*) (miligramos por litro)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuros	1.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.4
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

Tabla 21. Límites máximos permisibles para metales pesados con base en (Lilio, 1996)

(*) Medidos de manera total

P.M. Promedio mensual

P.D. Promedio Diario

Las descargas municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 22. El cumplimiento es gradual y progresivo, conforme a los rangos de población.

Las descargas no municipales tendrán como plazo límite las fechas de cumplimiento establecidas en la Tabla 23.

Descargas municipales	
Fecha de cumplimiento a partir de:	Rango de población
1 enero de 2000	Mayor de 50000 habitantes
1 enero de 2005	De 20001 a 50000 habitantes
1 enero 2010	De 2501 a 10000 habitantes

Tabla 22. Descargas municipales (Lilio, 1996)

Descargas no municipales		
Fecha de cumplimiento a partir de:	Carga contaminante	
	Demanda Bioquímica de Oxígeno O_5 [t/d]	Sólidos Suspendidos Totales [t/d]
1 enero 2000	Mayor de 3	Mayor de 3
1 enero 2005	De 1.2 a 3	De 1.2 a 3
1 enero 2010	Menor de 1.2	Menor a 1.2

Tabla 23. Descargas municipales (Lilio, 1996)

NOM-002-ECOL-1996

Esta Norma Oficial Mexicana establece límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma no se aplica a la descarga de aguas residuales domésticas pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado.

Especificaciones

Los límites máximos permisibles para contaminantes de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, no deben ser superiores a los indicados en la Tabla 24. Para las grasas y aceites es el promedio ponderado en función del caudal, resultante de los análisis practicados a cada una de las muestras simples.

Límites máximos permisibles			
Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio mensual mg/l	Promedio diario mg/l	Instantáneo mg/l
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos Sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Tabla 24. Límites máximos permisibles (Lilio, 1996)

Los límites permisibles establecidos en la columna instantáneo, son únicamente valores de referencia, en el caso de que el valor, de cualquier análisis exceda el instantáneo, el responsable de la descarga queda obligado a presentar a la autoridad competente en el tiempo y forma que se establezcan los ordenamientos legales locales, los promedios diario y mensual, así como los resultados de laboratorio de los análisis que los respaldan.

El rango permisible de pH en las descargas de aguas residuales es de 10 y 5.5 unidades, determinando para cada una de las muestras simples. Las unidades de pH no deberán estar afuera del intervalo permisible, en ninguna de las muestras simples.

El límite máximo permisible de la temperatura es de 40 °C, medida en forma instantánea a cada una de las muestras simples. Se permitirá descargar con temperaturas mayores siempre y cuando se demuestre a la autoridad competente, por medio de un estudio sustentado, que no daña al sistema del mismo.

La materia flotante debe estar ausente en las descargas de aguas residuales, de acuerdo al método de prueba establecido en la norma NM-AA-006.

Los límites máximos permisibles para los parámetros de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Sólidos Suspendidos Totales, que debe cumplir el responsable de la descarga a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, son los establecidos en la Tabla 20 o a las condiciones particulares de descarga que corresponde cumplir a la descarga municipal.

El responsable de la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal que no cumplan lo establecido en el lineamiento anterior, podrá optar por remover la Demanda Bioquímica de Oxígeno y los Sólidos Suspendidos Totales, mediante el tratamiento conjunto de las aguas residuales en la planta municipal.

Los responsables de las descargas tienen la obligación de realizar los análisis técnicos de las descargas de aguas residuales, con la finalidad de determinar el promedio diario o el promedio mensual, analizando los parámetros señalados en la Tabla 24, también deben conservar sus registros de análisis técnicos por lo menos durante tres años posteriores a la toma de muestra.

NOM-003-ECOL-1997

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reuso.

En caso de que el servicio al público se realice por terceros, estos serán responsables del cumplimiento de la NOM, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

Especificaciones

Los límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas son los establecidos en la Tabla 25.

Tipo de reuso	Promedio mensual				
	Coliformes fecales [NMP/100ml]	Huevos de Helminto [h/l]	Grasas y aceites [mg/l]	DBO ₅ [mg/l]	SST [mg/l]
Servicios al público con contacto directo	240	≤1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1000	≤5	15	30	30

Tabla 25. Límites máximos de contaminantes (Lilio, 1996)

La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada, de acuerdo al método de prueba establecido en la NMX-AA006.

El agua residual tratada reusada en servicios al público no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos que corresponde a embalses naturales y artificiales con uso en riego agrícola de la Tabla 21.

Las entidades públicas responsables del tratamiento de las aguas residuales que reusen en servicios al público, tienen la obligación de realizar el monitoreo de las aguas tratadas en los términos de la NOM y conservar al menos durante los últimos tres años los registros de la información resultante del muestreo y análisis, al momento en que la información sea requerida por la autoridad competente.

Muestreo

Los responsables del tratamiento y reuso de las aguas residuales tratadas tienen la obligación de realizar los muestreos como se dice a continuación:

Para los coliformes fecales, materia flotante, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y grasa y aceites, al menos 4 muestras simples tomadas en días representativos mensualmente.

Para los huevos de helminto, al menos 2 muestras compuestas tomadas en días representativos mensualmente.

Para los metales pesados y cianuros, al menos 2 muestras simples tomadas en días representativos anualmente.

NOM-004-SEMARNAT-2002

En las actividades de desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, así como en la operación de las plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas residuales se generan volúmenes de lodos, que en caso de no darles una disposición final adecuada, contribuyen de manera importante a la contaminación de la atmósfera, la contaminación de las aguas nacionales y de los suelos, afectando los ecosistemas del área donde se depositan.

Se ha considerado que los lodos por sus características propias o por las adquiridas después de un proceso de estabilización pueden ser susceptibles de aprovechamiento siempre y cuando cumplan con los límites máximos permisibles de contaminantes establecidos en esta NOM, o en su caso, se dispongan en forma definitiva como residuos no peligrosos; para atenuar sus efectos contaminantes para el medio ambiente y proteger la población en general.

Esta NOM establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con el fin de posibilitar su aprovechamiento o disposición final y proteger el medio ambiente y la salud humana.

Especificaciones

Las personas físicas o morales interesadas en llevar a cabo el aprovechamiento o disposición final de los lodos y biosólidos a que se refiere la NOM, deberá recabar la “constancia de no peligrosidad de los mismos” en términos del trámite SEMARNAT-07-007.

En el caso del proceso de estabilización alcalina, las muestras de lodos deben ser tomadas antes de ser sometidas a este proceso.

Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido anteriormente, pueden ser manejados como residuos no peligrosos para su aprovechamiento o disposición.

Los generadores de biosólidos deben controlar la atracción de sectores, demostrando su efectividad. Se deben conservar registros del control por lo menos durante los siguientes 5 años posteriores a su generación.

Los biosólidos se clasifican en tipo: excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados; y en clase: A, B, C en función de su contenido de patógenos y parásitos.

Los límites máximos permisibles de metales pesados se establecen en la Tabla 26.

Contaminante (determinado en forma total)	Excelentes mg/kg en base seca	Buenos mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Niquel	420	420
Zinc	2800	7500

Tabla 26. Límites máximos para metales pesados en biosólidos (Fernandez, 2002)

Los límites máximos permisibles de patógenos y parásitos en los lodos y biosólidos se establecen en la Tabla 27.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 1 (a)
B	Menor de 1000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2000000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables NMP Número Más Probable

Tabla 27. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos (Fernandez, 2002)

El aprovechamiento de los biosólidos se establece en función del tipo y clase, como se muestra en la Tabla 28 y su contenido de humedad hasta el 85%.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación. • Los establecidos para clase B y C.
Excelente o bueno	B	<ul style="list-style-type: none"> • Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación. • Los establecidos para clase C.

Tabla 28. Aprovechamiento de biosólidos (Fernandez, 2002)

La aplicación de los biosólidos en terrenos con fines agrícolas y mejoramiento de suelos se sujetará a lo establecido en la Ley Federal de Sanidad Vegetal y conforme a la normatividad vigente en la materia.

Para la disposición final de los lodos y biosólidos estos deben cumplir con los límites máximos permisibles para el contenido del indicador de contaminación, patógenos y parásitos especificados en la Huevos de helmintos viables NMP Número Más Probable

Tabla para clase C.

Los lodos y biosólidos que cumplan con lo establecido en esta norma, pueden ser almacenados hasta por un periodo de dos años. El predio en el que se almacenen debe ser habilitado para que no existan infiltraciones al subsuelo y contar con un sistema de recolección de lixiviados.

Se permite la mezcla de dos o más lotes de lodos o biosólidos, siempre y cuando ninguno de ellos este clasificado como residuo peligroso y su mezcla resultante cumpla con lo establecido en la NOM.

Muestreo

El generador de lodos y biosólidos por medio de laboratorios acreditados debe realizar los muestreos y análisis correspondientes para demostrar el cumplimiento de la presente norma y deberá conservar los registros por lo menos los siguientes 5 años posteriores a su realización.

La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se realizará en función del volumen de lodos generados como se muestra en la Tabla 29.

Volumen generado por año (ton/año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
Hasta 1500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos.
Mayor de 1500 hasta 15000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

Tabla 29. Frecuencia de muestreo y análisis para lodos y biosólidos (Fernandez, 2002)

La evaluación de la conformidad de esta NOM se realizara a petición de parte, de conformidad a lo dispuesto por la Ley Federal sobre Metrología y Normalización y su Reglamento.

El procedimiento de verificación se realizara por la PROFEPA o por las unidades de verificación y laboratorios acreditados y aprobados para llevar a cabo la verificación. En caso de que existan unidades de verificación acreditadas para esta norma, la verificación se realizara exclusivamente a través de las mismas.

NMX-AA-006-1973

La determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas es de importancia para el control y tratamiento de descargas.

Esta norma mexicana establece el método de prueba para la determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas.

Este método se basa en la observación de la materia flotante en una muestra de aguas residuales en el sitio de muestreo mediante la separación de ésta en una malla de aproximadamente 3 mm de abertura; este método es una prueba cualitativa.

Materiales

- Malla de acero inoxidable con abertura entre 2,8 mm y 3,3 mm;
- Recipiente de boca ancha no menor de 7 cm de diámetro, con un volumen que se encuentre entre 3 L y 5 L;
- Agitador de vidrio con gendarme, y
- Espátula.

Recolección, preservación y almacenamiento de muestras

Debe tomarse un mínimo de 3 L de muestra. La muestra debe ser simple y tomada directamente de la descarga.

- El análisis debe realizarse en campo.
- No se debe preservar la muestra.
- El tiempo máximo previo al análisis no aplica.

Control de calidad

Cada laboratorio que utilice este método está obligado a operar un programa de control de calidad (CC) formal.

Es obligatorio para el laboratorio mantener los siguientes registros:

Los nombres y títulos de los analistas que ejecutaron los análisis y el encargado de control de calidad que verificó los análisis.

Las bitácoras manuscritas del analista y del equipo en los que se contengan los siguientes datos:

- a) Identificación de la muestra;
- b) Fecha del análisis;
- c) Procedimiento cronológico utilizado;
- d) Cantidad de muestra utilizada;
- e) Número de muestras de control de calidad analizadas;
- f) Trazabilidad de las calibraciones de los instrumentos de medición;
- g) Evidencia de la aceptación o rechazo de los resultados, y
- h) Además el laboratorio debe mantener la información original reportada por los equipos en disquetes o en otros respaldos de información.

De tal forma que permita a un evaluador externo reconstruir cada determinación mediante el seguimiento de la información desde la recepción de la muestra hasta el resultado final.

Procedimiento

Verter aproximadamente 3/4 partes de la muestra a través de la malla, teniendo cuidado de que la materia flotante que nada, quede retenida en dicha malla.

Arrastrar con agitador de vidrio o una espátula hacia la malla toda aquella materia flotante que quedara sobre la superficie de la muestra que se está vertiendo o aquella adherida a las paredes del recipiente.

Interpretación

Inmediatamente después de filtrar la muestra, se procede al examen de la malla.

El informe depende de la presencia o ausencia de materia flotante retenida en la malla. Reportar como ausencia de materia flotante, si al examinar la malla no se observa a simple vista ninguna partícula retenida. Reportar como presencia de materia flotante, si al revisar visualmente la malla se encuentran partículas retenidas.

Capítulo 7. Parámetros de diseño

En este capítulo se mencionará los problemas del río Amanalco.

7.1. Calidad media de las aguas residuales

El río Amanalco recibe las descargas de los poblados de San Miguel Tenex-tepec, San Bartolo y Amanalco. También recibe la descarga del rastro de San Francisco Minualtepec, pero este cuenta con su planta de tratamiento.

Del municipio de Amanalco al embalse de Valle de Bravo hay 12.4 km lo que nos sugiere que en todo este tramo no existe una planta de tratamiento para las descargas de la población, lo que hace que nuestro río presente las características que se mencionan a continuación.

7.1.1. Agentes Infecciosos

En la Tabla 30 se muestra la cantidad de coliformes totales, fecales y enterococos del río Amanalco.

Sitio	Coliformes totales UFC/100 ML	Coliformes Fecales UFC/100 ML	Enterococos UFC/100 ML	Vibro ssp UFC/100 ML	Riesgo
Amanalco	14500	1950	105	1450	Alto

Tabla 30 Cantidad de coliformes (FONDO PRO CUENCA VALLE DE BRAVO A.C., 2005)

En la Tabla 31 se muestra la carga de Fósforo en el río Amanalco.

Descargas	Gasto medio anual (10^8 m ³ /año)	Fósforo total [mg/l]	Carga de fósforo (t/año)
Garrapata	4.852	0.122	0.59
Cascada	9.704	0.074	0.72
Becerra	41.1	0.119	4.89
Pilotepec	49.687	0.173	8.6
Lajas	7.62	0.112	0.85
Candelaria	45.651	0.187	8.54
Amanalco	123.005	0.196	24.11

Tabla 31. Carga de Fósforo en Amanalco (Inclán, 2004)

7.2. Dotación, gasto mínimo, gasto medio, gasto máximo, gasto máximo extraordinario y gasto de diseño

7.2.1. Dotación

El sistema encargado de las aguas de Amanalco es la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM). La población considerada para el estudio es aquella que cuenta con drenaje conectado al sistema que se dirige al río y las casas que no cuentan con él pero descargan en el río.

A nivel municipal la dotación se distribuye en tuberías de 4 pulgadas de diámetro. La captación del agua que abastece a Amanalco es por manantiales que provienen del Cerro del Cuate. La aportación del manantial se almacena en un tanque de distribución y se distribuye por gravedad.

Debe tomarse en cuenta que existen localidades muy alejadas y la dispersión de las casas es alta y esto obliga a que existan tramos largos de tuberías.

La tubería troncal es de 40 km, la tubería de relleno se estima tomándose en promedio una densidad de 200 casas por habitante, obteniéndose 895 m. Por el número de localidades que conforman al Municipio de Amanalco, se tiene un total de 449,281.05 km.

La infraestructura domiciliaria es por tubo galvanizado, de una pulgada.

La dotación estimada para esta población es de 150 l/hab/día. Este dato fue obtenido del Centro de Aguas del Estado de México.

7.2.2. Gasto medio

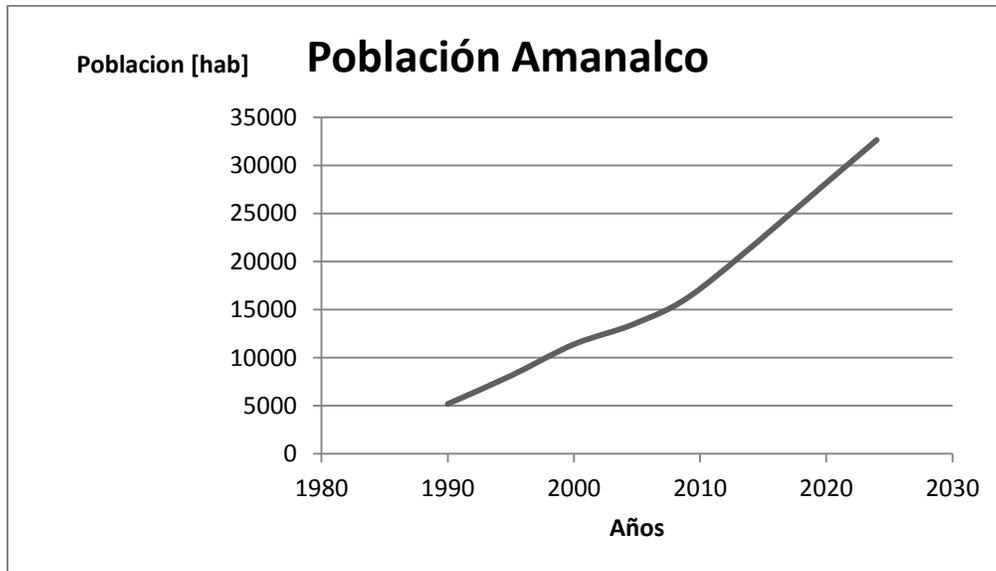
El diseño de la planta de tratamiento se calculará para el año 2024, tendrá una vida útil de 10 años y se dejan 2 años de holgura para que este proyecto termine y se ponga en marcha su operación.

La planta comenzará a funcionar en el 2014 por lo que la población se calculará para el 2024 como se ve a continuación.

Los registros de la población de Amanalco se muestran en la Tabla 32.

Año	Población	Unidades
1990	5182	Habitantes
1995	8121	Habitantes
2000	11391	Habitantes
2005	13630	Habitantes
2010	17151	Habitantes

Tabla 32. Registro de población de Amanalco (INEGI, 2010)



Gráfica 6. Población de Amanalco

Se utilizaron 3 métodos para el cálculo de la población: método aritmético, geométrico y diferencial. Se tomó el dato más desfavorable para realizar un cálculo más realista y que cumpla con la demanda a largo plazo. El método es el geométrico para el cálculo de los gastos.

El gasto medio se calculó como sigue:

$$Q_m = \frac{\text{Aportación} \times \text{Población}}{86400} = 45.33 \text{ l/s} \quad [7.1]$$

7.2.3. Gasto mínimo

Se calcula como la mitad del gasto medio.

$$Q_{\min} = 0.5 \times Q_{\text{med}} = 22.65 \text{ [l/s]} \quad [7.2]$$

7.2.4. Gasto Máximo Instantáneo

Para este gasto se necesita calcular un coeficiente M que se menciona a continuación.

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\text{Población en miles}}} = 2.44 \quad [7.3]$$

$$Q_{MI} = M \times Q_{\text{med}} = 110.66 \text{ [l/s]} \quad [7.4]$$

7.2.5. Gasto máximo extraordinario

Este se calculó multiplicando el gasto máximo instantáneo por el coeficiente de seguridad CS de 1.5. El CS se toma para drenaje combinado de 1.5 si fuera drenaje separado sería un coeficiente igual a uno.

$$Q_{ME} = CS \times Q_{MI} = 166 \text{ [l/s]} \quad [7.5]$$

7.2.6. Gasto de diseño

El gasto de diseño será la mitad del gasto máximo extraordinario para poder diseñar todo en dos partes iguales, esto nos facilitará el mantenimiento de la planta, así se podrá cerrar un canal y dejar funcionando otro, con esto no será necesario parar la planta.

$$Q_d = \frac{Q_{ME}}{2} = 83 \text{ [l/s]} \quad [7.6]$$

Capítulo 8. Reconocimiento del sitio

El día 26 de Junio del 2012 se realizó una visita de campo para conocer a fondo las condiciones de Amanalco.

En esta visita se observó que la población es bastante reducida y su actividad principal es el cultivo de maíz. No hay industrias cercanas y viven en una abstinencia importante, pues algunas casas aún cuentan con fosas sépticas y las casas cercanas a la carretera cuentan con lagunas como se muestra en la Ilustración 21.



Ilustración 21. Fosa en la carretera de Amanalco

Se acudió a la cabecera municipal para solicitar información del desagüe más importante del río para poder hacer un muestreo y determinar las condiciones del mismo. La Ilustración 23 nos muestra la tubería encontrada.



Ilustración 22. Cabecera Municipal de Amanalco



Ilustración 23. Desagüe del río Amanalco

Con un poco de exploración y comentarios de la gente que habita ahí, se sabe que el municipio los ayudó a poner la instalación de drenaje y prepararon toda la instalación a una conexión general, pero que esta no fue conectada como se observa en la Ilustración 23 dado que está seca y en muy mal estado, las descargas se disponen directamente al río como muestra la Ilustración 24.



Ilustración 24. Descarga directa de casa al río Amanalco por la mañana.



Ilustración 25. Vista del río Amanalco.



Ilustración 26. Continuación del río Amanalco.

Como se muestra en la Ilustración 26 el río Amanalco queda atrapado entre las casas, los propietarios construyen a su alrededor y se apropian del pequeño pedazo que les tocó junto a su casa. Esto dificulta seguir el cauce del río y pone en peligro a los habitantes, pues en época de lluvias el río crece abundantemente, pudiendo ocasionar algún accidente.

8.1 Muestreo en la zona

Esta visita de campo sirvió para tomar una muestra del río, dado las condiciones anteriormente descritas, no se tomó del drenaje directamente, y con ello analizar los coliformes fecales y totales, Sólidos Sedimentables, además de la cantidad de Sólidos Suspendidos Totales.



Ilustración 27. Muestra del río Amanalco para prueba de Coliformes



Ilustración 28. Prueba de Sólidos Sedimentables

8.2. Determinación de Coliformes Totales y Fecales

Para la realización de esta prueba se debe mantener un entorno lo más estéril posible, pues cualquier intervención puede afectar la prueba.



Ilustración 29. Medio estéril para prueba.

También se debe de asegurar que el material de laboratorio esté esterilizado.



Ilustración 30. Equipo esterilizado

Se debe tener un alimentador del cultivo, para esta prueba se realizaron 2 sembrados para coliformes fecales y dos para coliformes totales.



Ilustración 31. Alimento para sembrado



Ilustración 32. Membrana

Se debe armar un dispositivo de succión con ayuda de una bomba para que filtre el agua de río disuelta en agua destilada para que los microorganismos queden en la membrana que se sembrara posteriormente.



Ilustración 33. Dispositivo armado

Se toma una pequeña muestra y se coloca en el dispositivo para después disolverla con agua destilada y proceder al filtrado. Una vez filtrado se remueve la membrana y se coloca en una caja Petri, se le agrega el nutriente y se etiqueta para su incubación.



Ilustración 34. Toma de muestra



Ilustración 35. Filtración



Ilustración 36. Aplicación de nutriente

Una vez obtenidas las muestras se llevan a la incubadora y se deben recoger al día siguiente (24 horas después).



Ilustración 37. Cajas Petri antes de incubar

Una vez incubadas se retiraron de la incubadora y el resultado fue incontable, lo que significa que el agua esta extremadamente contaminada por descargas de aguas residuales.



Ilustración 38. Coliformes fuera de la incubadora.

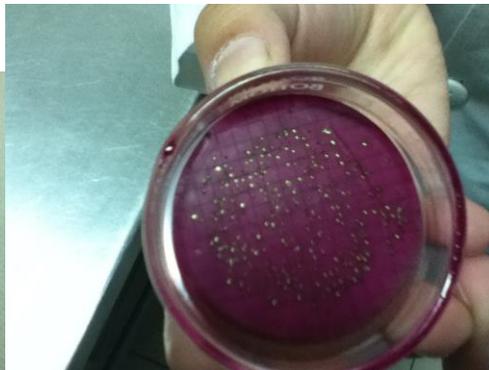


Ilustración 39. Coliformes Totales

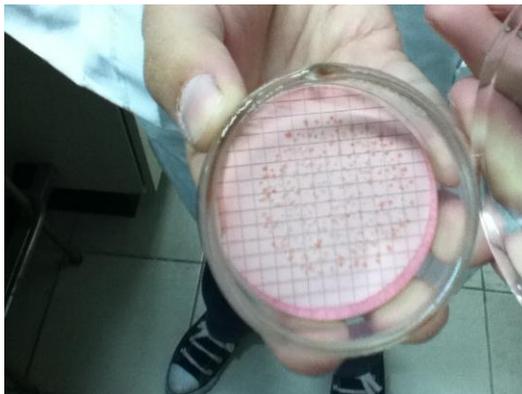


Ilustración 40. Coliformes Fecales

8.3. Prueba de Sólidos Sedimentables

Para esta prueba se dejó el agua muestreada en conos Imhoff y se deja sedimentar por 45 min, posteriormente se le dan unos pequeños golpes a las paredes para terminar el asentamiento y se esperan otros 15 min, después se mide la cantidad de sedimento y se obtiene el resultado.



Ilustración 41. Depósito del agua en conos



Ilustración 42. Lectura de conos

8.4. Prueba de Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Para la segunda parte de la prueba se deben pesar 2 crisoles con filtros y meter al horno. Se sacan del horno y se meten en el desecador y se dejan templar alrededor de 15 min para después armar un sistema de filtrado y dejar pasar la muestra sobre el crisol, se deposita en el horno nuevamente y se espera una hora, se sacan del horno y se dejan enfriar nuevamente para pesar y obtener resultados.



Ilustración 43. Enfriamiento de crisoles



Ilustración 44. Filtrado



Ilustración 45. Crisoles en horno



Ilustración 46. Pesado de crisol filtrado



Ilustración 47. Muestras pesadas

Capítulo 9. Diseño de la Planta de tratamiento

En este capítulo se resumirá el dimensionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales elaborada.

Para el tratamiento primario se tienen las rejillas con las siguientes dimensiones:

velocidad	V [m/s]	0.7
Ancho	b [m]	0.5
Altura	$h=AL/b$ [m]	0.24
Separación barras	e [mm]	0.025
Espesor barras	s [mm]	0.005
Número de barras	n	16

Tabla 33. Dimensionamiento de Rejillas

Para el desarenador se diseñaron 2, cada uno con las siguientes medidas:

Área de sección transversal	0.185	m²
Ancho del canal	1.5	m
Altura	0.124	m
Longitud	2.198	m

Tabla 34. Dimensionamiento del desarenador

Para el canal Parshall se obtuvieron las siguientes medidas, estas se pueden observar claramente en el anexo de planos.

Ancho de garganta mm	228.6
A	879
B	864
C	381
D	575
E	762
L	305
G	457
K	76
M	305
N	114
P	1080
X	51
Y	76

Tabla 35. Dimensionamiento para el canal Parshall

El tanque de igualación que estará colocado antes del sedimentador primario, tendrá las siguientes características:

Ancho m	12
Largo m	10
Profundidad m	5.20

Tabla 36. Dimensionamiento del tanque de igualación.

Para el sedimentador primario se obtuvieron las siguientes dimensiones:

Diámetro m	8.32
Profundidad m	3.5
Área m ²	54.32

Tabla 37. Dimensionamiento del sedimentador primario.

Para el tratamiento secundario se realizó el cálculo del área de los contactores biológicos rotatorios y cuántas unidades se requieren.

Gasto de diseño por línea (m³/h)	41.87
Rendimiento esperado de DBO (%)	83.55
Kilos de DBO soluble alimentados por línea y día	122.16
Kilos de DBO soluble alimentada por día	244.33
Superficie de Contactores por línea (m²)	12311.01
Superficie de Contactores total (m²)	24622.02
Volumen de Contactores por línea (m³)	68.39
Volumen de Contactores total (m³)	136.78
Carga superficial (g DBOsol/dxm²)	9.92
Superficie mínima primer etapa por línea (m²)	3907.97
Volumen útil mínimo recomendado de balsa por línea (m³)	41.03
Longitud de Contactores por línea (m)	9.68
Concentración de SS e salida de Contactores (mg/l)	134.42
Producción de lodos biológicos (Kg/d)	262.48

Tabla 38. Dimensionamiento del Contactor Biológico Rotatorio.

Según estas características se habló con un proveedor y se pedirán las siguientes unidades:

B 290 - Superficie y potencias eléctricas						
TIPO Absorbida	ϕ Discos	Habitantes	Superficie activa	Dimensiones Internas	Potencia Instalada	Potencia
Unidades	[m]		[m ²]	[m]	[kw]	[kw]
B 290 -30-1	2.9	530	3,180	3.18 x 3.20	1.5	1.10

Tabla 39. Características de la unidad de contactores biológicos rotatorios.



Ilustración 48. Contactor Biológico Rotativo

Unidad oxidisc B 290

Es la serie más grande, empleada para instalaciones de grandes dimensiones. El transporte de estos rodillos es de tipo especial, pero los costos son aceptables.

Aplicaciones típicas: Comunidades de tamaño mediano y grandes industrias.

De acuerdo a estas características se instalarán 8 unidades para abastecer a la población, divididas en dos líneas de instalación con 4 unidades cada una y tres fases por línea.

Las dimensiones son las siguientes:

Línea	[m]
Longitud	11
Ancho	4
Altura	1.8
Espesor	0.3

Tabla 40. Dimensionamiento de las líneas.

Para cada fase se utilizará un motor de 2 kw para cada una de las tres etapas.

Para el tratamiento secundario de lodos se construirá un decantador y obteniendo los siguientes resultados.

Gasto de diseño por línea (m^3/h)	41.87
Gasto máximo por línea (m^3/h)	298.81
Superficie del decantador (m^2)	52.34
Diámetro interno (m)	8.16
Volumen cilíndrico útil unitario (m^3)	209.35
Profundidad cilíndrica útil (m)	4
Velocidad ascensional a gasto máximo ($m^3/m^2.h$)	5.71
Tiempo medio de residencia a gasto máximo (h)	0.7
Longitud de vertedero por decantador (m)	22.49
Carga máxima sobre vertedero ($m^3/m^2.h$)	13.29

Tabla 41. Dimensionamiento del decantador de lodos.

Para estabilizar los lodos producidos por el tratamiento secundario, se utilizará un Digestor de Lodos, el cual tiene un proceso aerobio. Este proceso consta de dos etapas la primer etapa conocida como fermentación ácida dónde la DBO casi no se ve afectada.

En la segunda etapa conocida como fermentación de metano, varias especies de bacterias convierten los productos finales de la primer etapa en gases y es cuando se realiza la estabilización del lodo.

Actualmente se emplean dos tipos de procesos de digestión: tasa estándar y de alta tasa.

El proceso de la tasa estándar no se emplea mezclado de lodos, más bien se deja que el contenido se estratifique en zonas. Se calienta el digestor para incrementar la tasa de fermentación disminuyendo el tiempo de retención. El tiempo de retención varía entre 30 y 60 días para digestores calentados. Mientras que la tasa de carga orgánica para un digestor de tasa estándar varía entre 0.48 y 1.6 kg de solidos volátiles totales por m³ de volumen de digestor por día.

Su desventaja es el volumen tan grande del estanque requerido por el tiempo de retención

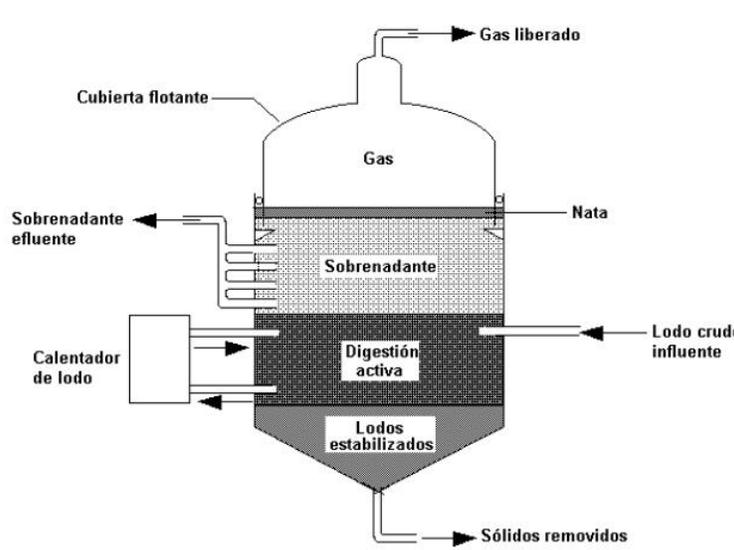


Ilustración 49. Digestor a tasa estándar (César, 2003)

Distribución del terreno propuesto.

Se localizó un predio en la zona de Amanalco.

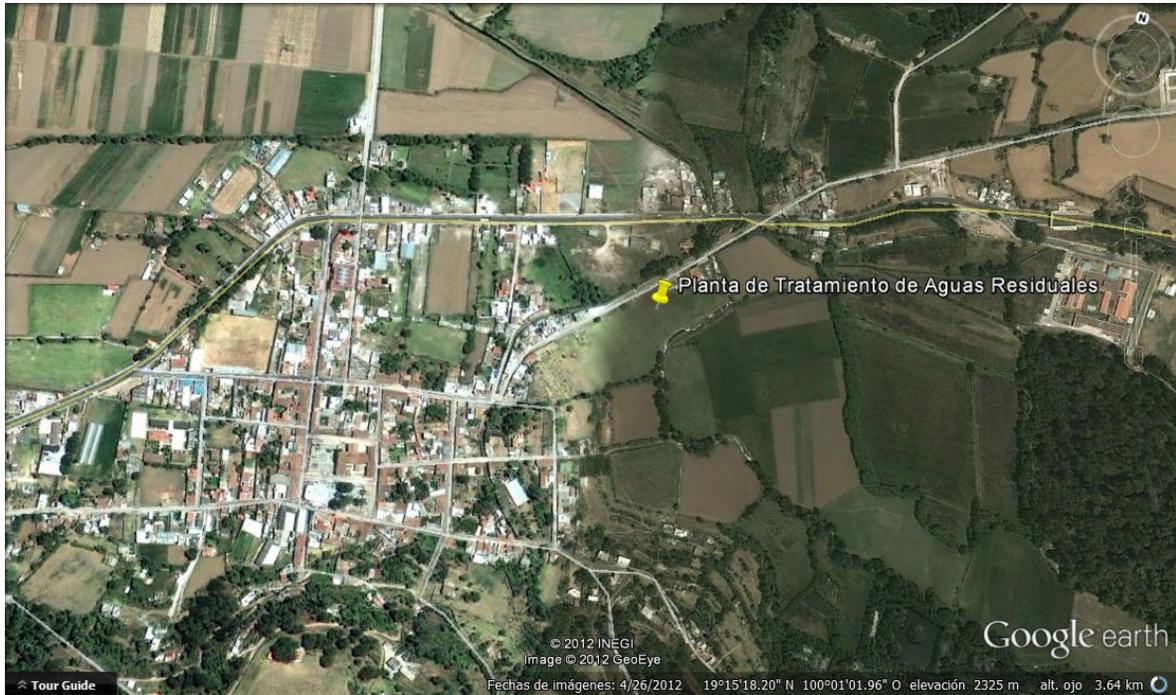


Ilustración 50. Localización del predio de la TAR.

Capítulo 10. Memoria de cálculo

En este capítulo se describirá paso a paso los cálculos realizados para la obtención de la planta de tratamiento de agua residual.

10.1. Tratamiento primario

Rejillas

Se utilizó el gasto máximo extraordinario el cual se convierte en gasto de diseño empleando la ecuación 10.1.

$$Q_d = \frac{Q_{ME}}{2} \quad [10.1]$$

A continuación se obtiene el paso libre del agua con la velocidad mínima recomendada.

$$A_L = \frac{Q}{v} \quad [10.2]$$

Se propone un ancho del canal b con base a la siguiente tabla:

Ancho del canal (b), en cm	40; 50; 60; 80; 100; 125; 160; 180; 200; 225; 250.
Separación entre barras (e), en cm.	2; 3; 4; 5; 6; 8; 10.

Tabla 42. Tabla de ancho de canal y separación entre barras. (César, 2003)

Con base al ancho del canal y el paso libre del agua se obtiene el tirante del agua h .

$$h = \frac{A_L}{b} \quad [10.3]$$

Se propone el espesor y la separación entre barras del emparrillado para obtener el número de barras como sigue:

$$n = \frac{(b-e)}{(s+e)} \quad [10.4]$$

Para una limpieza manual, se propone un ángulo θ (entre 30° y 60°) y obteniendo la sección inundada de la rejilla (L).

$$L = \frac{h}{\sin \theta} \quad [10.5]$$

Y finalmente se calcula el área efectiva (AR).

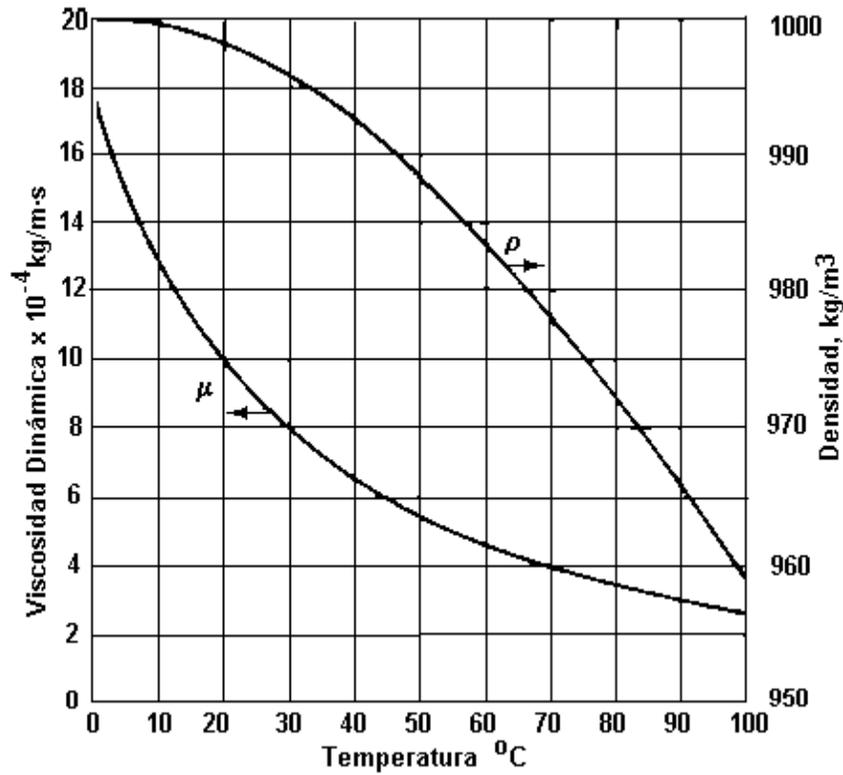
$$AR = e(n + 1)L \quad [10.6]$$

Para comprobar, se revisará la velocidad del efluente con la ecuación 10.7.

$$V_R = \frac{Q_{diseño}}{AR} \quad [10.7]$$

10.2. Desarenadores

Para el cálculo de los desarenadores se requiere de la temperatura máxima y mínima, la densidad del agua residual y el agua dulce, diámetro de la partícula (D) y el coeficiente de viscosidad dinámica (μ) que se obtiene de la gráfica 7:



Gráfica 7. Obtención del coeficiente de viscosidad dinámica (César, 2003)

El cálculo de la velocidad de sedimentación se obtendrá con

$$V_s = \frac{(\rho_a - \rho)g(D)^2}{18\mu} \quad [10.8]$$

La velocidad de arrastre se calculará mediante:

$$V_a = k\sqrt{(\delta_a - 1)D} \quad [10.9]$$

Se asume que la velocidad de traslación horizontal es del orden de un tercio de la velocidad de arrastre, es decir

$$V = \frac{1}{3}V_a \quad [10.10]$$

Para obtener el área de sección transversal del canal, se trabajará con la ecuación de continuidad:

$$A = \frac{Q}{V} \quad [10.11]$$

Proponiendo el ancho w del canal, se obtiene la profundidad h y se obtiene la longitud L .

$$h = \frac{A}{w} \quad [10.12]$$

$$L = \frac{hV}{V_s} \quad [10.13]$$

10.3. Canal Parshall

Para el cálculo de este canal se debe conocer el límite modular referido a la descarga y se estima lo siguiente:

Para canales con ancho de garganta $w = 76.2$ mm, el límite es 0.5

Para canales con ancho de garganta $w = 152.4$ mm a 228 mm, el límite es 0.6

Para canales de ancho de garganta $w = 304.8$ mm a 2,438.4 mm, el límite es 0.7

Con estos datos se entra a las tablas 16 y 17

10.4. Tanques de igualación

Es necesario disponer de un hidrograma representativo del gasto de aguas residuales que se descargará en la planta de tratamiento.

Con base en el hidrograma representativo de la generación de aguas residuales, puede construirse la curva masa del influente al tanque de igualación. La curva masa o diagrama de Rippl consiste en una gráfica que representa los volúmenes acumulados que pasan por una sección del emisor con relación al tiempo.

Para obtener el volumen del tanque de igualación se grafica en un mismo sistema de ejes coordenados la curva masa del gasto medio y el hidrograma del influente del tanque, haciendo coincidir las escalas de tiempo.

La diferencia de ordenadas entre las curvas representa el excedente o el faltante de volumen de almacenamiento para el momento considerado.

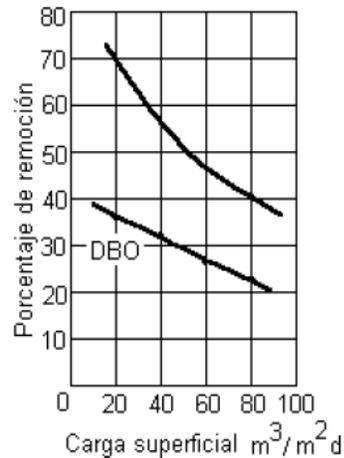
El volumen del tanque se obtiene sumando el máximo excedente y el máximo faltante. Con este dato se da dimensión al tanque.

10.5. Sedimentación primaria

Se requieren la concentración de Sólidos Suspendidos Totales, el gasto de diseño, y la $DBO_{\text{influyente}}$.

Obtenidos estos datos se propone la remoción de sólidos, la cantidad de humedad en los lodos y la profundidad.

La carga superficial (C_s) se obtendrá de la gráfica 8.



Gráfica 8. Obtención de la remoción de sólidos (César, 2003)

Obtención del área

$$A = \frac{Q}{C.S} \quad [10.14]$$

Obtención del diámetro φ

$$\varphi = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad [10.15]$$

Obtención del tiempo de retención hidráulico θ

$$\theta = \frac{A \text{ Profundidad}}{Q} \quad [10.16]$$

10.5.1. Obtención del flujo másico de lodos

El cálculo de la concentración en el efluente X_e

$$\chi_e = 0.4SST \quad [10.17]$$

Obtención de la concentración de lodos para la humedad propuesta (χ_u).
Cálculo del gasto del efluente.

$$Q_e = \frac{Q(SST - \chi_u)}{(Q - \chi_u)} \quad [10.18]$$

Cálculo del gasto separado

$$Q_u = Q - Q_e \quad [10.19]$$

10.6. Tratamiento Secundario

En esta etapa del cálculo se seleccionó el método de los Contactores Biológicos Rotativos por lo cual se describirá el procedimiento de dicho sistema.

Para este procedimiento se realizaron 4 métodos distintos para el análisis de los contactores pero cabe mencionar que la mayoría son métodos empíricos por lo que los resultados varían

considerablemente así que, se tomó el de menor variación y se describirá detalladamente a continuación.

La consideración principal de este diseño consta en que se realizaran dos líneas de contactores con 3 fases cada una.

Obteniendo el gasto de diseño por línea:

$$\text{Gasto de diseño por línea} = \frac{Q_{\text{diseño}}}{\# \text{ de líneas}} \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad [10.20]$$

Calculando el rendimiento de DBO esperado (DBO_i).

$$DBO_i = \frac{DBO_{\text{entrada}} - DBO_{\text{salida}}}{DBO_{\text{entrada}}} * 100 \quad [\%] \quad [10.21]$$

Calculando los kilogramos de DBO soluble obtenida.

$$\text{kilogramos de DBO}_{\text{soluble}} = \frac{Q_{\text{diseño}} \times \text{línea} * DBO_{\text{entrada}} * 24}{1000} \quad [\text{línea al día}] \quad [10.22]$$

Ahora se calcula la superficie de contactores por línea (A_{cxl}). En este cálculo se debe considerar un factor de seguridad, un factor de corrección de temperatura y un factor de equilibrio para la DBO (F).

$$A_{cxl} = \frac{Q_{\text{diseño}} \times \text{línea} * 24 * (DBO_{\text{entrada}} - DBO_{\text{salida}})}{\frac{DBO_{\text{salida}} * F}{15.1 + DBO_{\text{salida}}}} * [F_s * F_{\text{corrección de temperatura}}] \quad [m^2] \quad [10.23]$$

Se calculará la superficie total de los contactores (A_T).

$$A_T = A_{cxl} * \# \text{ de líneas} \quad [m^2] \quad [10.24]$$

Calcularemos el volumen de contactores por línea (V_{cxl}) será:

$$V_{cxl} = \frac{A_{cxl}}{A_{\text{especificada de contactores}}} \quad [m^3] \quad [10.25]$$

Evolumen total de los contactores (V_T).

$$V_T = V_{cxl} * \# \text{ de líneas} \quad [m^3] \quad [10.26]$$

La carga superficial.

$$\text{Carga superficial} = \frac{\text{kilogramos DBO}_{\text{soluble}} * 1000}{A_T} \quad \left[\frac{g \text{ DBO}}{dxm^2} \right] \quad [10.27]$$

La superficie mínima de la primer etapa por línea (A_{minxl}) será:

$$A_{\text{minxl}} = \frac{\text{kilogramos DBO}_{\text{soluble}} * 1000}{31.26} \quad [m^2] \quad [10.28]$$

El volumen útil mínimo de recomendado (V_u):

$$V_u = V_{cxl} * \frac{\text{sumergencia de disco}}{100} * 1.5 \quad [m^3] \quad [10.29]$$

La longitud de los contactores por línea (L).

$$L = \frac{A_{cxl}}{A_{especificada \text{ de contactores}} \pi(D)^2} \quad (m) \quad [10.30]$$

La concentración de solidos suspendidos de la salida del contactor (X_{SS}).

$$X_{SS} = X_{SS \text{ entrada}} + F_{lodos} * (DBO_{\text{entrada}} - DBO_{\text{salida}}) \quad \left[\frac{mg}{l} \right] \quad [10.31]$$

Se calcula la producción de lodos biológicos (LB).

$$LB = \frac{Q_{\text{diseño}} * 24 * X_{SS}}{1000} * \left[1 - \frac{V_{\text{decantador}} * 0.039}{1.9 - V_{\text{decantador}}} \right] \quad \left[\frac{kg}{d} \right] \quad [10.32]$$

10.7. Decantador o Sedimentador Secundario

Una vez obtenida la producción de lodos biológicos se puede calcular el decantador como sigue.

El gasto máximo por línea Q_{ml} .

$$Q_{ml} = \frac{Q_{\text{máx}}}{\# \text{ líneas}} \quad \left[\frac{m^3}{h} \right] \quad [10.33]$$

Calculando la superficie del decantador (A_d).

$$A_d = \frac{Q_{\text{dxi}}}{V_{\text{caudal}}} \quad [m^2] \quad [10.34]$$

El diámetro interno del decantador (D).

$$D = \frac{A_d * 4}{0.5\pi} \quad [m] \quad [10.35]$$

El volumen del cilindro útil (V_{cl}).

$$V_{cl} = \frac{Q_{\text{dxi}}}{\text{Tiempo medio de residencia del caudal}} \quad [m^3] \quad [10.36]$$

La profundidad cilíndrica útil del decantador (V_{cu}).

$$V_{cu} = \frac{V_{cl}}{A_d} \quad [m] \quad [10.37]$$

La velocidad a gasto máximo ($V_{Q_{\text{máx}}}$).

$$V_{Q_{\text{máx}}} = \frac{Q_{ml}}{A_d} \quad \left[\frac{m^3}{m^2 h} \right] \quad [10.38]$$

El tiempo medio de residencia del gasto máximo (θ).

$$\theta = \frac{V_{cu}}{Q_{\text{máx}}} \quad [h] \quad [10.39]$$

La longitud del vertedor por decantador (L_d).

$$L_d = 2\pi \frac{D}{2 - \text{Distancia a la cuba}} \quad [m] \quad [10.40]$$

La carga máxima sobre el vertedor ($C_{m\acute{a}x}$).

$$C_{m\acute{a}x} = \frac{Q_{m\acute{a}x}}{L_d} \quad \left[\frac{m^3}{m^2 h} \right] \quad [10.41]$$

Capítulo 11. Conclusiones

El presente trabajo estuvo enfocado en presentar una propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales en el municipio de Amanalco, Estado de México, con la finalidad de limpiar el río Amanalco por las descargas recibidas y darle una mejor calidad de agua al embalse de Valle de Bravo que es parte del sistema Cutzamala, además de darle mejor calidad de vida a los residentes de la población para evitar enfermedades por contacto y respiratorias.

Se propone, dado a las circunstancias conectar las casas al sistema de alcantarillado, ya que a pesar de que existe un alcantarillado y las conexiones de las casas, no están conectadas. En caso de que esto ocurriera se debería hacer un muestreo directamente en la recarga y generar nuevamente los cálculos, dado que las dimensiones en los contactores biológicos rotativos cambiarían considerablemente. Por esta razón se debe considerar esta propuesta antes de la elaboración de este proyecto.

El sistema de contactores biológicos rotativos es un sistema poco implementado en México, pues solo existen 4 plantas de tratamiento de aguas residuales con este método y se tiene muy poca información al respecto.

Es un sistema muy completo y con poca demanda de atención, pues los mantenimientos son simples y poco costosos respecto a otros como lodos activados. La desventaja de este sistema es que se requiere una inversión muy alta para la compra de los contactores, pero por la parte constructiva es muy poca. La instalación de los contactores es sencilla y poco costosa.

Una dificultad que se puede presentar es el arranque de la planta, pues es difícil comenzar sin una biopelícula de microorganismos, así que se requieren unas semanas para que la biopelícula de microorganismos se formen y comience a trabajar la planta en su capacidad total.

Una ventaja que se tiene con estos equipos en su instalación es el espacio, pues a pesar de que se requieren varios contactores el espacio se puede aprovechar muy bien sin causar tantas molestias a los habitantes, además de que los olores producidos por la planta no son tan molestos como en otros sistemas de tratamiento, pues se mantiene cerrado para prolongar la vida de la biopelícula de microorganismos.

Referente al análisis de costo se deja para un estudio posterior a este proyecto cercano a su realización.

Bibliografía

- Amanalco, M. d. (4 de Octubre de 2004). *Municipio de Amanalco*. Recuperado el 9 de Enero de 2012, de Municipio de Amanalco:
http://seduv.edomexico.gob.mx/planes_municipales/amanalco/feerratas/tab-amanalco-04.pdf
- César. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposicion de aguas residuales*. México, DF: Fundación ICA.
- Chacon. (2002). *Informe*. México: et.
- CONAGUA. (18 de Enero de 2012). *CONAGUA*. Recuperado el 14 de Septiembre de 2012, de <http://www.cna.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=87&n4=30>
- CONAGUA. (s.f.). *CONVENIO DE COLABORACIÓN medio natural*.
- CONAGUA.A. (2011). *Estadísticas del agua en México*. Recuperado el 29 de junio de 2012, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.pdf>
- CONAGUA.B. (2011). *Atlas del agua en México*. Recuperado el 29 de Junio de 2012, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-18-11.pdf>
- Edie, M. &. (2003). *Wastewater Engineering*. En M. &. Edie, *Wastewater Engineering Treatment and Reuse* (pág. 1820). New York: Mc Graw Hill.
- Escalante V, C. L. (2002). *El reúso del agua residual tratada en México* . México: Universidad del Valle.
- Fernandez, C. L. (2002). *Norma Oficial Mexicana lodos y biosolidos*. México: Diario oficial.
- FONDO PRO CUENCA VALLE DE BRAVO A.C. (Noviembre de 2005). *Fondo Pro cuenca Valle de bravo*. Recuperado el 19 de Octubre de 2011, de Boletin informativo + agua 04 : <http://www.todovalle.com/boletin/masagua4.htm>
- Fundación Chile. (31 de 03 de 2010). *CONAMA*. Recuperado el 5 de Julio de 2012, de http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf
- Fundacion Pedro y Elena Hernandez A.C. (s.f.). *Atlas informatico de la cuenca de Valle de Bravo - Amanalco*. Recuperado el 21 de Enero de 2012, de Atlas informatico de la cuenca de Valle de Bravo - Amanalco: <http://educacionambiental.org.mx/atlas/territF3.html>
- Gobierno del DF. (s.f.). *SMA*. Recuperado el 3 de Julio de 2012, de http://www.sma.df.gob.mx/dgpcp/pdf/ProgAgua_Cd.pdf

- Guía Ambiental . (2010). *Guía Ambiental. Conocimiento y Medio Ambiente* . Recuperado el 5 de Julio de 2012, de <http://www.guiaambiental.com.ar/conocimiento-calidad-de-agua-lodos-activados.html>
- ICA. (21 de 05 de 2003). *capac*. Recuperado el 16 de Mayo de 2012, de http://www.capac.org/web/Portals/0/biblioteca_virtual/doc003/CAPITULO2.pdf
- Inclán, L. A. (2004). *CONAGUA*. Recuperado el Septiembre de 2011, de <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Unidad13NMXAA0141980.pdf>
- INE. (s.f.). *Instituto Nacional de Ecología*. Recuperado el 3 de Julio de 2012, de Priorización y recomendaciones de acciones de conservación en las subcuencas del Cutzamala: http://www.ine.gob.mx/descargas/cuencas/subcuencas_cutzamala.pdf
- INEGI. (29 de Marzo de 2010). *division municipal del estado de mexico*. Recuperado el 8 de Enero de 2012, de INEGI: http://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/div_municipal/mexicomprios.pdf
- INEGI. (s.f.). *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*. Recuperado el Septiembre de 2011, de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/x>
- Instituto Nacional de Ecología . (s.f.). *Resumen de Proyecto Tipo Mediante el Proceso de Biodiscos para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales*. INE.
- Lilio, J. C. (1996). *Normas Oficiales Mexicanas Ecologicas*. México: Gob.
- Mara, D. A. (1998). *Waste Stabilization Ponds: A Design Manual for Eastern Africa*. Lagoon Technology International: Leeds, England.
- Organización Mundial de la Salud. (2012). *OMS*. Recuperado el 29 de Junio de 2012, de http://www.who.int/water_sanitation_health/database/es/index.html
- Peña, M. (2002). *Advanced primary treatment of domestic wastewater in tropical countries: development of high-rate anaerobic ponds*. United Kingdom: School of Civil Engineering, University of Leeds.
- Ramalho, R. S. (s.f.). *Tratamiento de Aguas Residuales* . Quebec, Canada: Reverte SA.
- Varios. (s.f.). *Monografias* . Recuperado el 5 de Julio de 2012, de <http://www.monografias.com/trabajos74/lodos-activos/lodos-activos2.shtml>

Anexo de planos

Plano 1 Rejilla

Plano 2 Desarenador

Plano 3 Tanque de igualación

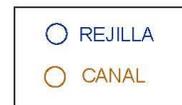
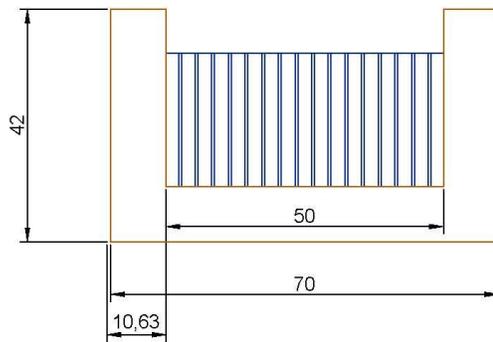
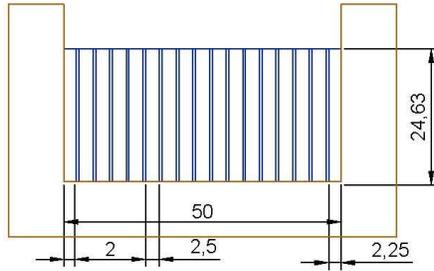
Plano 4 Sedimentador primario

Plano 5 Canal Parshall

Plano 6 Sedimentador secundario

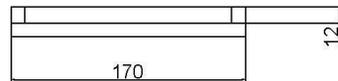
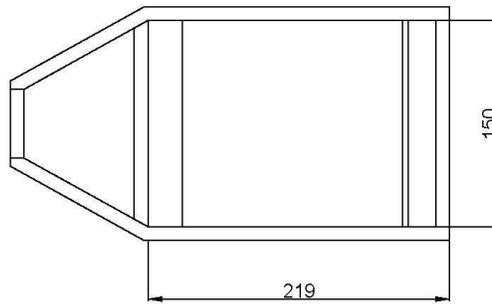
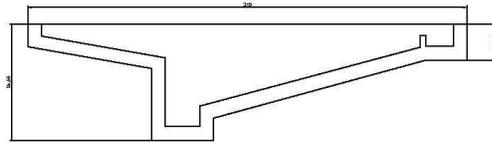
Plano 7 Ubicación de la planta de tratamiento

Plano 8 Tren de tratamiento



DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA ZONA DE AMANALCO DE BECERRA.

REJILLA
PLANO 1

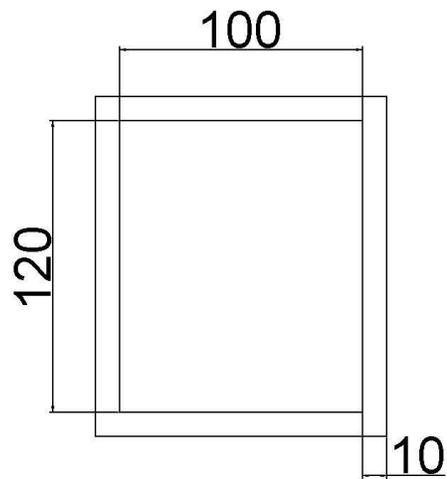


DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA
ZONA DE AMANALCO DE BECERRA

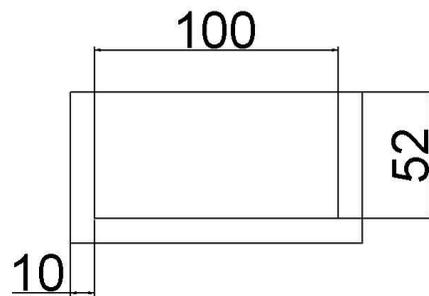
DESARENADOR

PLANO 2

VISTA EN PLANTA



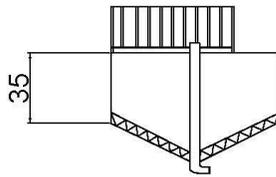
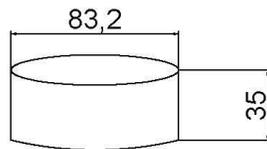
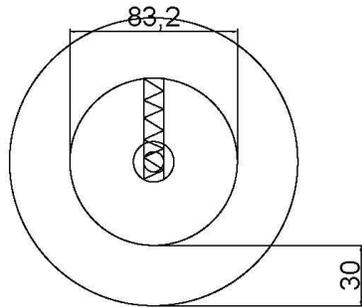
CORTE TRANSVERSAL



DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PARA LA ZONA DE AMANALCO DE BECERRA

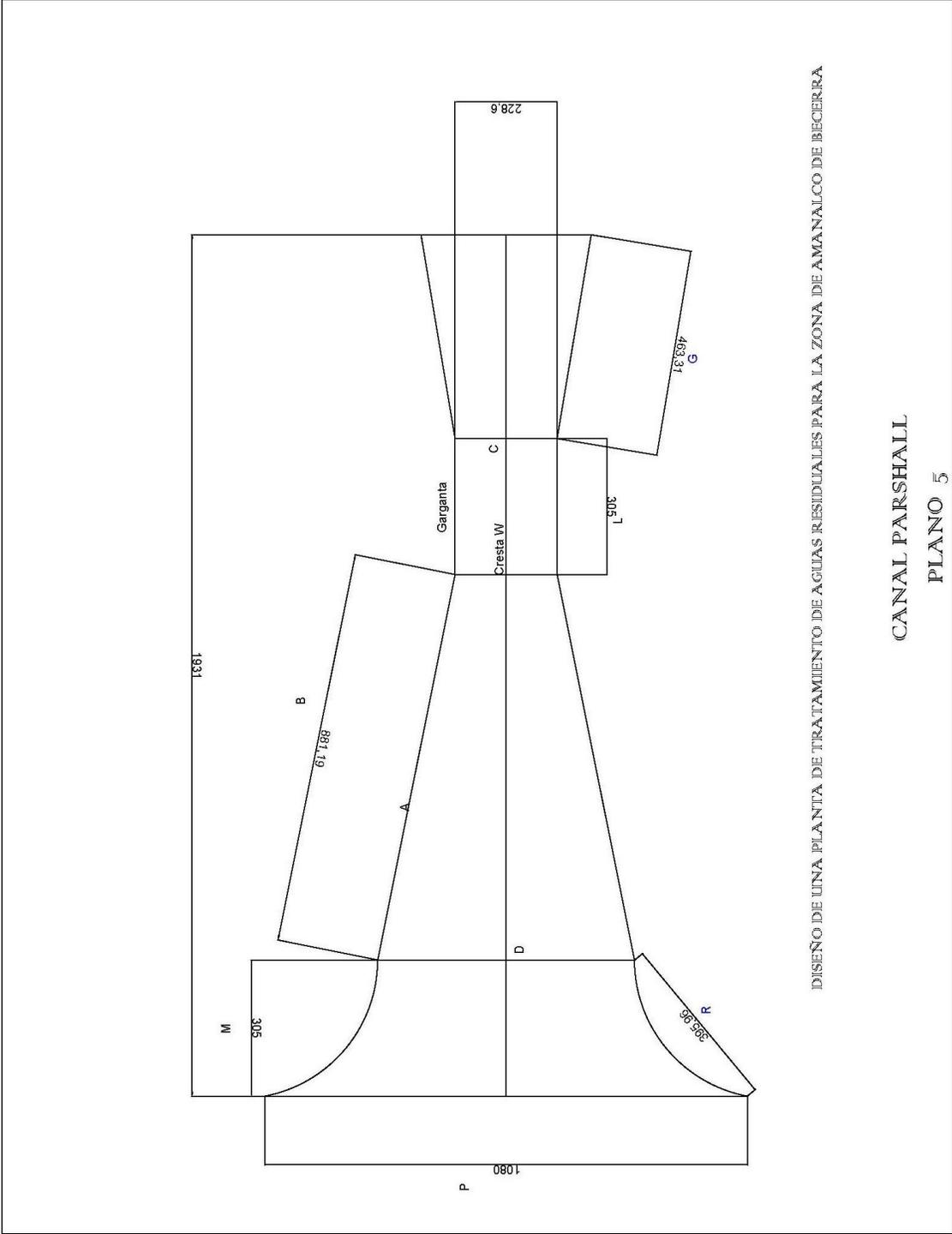
TANQUE DE IGUALACIÓN

PLANO 3



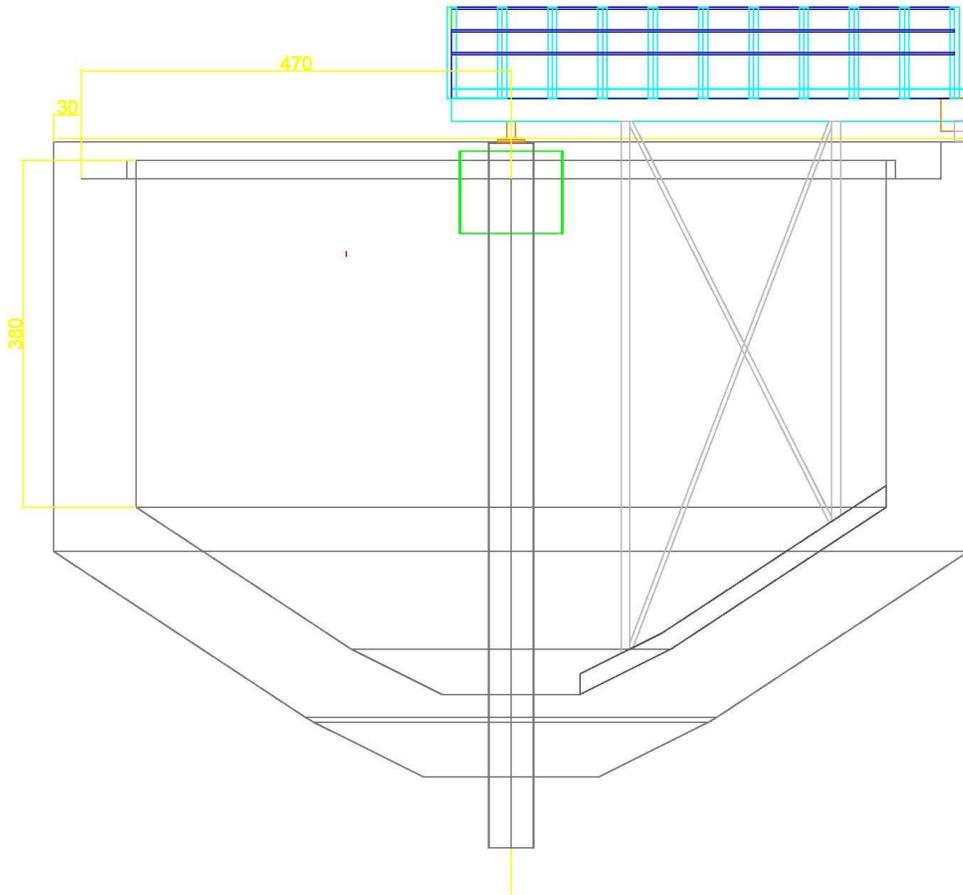
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA LA ZONA DE AMANALCO DE BECERRA

SEDIMENTADOR PRIMARIO
PLANO 4



DISENO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA ZONA DE AMANALCO DE BECERRA

CANAL PARSHALL
PLANO 5



**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA ZONA DE AMANALCO DE
BECERRA**

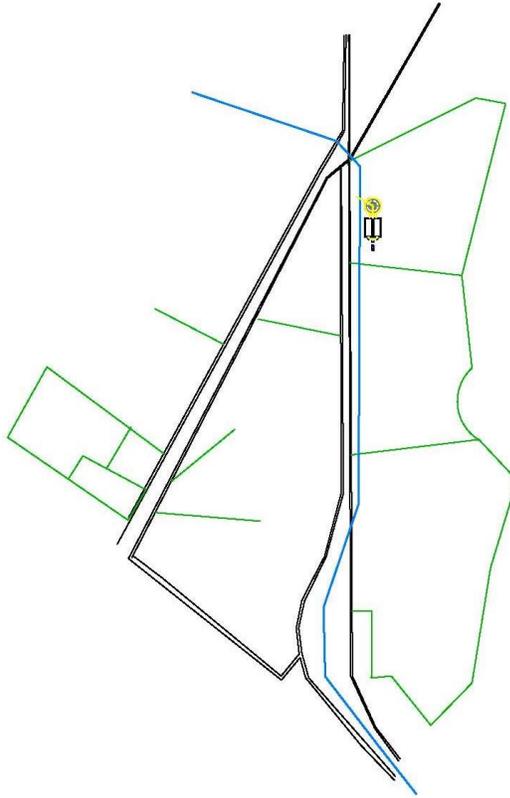
SEDIMENTADOR SECUNDARIO

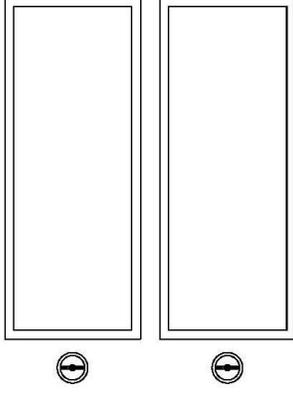
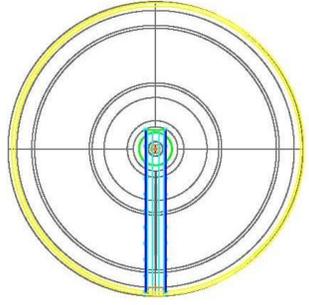
PLANO 6



UBICACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DEL MUNICIPIO
DE AMALCO DE BECERRA

PLANO 7





DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA LA ZONA DE AMANALCO DE BECERRA

TREN DE TRATAMIENTO
PLANO 8